

PARIS-SACLAY



INNOVATION
PLAYGROUND

Paris-Saclay berceau de l'aérospatiale- sécurité-défense



PRAXIS 9

Filières d'excellence



Paris-Saclay, berceau de l'aérospatiale-sécurité-défense

- 4 Paris-Saclay, un territoire au service de l'innovation
- 6 L'aérospatiale-sécurité-défense, une filière historique aux nouveaux enjeux

Un ancrage historique de l'aérospatiale-sécurité-défense au cœur de Paris-Saclay

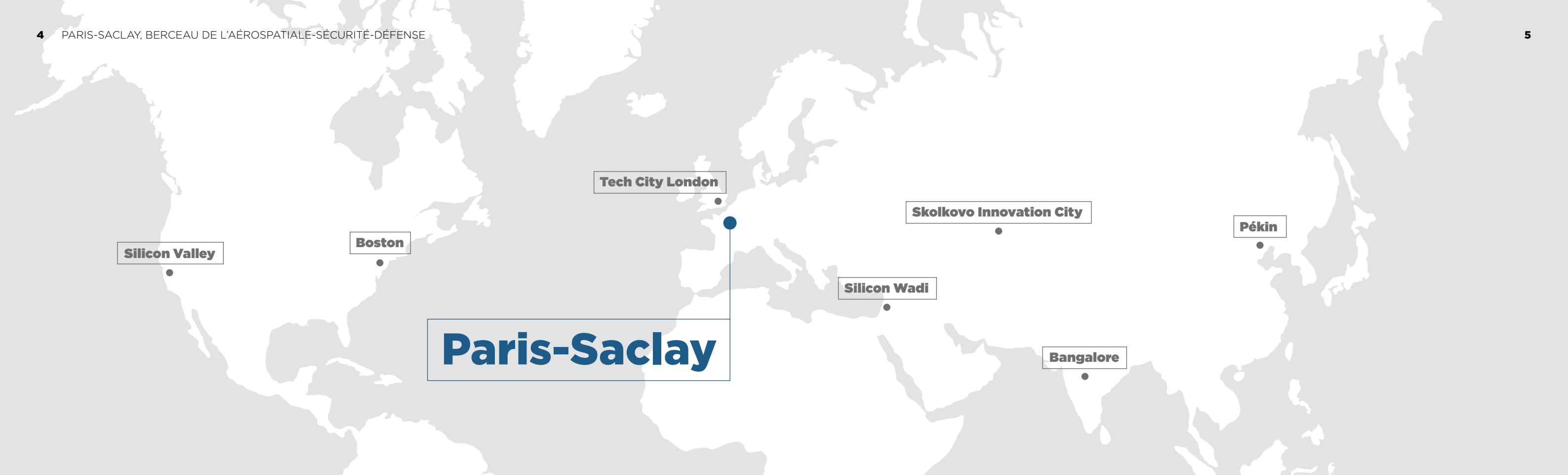
- 14 Un positionnement de longue date sur des technologies souveraines
- 16 Le cœur de l'innovation militaire française
- 20 Une concentration de leaders industriels mondiaux
- 24 Une capacité de recherche et de formation d'excellence
- 30 Un écosystème d'innovation dynamique

Paris-Saclay, précurseur sur les technologies de demain

- 36 Les nouveaux enjeux de l'aérospatiale-sécurité-défense
- 40 Une expertise reconnue en cybersécurité
- 44 Des compétences d'avenir dans le domaine du *New Space*

Paris-Saclay berceau de l'aérospatiale- sécurité-défense





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 startuppeurs;
 - 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’aérospatiale-sécurité-défense, 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 aérospatiale-sécurité-défense.

6 FILIÈRES STRATÉGIQUES

Aérospatiale Sécurité Défense	AgriTech and Foodtech	Énergie Ville Environnement	Mobilité	Santé	Technologies numériques
Airbus, Safran, Thales, Nexter, Arqus...	Danone, Mondelez, Syngenta	EDF, Bouygues, Colas	Renault, PSA, Valeo, Fiat...	Sanofi, LFB, IPSEN, GE Healthcare	Nokia, Ericsson, HP, Dassault Systèmes...
16* start-up 68 laboratoires et plateformes	77* start-up 110 laboratoires et plateformes	47* start-up 123 laboratoires et plateformes	12* start-up 46 laboratoires et plateformes	146* start-up 346 laboratoires et plateformes	106* start-up 252 laboratoires et plateformes
#NewSpace #Cybersécurité	#AlimentsDuFutur #NutritionSanté #SmartFarming	#EnergyStorage #Biofuel #SmartGrids	#VéhiculeAutonome #Hydrogène #SystèmesEmbarqués	#Microbiote #GeneTherapy #Oncology #SantéConnectée	#IA #Quantique #IoT #SmartManufacturing

*Actuellement recensées sur paris-saclay-startup.com

L'aérospatiale-sécurité-défense, une filière historique aux nouveaux enjeux

Berceau de l'aviation civile et militaire au début du XX^e siècle, haut lieu de la recherche militaire française depuis les lendemains de la Seconde Guerre mondiale, Paris-Saclay occupe depuis toujours une place centrale au cœur de la filière aérospatiale-sécurité-défense française.

Aujourd'hui, avec plus de 60 établissements majeurs, près de 70 laboratoires et plateformes techniques de pointe et environ 30 000 emplois, cette filière reste également l'une des plus dynamiques du territoire, bénéficiant du prestige d'acteurs historiques à la pointe de l'innovation mondiale, tels que **Thales, Safran, Airbus, Arianespace, Nexter, Arquus** ou encore l'**ONERA**.

Cette filière d'excellence, qui s'est fondée sur des technologies souveraines liées à la défense et à la sécurité de l'État français, est par ailleurs aujourd'hui confrontée à de nouveaux enjeux. En effet, depuis la révolution numérique qui a transformé la manière dont l'information est produite, distribuée et consommée, la maîtrise de l'information, et avec elle la cybersécurité, est devenue l'un des enjeux prioritaires de sécurité à la fois des États, dans un objectif de préservation de leur souveraineté, mais également des administrations et des entreprises confrontées à un accroissement de cyberattaques ces dernières années. Dans le domaine du spatial, le développement de technologies nouvelles dans le sillage de l'explosion du numérique associé à une forte démocratisation de l'exploitation des données spatiales, non plus uniquement réservées à des applications étatiques, militaires ou scientifiques, signent l'émergence du *New Space*.

Au cœur de ces nouveaux enjeux, grâce à son ancrage historique dans le domaine de l'aérospatiale, de la sécurité et de la défense et à son leadership aujourd'hui incontesté en technologies numériques, le pôle d'excellence scientifique et technologique de Paris-Saclay a développé une expertise spécifique sur ces deux secteurs émergents que sont la cybersécurité et le *New Space*, avec notamment, un nombre toujours croissant de start-up particulièrement innovantes.

Afin d'étudier les contours de cette filière aérospatiale-sécurité-défense, l'Établissement public d'aménagement Paris-Saclay a initié, en collaboration avec la SATT Paris-Saclay, une vaste étude.

PRÈS DE
70
LABORATOIRES

60 établissements majeurs, plus de 68 laboratoires et plateformes techniques, 64 start-up et environ 30 000 emplois réunis à Paris-Saclay.

•fig.1 Le service spacedrop™ proposé par la start-up Exotrail, un acteur aujourd'hui majeur du *New Space* issu de Paris-Saclay.



Quelles sont les technologies clés déployées au sein de cette filière 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 d'aérospatiale-sécurité-défense réunissant, outre des organismes et laboratoires de recherche de rang mondial, notamment dans le domaine militaire, des groupes industriels internationaux leaders du secteur, des établissements d'enseignement supérieur de pointe ainsi que des start-up de haute technologie, soit l'excellence mondiale de la recherche, de l'industrie et de l'innovation. Parmi les forces de cette filière: une recherche académique d'excellence à la croisée des disciplines scientifiques, un écosystème d'innovation particulièrement dynamique et un positionnement à la pointe de l'innovation sur les technologies clés du numérique telles que l'intelligence artificielle, l'informatique quantique, la robotique, le *big data* ou encore l'optique et la photonique qui font aujourd'hui de Paris-Saclay un pôle d'innovation précurseur sur les technologies de demain où se dessine amplement l'avenir du *New Space* et de la cybersécurité.

Paris-Saclay occupe depuis toujours une place centrale au cœur de la filière aérospatiale-sécurité-défense française.

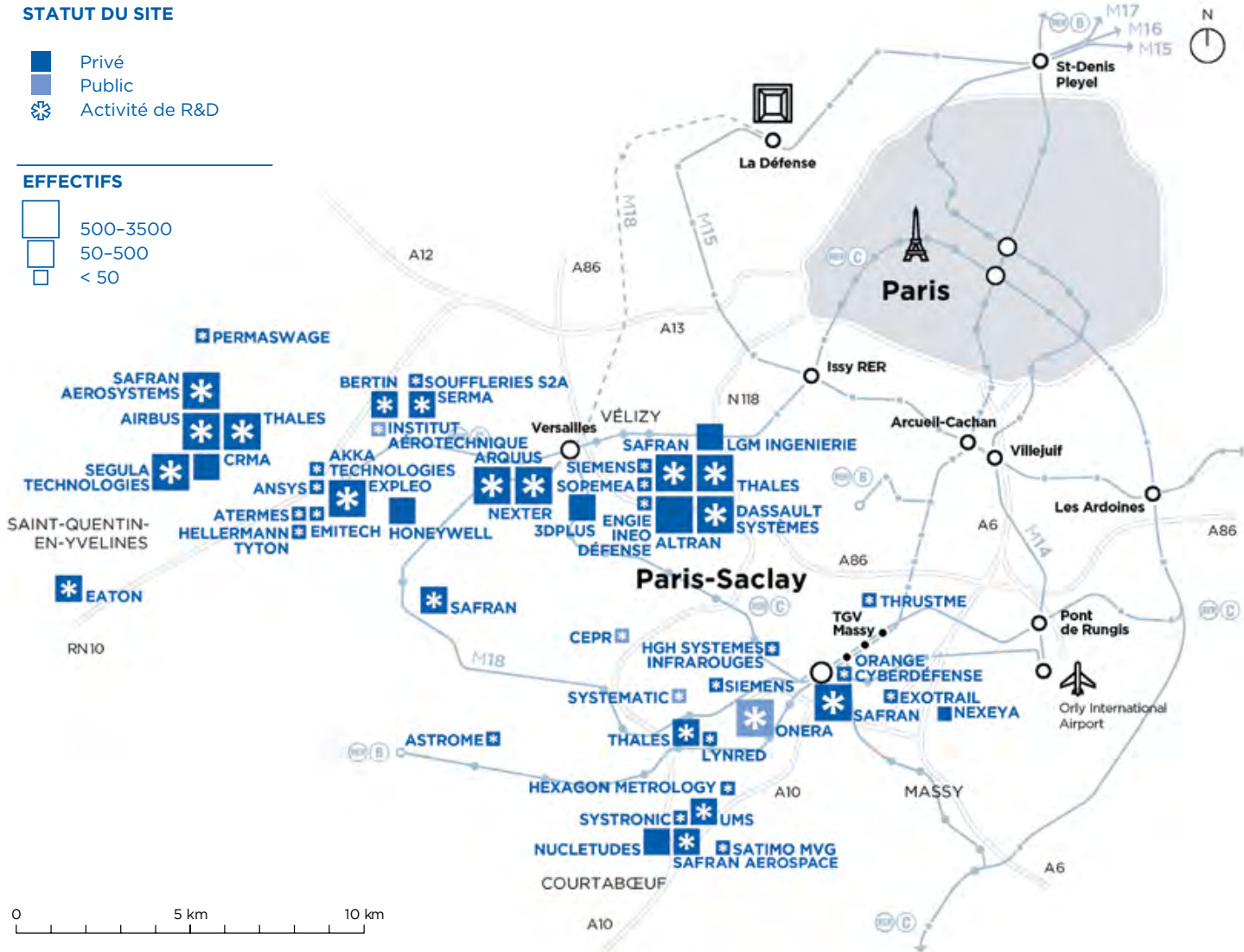
La filière aérospatiale-sécurité-défense à Paris-Saclay

STATUT DU SITE

- Privé
- Public
- Activité de R&D

EFFECTIFS

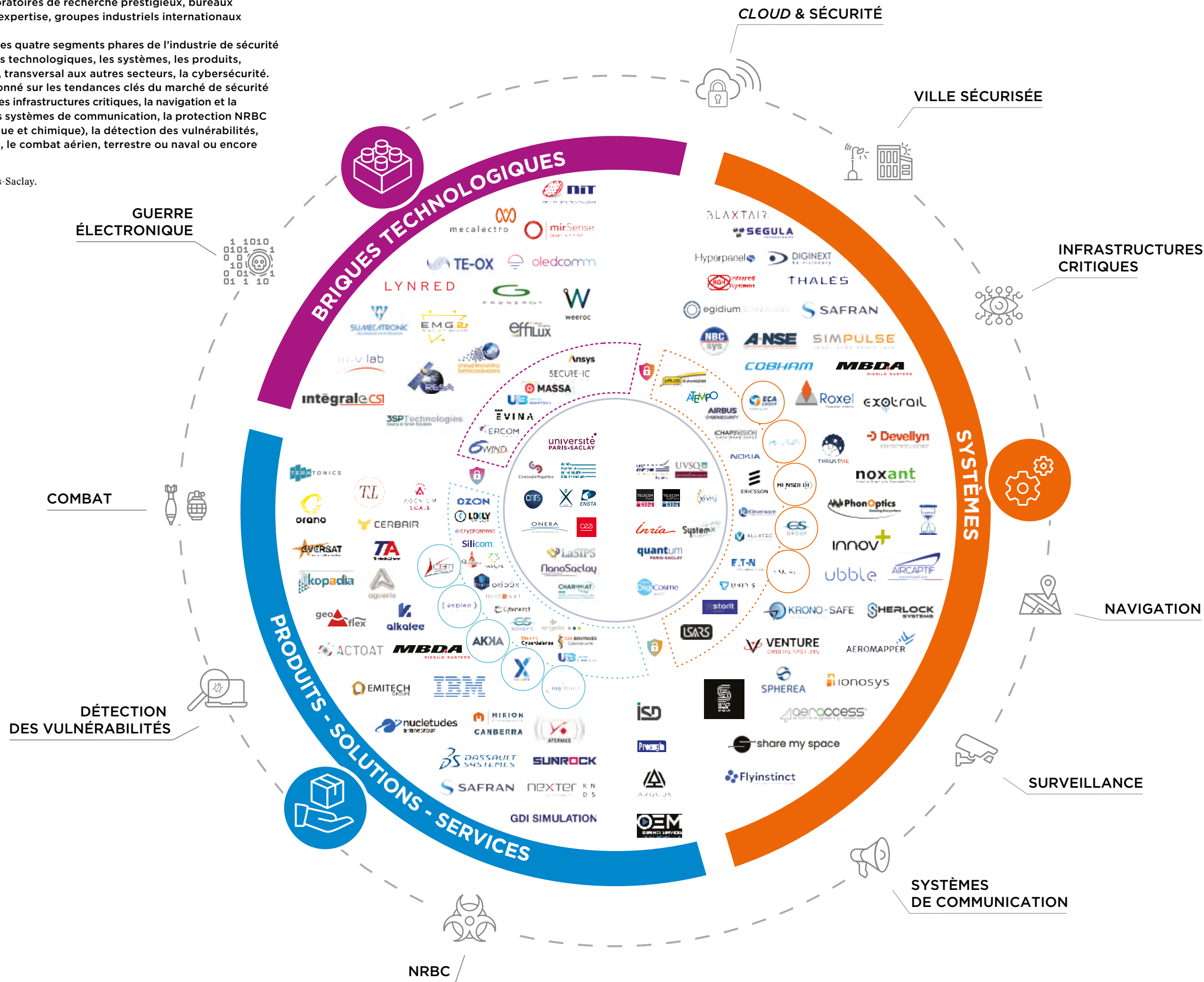
- 500-3500
- 50-500
- < 50



Un ancrage historique sur les activités de sécurité et de défense

- En matière de sécurité et de défense, le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay bénéficie d'un écosystème riche de ses acteurs: établissements d'enseignement supérieur et laboratoires de recherche prestigieux, bureaux d'études et d'ingénierie de forte expertise, groupes industriels internationaux et start-up de haute technologie.
- Un écosystème structuré autour des quatre segments phares de l'industrie de sécurité et de défense que sont les briques technologiques, les systèmes, les produits, solutions et services et le dernier, transversal aux autres secteurs, la cybersécurité.
- Un écosystème également positionné sur les tendances clés du marché de sécurité et de défense: la ville sécurisée, les infrastructures critiques, la navigation et la géolocalisation, la surveillance, les systèmes de communication, la protection NRBC (nucléaire, radiologique, biologique et chimique), la détection des vulnérabilités, le cloud et les systèmes sécurisés, le combat aérien, terrestre ou naval ou encore l'électronique.

Cartographie réalisée par la SATT Paris-Saclay.



Cartographie réalisée par la SATT Paris-Saclay.

#Biocarburants #AvionsElectriques

#Micro-lanceurs #Rideshare
#RécupérationEléments #PropulsionInnovante

#Robots&SondesExploration #ObservationCosmos
#ObjectifMars

#Surveillance #PriseDécision #GEOINT

#Recensement #EvaluationRisques #Désorbitage

#Allègements #Aérodynamisme
#FabricationAdditive

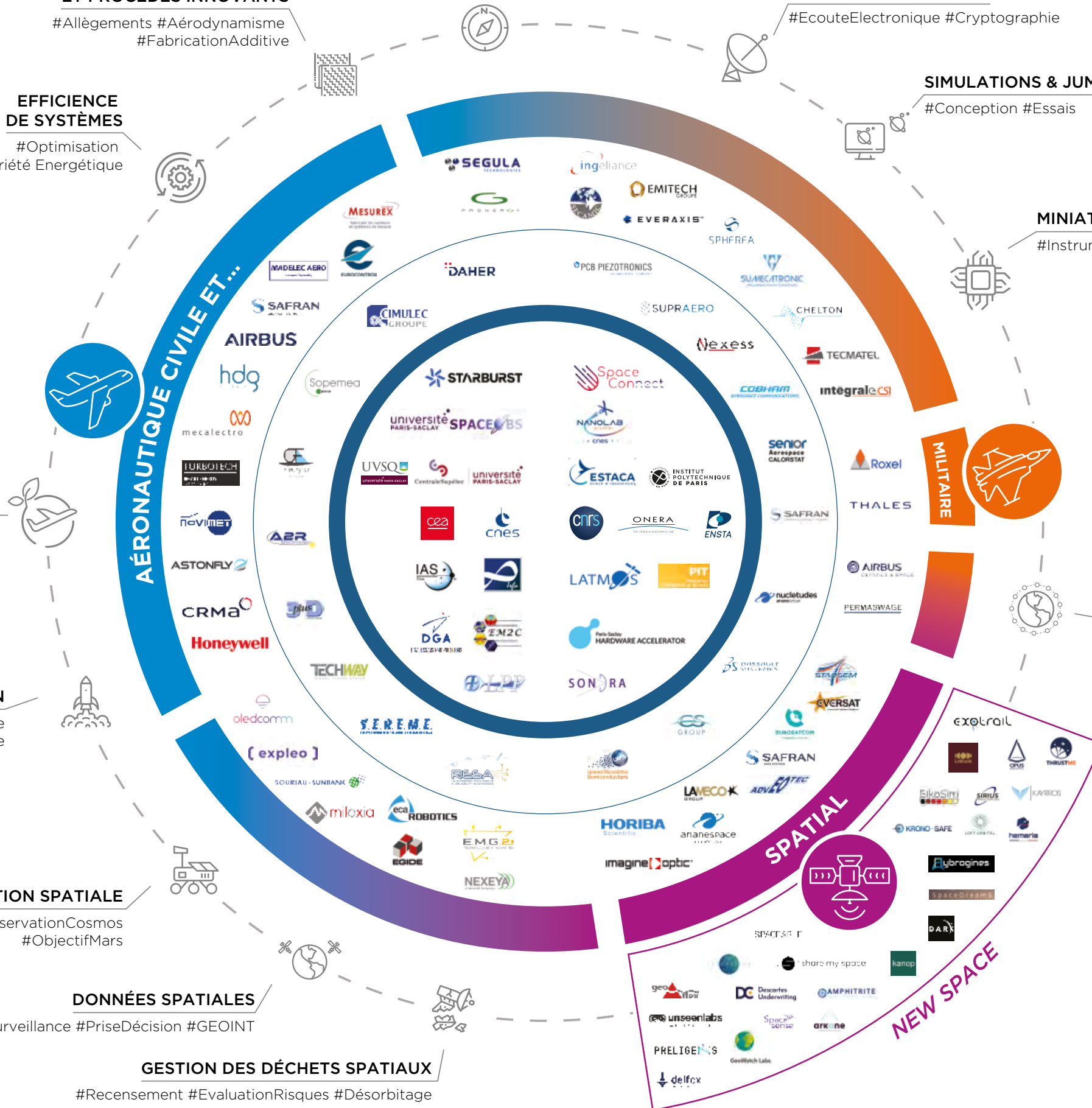
#Optimisation
#Sobriété Énergétique

#EcouleElectronique #Cryptographie

#Conception #Essais

#Instrumentation #Electronique

#ConstellationsSatellites #InternetSpatial



Un ancrage historique de l'aérospatiale-sécurité-défense au cœur de Paris-Saclay

Parmi les atouts phares de la filière à Paris-Saclay figure un fort ancrage territorial sur les activités de sécurité, de défense, d'aéronautique et de spatial.

Bénéficiant de l'implantation historique de la recherche militaire française avec des laboratoires d'excellence mondiale, de la présence des leaders industriels internationaux du secteur, comptant des établissements d'enseignement supérieur prestigieux, des bureaux d'études et d'ingénierie de forte expertise, des programmes d'innovation emblématiques et des start-up de haute technologie, le pôle scientifique et technologique de 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 acteurs, disciplines et technologies.

Aujourd'hui, la filière aérospatiale-sécurité-défense compte, sur le territoire, plus de 60 établissements majeurs, près de 70 laboratoires et plateformes techniques de pointe, près de 65 start-up et représente environ 30 000 emplois.



Un positionnement de longue date sur des technologies souveraines

C'est au début du XX^e siècle que naît, sur le plateau de Saclay, l'aviation civile et militaire moderne avec, en 1897, le vol de **Clément Ader** sur son Éole 3 à Satory. Faute de contrôleur suffisant, celui-ci n'est pas homologué comme le premier vol à moteur de l'aviation. Cependant, dix ans plus tard, à quelques kilomètres de là, l'aviation puis l'aéronautique se développent sur le plateau avec plusieurs aérodromes, ateliers de montage, hangars, bureaux, terrains d'essais et écoles de pilotage. C'est ainsi que dès 1907, le terrain d'aviation de Toussus-le Noble est utilisé par **Robert Esnault-Pelterie**, puis qu'en 1909 l'aérodrome de Buc voit le jour sous la conduite de **Louis Blériot**. Aux alentours de 1917, l'aérodrome de Mérantais est construit par les **frères Farman** à Magny-les-Hameaux, puis en 1930, l'aérodrome de Guyancourt. Une véritable industrie nouvelle se met ainsi en place.

Aux lendemains de la Seconde Guerre mondiale, l'aviation civile et militaire sur le plateau de Saclay est en pleine mutation. En 1948, l'**Office national d'études et de recherches aérospatiales (ONERA)** prend possession du fort de Palaiseau afin d'y regrouper ses forces d'études et développer de grands moyens d'essais. Il s'y développe aux côtés du **Centre d'essais des propulseurs (CEPr)** destiné à tester des moteurs en conditions de vol, un laboratoire installé par le ministère de la Défense autour des étangs de Saclay. Parallèlement, l'innovation aéronautique se poursuit sur le plateau avec des acteurs comme **Airbus** ou comme **Safran** qui a localisé son centre de recherche à Châteaufort.

Paris-Saclay représente un maillage unique d'établissements et d'entreprises dédiés à la sécurité, à la défense et à l'aérospatiale.

• fig.2 Meeting d'aviation de Buc : Mlle Bolland et Maïcon, 6 octobre 1920.



C'est bien à cette époque, et au service de la défense, que commence véritablement l'histoire du plateau de Saclay lorsqu'en 1945 Raoul Dautry et Frédéric Joliot-Curie proposent d'y implanter le **Commissariat à l'énergie atomique (CEA)**.

Le centre ouvre ses portes en 1952, au moment même où le premier plan quinquennal nucléaire français entre en action. Haut lieu d'expérimentation, le CEA est alors dirigé par **Frédéric Joliot-Curie**, premier haut-commissaire à l'énergie atomique. Simultanément, en 1946, le **Centre national de recherche scientifique (CNRS)**, également dirigé par Frédéric Joliot-Curie, s'installe à Gif-sur-Yvette et devient le second pilier du plateau de Saclay.

Dans les années 1950, ce vaste territoire devient le théâtre de la recherche nucléaire mais aussi des sciences fondamentales et appliquées. Ces activités de recherche attirent les étudiants et rapidement les établissements les plus prestigieux ouvrent des locaux au plus proche de chercheurs reconnus internationalement. Bures-sur-Yvette accueille une partie des laboratoires de l'**Université de Paris** dès 1955. En quelques années la **Faculté des sciences de Paris**, l'**École supérieure d'optique**, l'**École polytechnique**, l'**ENSTA** sont créées ou s'installent dans la zone. D'autres références de l'apprentissage scientifique les rejoindront. C'est ainsi que, dans le sillage du CEA, les premiers laboratoires des très grandes entreprises françaises s'installent au plus près. En 1968, **Thomson-CSF**, devenu depuis Thales, y construit le premier centre de recherche privé. **Sagem Défense Sécurité**, **EADS** (futur Airbus Defence and Space) ou **Arianespace** suivront.

Paris-Saclay est aujourd'hui l'un des grands centres de recherche et de développement du nucléaire européen. Comptant également le pôle défense de Versailles-Satory, il s'est fondé sur des technologies souveraines liées à la défense et à la sécurité de l'État français. Il représente aujourd'hui un maillage unique d'établissements et d'entreprises dédiés à la sécurité, à la défense et à l'aérospatiale.

1945

LE CEA S'IMPLANTE SUR LE PLATEAU DE SACLAY

Il est suivi par le CNRS en 1946 et par l'ONERA en 1948.

• fig.3 Première construction du site du CEA à Bruyères-le-Châtel sur la zone de Paris-Saclay.



Le cœur de l’innovation militaire française

Si le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay s’est en grande partie construit autour des activités de défense et de sécurité, notamment nucléaire avec l’implantation du CEA dès 1945, il reste bien aujourd’hui le cœur de l’innovation militaire française.

Parmi les forces en présence sur le territoire, le **site militaire de Versailles-Satory** est un atout indéniable. Celui-ci est composé de deux entités. Le site de Satory-Est est un camp militaire sur lequel sont implantés divers organismes et formations à vocation opérationnelle et logistique de **l’armée de Terre** et de la **Gendarmerie nationale**, dont plusieurs zones résidentielles logeant près de 5 000 ressortissants de la défense et leurs familles. Le site de Satory-Ouest recouvre une zone d’activité qui héberge de nombreuses entreprises industrielles œuvrant notamment dans les technologies des armements terrestres dont des leaders du secteur Arquus ou Nexter. Bénéficiant de pistes spéciales et de bancs d’intégration, le site de Satory permet notamment la réalisation d’essais constructeurs. Il est également un haut lieu d’innovation pour l’armée de Terre, comme l’illustre le **projet Vulcain** consistant à repérer et à tester les robots militaires développés par les industries de pointe dans l’optique de les intégrer aux tactiques d’attaque et de défense à horizon 2040.

Le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay reste bien aujourd’hui le cœur de l’innovation militaire française.

Aux côtés des entreprises **Arquus**, leader européen des véhicules blindés dont le service dédié aux tests véhicules est situé à Versailles-Satory, et **Nexter**, leader de la défense terrestre dont la direction générale ainsi que les pôles études-développement-ingénierie, soutien logistique, maintenance et soutien à l’exploitation sont également situés à Versailles-Satory, d’autres industriels phares du secteur ont choisi d’implanter leurs centres d’innovation au cœur de Paris-Saclay. C’est notamment le cas de **Thales**, l’un des leaders mondiaux de la cybersécurité qui a installé en 2005 à Palaiseau l’un de ses plus importants sites de recherche, ou de **Safran**, équipementier de premier rang des domaines aéronautique, espace et défense, dont plusieurs sites sont implantés au cœur du territoire. Dans le voisinage proche, la société **MBDA**, leader européen dans la conception de missiles et de systèmes de missiles regroupe quant à elle 3 000 personnes dédiées à la recherche et au développement au Plessis-Robinson. Une grande partie des principaux membres du **GICAT**, le **Groupement des industries françaises de défense et de sécurité terrestres et aéroterrestres**, est ainsi implantée à Paris-Saclay.

Côté recherche publique, le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay compte, depuis ses origines, des organismes prestigieux, tels que l’**ONERA**, Office national d’études et de recherches aéros spatiales dès 1948 ou le **CEA**, Commissariat à l’énergie atomique, dont la **Direction des applications militaires** (CEA-DAM), créée en 1958, est aujourd’hui implantée à Bruyères-le-Châtel.

Des industriels phares du secteur de la sécurité-défense ont choisi d’implanter leurs centres d’innovation au cœur de Paris-Saclay : Arquus, Nexter, Thales, Safran, MBDA.

Le CEA-DAM à la tête de la simulation nucléaire

Créée en 1958, la direction des applications militaires du CEA (CEA-DAM) recouvre trois missions principales : elle doit répondre aux enjeux de la dissuasion nucléaire ; surveiller, analyser et intervenir pour la défense et la sécurité et contribuer à l’excellence de la recherche et à la compétitivité de l’industrie. Depuis la création de la DAM, ses activités sont réparties avec celles des armées. Si le soutien logistique des opérations est de la responsabilité des armées, il appartient à la DAM de préparer les expériences, d’effectuer les mesures pendant les essais et d’en exploiter les résultats. Depuis la fin des essais en conditions réelles, la simulation a pris le relais. La DAM a alors construit de grandes installations de simulation : le Laser Megajoule (Le Barp), l’installation radiographique Epure (Valduc), le Réacteur d’essai RES (Cadarache) et le Supercalculateur EXA1 (Bruyères-le-Châtel). Ce dernier-né des grands instruments de la DAM, installé en plein cœur de Paris-Saclay,

a été inauguré en septembre 2021. Construit en partenariat avec Atos, il est le premier supercalculateur exascale, capable de traiter le milliard de milliards d’opérations par seconde. La DAM et Atos ont construit trois supercalculateurs avant de parachever celui-ci. La première partition de l’EXA1, appelée CEA-HF, atteint une puissance de 35 millions de milliards d’opérations par seconde. Il s’agit, à ce jour, du plus grand système de calcul haute performance (HPC) au monde. Classé d’ores et déjà en 14^e position du TOP 500 des calculateurs mondiaux, cet outil possède la technologie énergétique la plus durable à ce jour. Équipé de CPU, il est refroidi à l’eau tiède, ce qui permet de contrôler la consommation d’énergie et donc les coûts. Une nouvelle partition, beaucoup plus puissante, est prévue à la mi-2023. Enfin, la DAM assure l’ingénierie nucléaire des infrastructures militaires de la France, de leur création à leur démantèlement.



• **fig.4** Mise en service fin 2021 par le CEA DAM en plein cœur de Paris-Saclay, la première partition du nouveau supercalculateur EXA1, dénommée «CEA-HF», est basée sur le produit BullSequana XH2000 d’Atos.

Groupe MBDA : le leader européen du missile

Suite aux rapprochements de Matra BAe Dynamics, Aérospatiale Matra Missiles et Alenia Marconi Systems, naît MBDA en 2001, spécialisée dans les missiles et les systèmes de missiles. Installée majoritairement en Île-de-France – ainsi que dans différents pays d’Europe et aux États-Unis – et désormais numéro deux sur le marché mondial du missile et leader en Europe, MBDA équipe les trois types de forces armées (Mer, Terre, Air). Outre les missiles, le groupe a déployé – notamment grâce à l’union industrielle à l’origine de sa création – des savoir-faire spécifiques dans les systèmes de défense aérienne contre les appareils de petite taille tels que les mini ou les micro-drones. Ses experts créent également tous types de drones : spatiaux, sous-marins et/ou porteurs d’armes. La complémentarité de son offre lui permet de répondre aux attentes des armées du monde

entier en matière de systèmes de contre-mesure ou de contre-minage, mais aussi plus largement de détection (radars). Enfin, MBDA possède sa propre usine de démantèlement de munitions. La direction du groupe et la R&D sont installées au Plessis-Robinson. Cette proximité avec Paris-Saclay a, de longue date, incité les chercheurs du groupe à collaborer avec les équipes de recherche du territoire. Ainsi, de nombreux partenariats ont été développés tels que celui mis en place avec le CEA-List lié à la corrélation entre les images satellites et la vision du missile. Le groupe possède en outre un contrat cadre qui régit ses relations, au long cours, avec le CEA. Enfin, le groupe collabore avec l’IRT System X et avec le pôle de compétitivité Systematic. Entre MBDA et le maillage scientifique de Paris-Saclay, il s’agit donc d’une coopération historique et amenée à durer.

De même la **DGA Essais propulseurs** (Direction générale de l'armement) est implantée depuis plus de 70 ans sur le plateau de Saclay et travaille au profit des programmes d'armement et des plus grands industriels mondiaux de l'aéronautique. Les plus grands acteurs de l'innovation de défense sont par ailleurs représentés sur le territoire tels que l'**Innovation Défense Lab**, un accélérateur d'innovation pour l'ensemble de la défense française issu de l'**Agence de l'innovation de défense, GINCO**, l'un des huit pôles d'innovation technique de la Direction générale de l'armement consacré aux techniques NRBC – nucléaire, radiologique, biologique et chimique, mais également la **DGA Maîtrise NRBC** située à Vert-le-Petit ou l'**Institut de recherche biomédicale des armées** (IRBA) implanté à Brétigny-sur-Orge.

Au-delà de son excellence scientifique et technologique, Paris-Saclay est également particulièrement réputé pour ses initiatives interdisciplinaires et collectives qui facilitent les passerelles entre disciplines scientifiques et technologiques et favorisent la transversalité entre ses acteurs. Dans le domaine de la défense et de la sécurité, deux initiatives sont ainsi particulièrement exemplaires. La première, **GAI4A** (Groupement académies, industries, ingénieurs d'Île-de-France pour l'innovation au profit de l'armée de Terre) a été créée en 2021 par l'**Université Paris-Saclay**, l'**Agence de l'innovation de défense**, l'**Institut Polytechnique de Paris**, l'**armée de Terre** et le **GICAT** en vue de favoriser des partenariats transverses et des projets avec pour ambition la création d'un pôle d'innovation dans le domaine des équipements terrestres et aéroterrestres.

2 INITIATIVES INTERDISCIPLINAIRES ET COLLECTIVES PARTICULIÈREMENT REMARQUABLES: GAI4A ET CIEDS

GAI4A, le nouveau pôle d'innovation des armées terrestres et aéroterrestres

En mars 2021, l'Université Paris-Saclay, l'Agence de l'innovation de défense (AID), l'Institut Polytechnique de Paris, l'armée de Terre et le GICAT (Groupement des industries françaises de la défense et de la sécurité terrestres et aéroterrestres) signaient, sur le site militaire de Versailles-Satory, l'acte de naissance de GAI4A. Ce « Groupement académies, industries, ingénieurs d'Île-de-France pour l'innovation au profit de l'armée de Terre » a été créé afin de faire naître des partenariats transverses à l'origine de projets d'innovation dans le domaine des équipements terrestres et aéroterrestres. Comment ne pas profiter en effet de la profusion d'intérêts des différents acteurs

et de leurs recherches à proximité de Versailles-Satory. Le premier projet de GAI4A a été lancé fin 2022 et intègre les équipes d'Arquus, premier fournisseur en véhicules terrestres de l'armée de Terre, installé à Versailles-Satory, du laboratoire de recherche IBICS (Informatique, bioInformatique, systèmes complexes) de l'Université d'Évry Paris-Saclay et du groupement Innovation de la Section technique de l'armée de Terre, la STAT. Il a pour but l'optimisation énergétique du secteur de la défense, notamment au niveau des véhicules militaires. Outre ce premier projet, les ambitions de GAI4A sont multiples. En effet, la synergie entre les univers civils et militaires devrait,

très bientôt, alléger les systèmes embarqués sur les plateformes, augmenter les capacités de détection d'essaims de drones, permettre une gestion optimisée de véhicules autonomes et de robots, aider à la sécurisation des dispositifs de connectivité mobile ultra-haut débit (5G/6G) ou à la généralisation de la fabrication additive (impression 3D). En outre, il est prévu d'installer au sein de Paris-Saclay – certainement sur le plateau de Versailles-Satory – une plateforme technologique dans des locaux communs avec plusieurs pôles: études, zones de démonstration, terrains d'essais et d'expérimentation militaires, *showroom*.

La deuxième, 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 également vu le jour en 2021. Développant des projets dans plusieurs thématiques de recherche – fabrication additive, sécurité numérique, robotique et intelligence artificielle, optimisation énergétique et propulsion ou technologies quantiques – il a pour objectif de répondre aux besoins technologiques du secteur de la défense. En vue de renforcer le maillage entre chercheurs, élèves de l'Institut Polytechnique de Paris, entreprises, structures de financement et ministère des Armées, il a également créé le **Club des partenariats industriels** qui ouvre un accès privilégié à ses résultats et technologies protégées.

Parmi les principaux enjeux en matière d'innovation des secteurs de la défense et de la sécurité aujourd'hui, on compte en effet le développement de technologies émergentes de défense avec le soutien à l'industrie micro et nanoélectronique, aux technologies quantiques ou au secteur de l'énergie, le déploiement des technologies de fabrication additive ou de jumeau numérique, la défense nucléaire, radiologique, biologique et chimique (NRBC), la robotique autonome pour le combat terrestre ou encore la cyberdéfense, autant de domaines dans lesquels le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay a développé, depuis de nombreuses années, une expertise spécifique et internationalement reconnue.

Le pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay a développé une expertise spécifique et internationalement reconnue en sécurité et défense.



• **fig.5** Un AMX-56 Nexter (Char Leclerc) en mouvement rapide.

Nexter : premier systémier intégrateur français des armées de Terre

L'histoire de Nexter prend racine dans la création des premières manufactures d'armes créées en France au XVII^e siècle. Issu directement de ces savoirs, Nexter (ex-Giat Industries) se fait connaître du plus grand nombre en 2005 comme fabricant du char d'assaut Leclerc MBT, équipement phare de l'armée de Terre française. Suivront le VBCI (véhicule blindé de combat), le système d'artillerie Caesar ou le 4x4 Aravis. Le véhicule blindé Serval, dernière réalisation de Nexter, a commencé au printemps 2023 à être livré à l'armée de Terre française dans le cadre du programme Scorpion. Ce programme d'armement a pour but de moderniser et de renouveler les groupements tactiques interarmes français, notamment par l'apport de technologies innovantes. Pour l'architecte et systémier

intégrateur français de la défense terrestre, Scorpion représente un contrat de 330 M€. En 2015, Nexter a fondé la coentreprise européenne KNDS grâce à son rapprochement avec KMW, grand armurier allemand. Nexter, dont la direction générale est installée à Versailles, près de la zone militaire de Satory, propose à ses clients une offre complète comprenant des systèmes (systèmes blindés, d'artillerie ou d'armes et tourelles) mais aussi des munitions et des équipements pour les systèmes électroniques embarqués, l'optique, la mécanique ou la protection NBC (nucléaire, biologique et chimique). Son directeur général, Nicolas Chamussy, est diplômé de l'École polytechnique et de l'ENSTA, toutes deux installées au cœur de Paris-Saclay.

Une concentration de leaders industriels mondiaux

Attirées par la présence d’organismes de recherche de renommée internationale, notamment dans les domaines nucléaire, militaire ou spatial, et de grandes écoles d’ingénieurs, stimulées par des équipements majeurs ouverts à la R&D industrielle et des programmes interdisciplinaires novateurs, de nombreuses entreprises se sont, au fil des années, implantées au cœur du pôle scientifique et technologique de Paris-Saclay.

En matière de **sécurité-défense**, ce tissu industriel se caractérise, tout d’abord, par la présence de grands intégrateurs, tels que **Airbus, Dassault Aviation** ou **ArianeGroup**, ainsi que de grands équipementiers comme **Goodrich, Thales** ou **Safran**. Ces groupes sont présents tant par leurs activités de siège et de recherche et développement, que par leurs grands sites de production. Aux côtés de ces acteurs mondiaux, la filière compte de nombreuses PME et ETI ainsi que des start-up issues de la recherche publique ou d’entreprises du territoire. **104 acteurs industriels** de toutes tailles ont ainsi été répertoriés à Paris-Saclay. Associés à ces entreprises, un important tissu de sous-traitants industriels alimente la filière avec 1400 établissements, essentiellement des PME, issus de la mécanique, du traitement des métaux ou de l’électronique. Il convient, enfin, d’ajouter les nombreux bureaux d’études qui assistent l’ensemble des acteurs tout au long de la chaîne de valeur industrielle.

104

ACTEURS INDUSTRIELS DE TOUTES TAILLES

104 groupes, ETI, PME, EPIC, TPE ont été répertoriés sur le territoire dans le secteur de la sécurité-défense.

Safran: l’aviation au cœur depuis toujours

Si Safran est actuellement le premier motoriste aéronautique mondial, ses racines remontent à la toute fin du XIX^e siècle alors que la France est l’un des creusets de cette nouvelle industrie. Il équipa ainsi le premier vol de la Méditerranée de Roland Garros, en 1913. Le groupe, qui prend le nom de Safran en 2005 après la fusion de Snecma et de Sagem, s’ouvre à la conquête du marché spatial. Avec des activités majeures installées à Saint-Quentin-en-Yvelines, Évry-Courcouronnes ou aux Ulis, le groupe est pleinement présent à Paris-Saclay. Si Safran se concentre sur la création et la fabrication de moteurs d’avions, d’hélicoptères et de fusées, il ouvre aussi son activité à la production d’équipements aéronautiques (nacelles, câblages, trains d’atterrissage, équipements intérieurs), de systèmes de communication (instrumentation d’essais, télémesure, communications pour l’espace) ou de défense. Il a notamment distribué le CFM56, le moteur d’avion commercial le plus vendu au monde, ou équipé les avions de l’armée de l’Air française comme le Mirage 2000.

Afin de porter au plus haut les ruptures technologiques, Safran utilise tous les outils à sa disposition tels que la plateforme Factory Lab de Paris-Saclay ou le centre de formation CampusFab en Essonne. Une appétence pour l’innovation qui s’accompagne d’un souhait de collaboration accrue avec les acteurs académiques du territoire, notamment dans le cadre des travaux réalisés au sein de son centre de recherche et technologie,

Safran Tech, implanté à Paris-Saclay. Ainsi, Safran coopère avec le CNRS, l’ONERA ou le CEA, ainsi qu’avec les universités et écoles d’ingénieurs du territoire. Afin de parachever ces partenariats, le groupe a créé différentes chaires industrielles. Avec plus de 80 000 salariés dans le monde – dont 43 000 en France –, il reste le grand spécialiste dans ses domaines d’intervention.

• **fig.6** Le moteur de nouvelle génération LEAP-1A élaboré par le groupe Safran, choisi pour équiper l’Airbus A320neo.



Arianespace, premier lanceur de satellites au monde

Fondée en 1980, Arianespace est aujourd’hui le premier lanceur de satellites au monde. L’entreprise a notamment la particularité de posséder quatre lanceurs à son catalogue (Ariane 5, Ariane 6, Vega et Vega C). Acteur intégré au sein de la révolution *New Space*, Arianespace, grâce à son lanceur Ariane 6, va bientôt proposer une nouvelle offre: le déploiement d’une large gamme de petits satellites grâce à son système MLS (*Multi-Launch Service*) allant des CubeSats aux MicroSats. Une réponse attendue par l’ensemble des start-up de la filière. Dans le même temps, soit dans les cinq prochaines années, le nombre de satellites en orbite basse de la Terre devrait être multiplié par dix. La gestion du trafic dans l’espace prendra alors une tout autre importance. C’est pourquoi Arianespace a signé un partenariat avec SpaceAble, une start-up portée par IncubAlliance Paris-Saclay, qui offre un service et des technologies inédites visant à fiabiliser l’orbite basse terrestre et en permettre une utilisation durable. Son siège social étant installé à Évry et son lanceur Ariane 6 étant assemblé aux Mureaux, c’est



tout naturellement qu’Arianespace s’est tournée vers l’écosystème local de recherche et d’innovation dans le cadre de différents partenariats. Ainsi, elle participe activement au cursus de deux filières spatiales, celle de l’ESTACA et celle de l’École polytechnique. Cette dernière a regroupé en 2023 ses trois activités spatiales (AstronautiX, l’association étudiante spatiale; le CSEP, un regroupement d’étudiants, d’ingénieurs, d’enseignants-

chercheurs, d’intervenants des agences spatiales et de l’industrie et la chaire ESDS, issue du mécénat combiné d’ArianeGroup et de Thales Alenia Space). Au sein de l’ESTACA, la filière spatiale permet aux étudiants d’accéder à une solide formation assurée par des ingénieurs affiliés à des instituts majeurs ou à des industriels très pointus tels qu’Arianespace, mais aussi l’ONERA, le CNES ou Safran.

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

La sécurité-défense compte encore des start-up particulièrement prometteuses telles que les start-up **MirSense** et **Almae Technologies**, toutes les deux issues du III-V Lab. La première porte l'ambition de révolutionner le marché de la spectrométrie laser grâce à des solutions laser intelligentes et rentables. La deuxième conçoit et fabrique des composants photoniques essentiels aux infrastructures télécoms et datacom de nouvelles générations et plus largement à toutes les futures solutions de connectivité. Citons encore la start-up **New Imaging Technologies (NIT)**, pionnière dans les solutions de *Wide Dynamic Range*, qui est aujourd'hui l'un des principaux acteurs mondiaux dans la fourniture de solutions de caméras et de détecteurs notamment pour des applications en sécurité et surveillance, ou les start-up **Weeroc**, **WIN MS**, **Isybot**, **Ubble**, **Innov+** ou **Teratonics**.

En matière d'**aérospatiale**, la filière est avant tout caractérisée par le poids de la Région Île-de-France, première région aéronautique d'Europe avec 105 000 emplois liés à cette activité industrielle. Parmi les entreprises répertoriées, de grands groupes sont représentés sur le territoire, parmi lesquels **Safran**, **Thales**, **Dassault Aviation**, **Airbus**, **Air France Industries** ou encore **Collins Aerospace**. La Région compte notamment sur son territoire des sites de production remarquables tels que les sites d'**Airbus Helicopters** à Dugny ou **Ariane 6** aux Mureaux. La Région Île-de-France qui représente par ailleurs, avec 28 000 chercheurs, 43 % du budget de R&D de l'aéronautique française, occupe ainsi le 1^{er} rang mondial en matière de maintenance, équipements aéronautiques, avions d'affaires, outils de modélisation et de simulation, propulsion et lanceurs.

Thales au cœur des hautes technologies

Le groupe Thales a la particularité d'être parmi les leaders mondiaux dans un grand nombre de domaines liés aux hautes technologies. Défense, communication, aérospatiale, construction navale, *deeptech*... le groupe français propose une offre complète couvrant un large spectre des activités de l'aérospatiale-sécurité-défense. Créé en 2000, Thales est aujourd'hui implanté dans 68 pays et compte pas moins de 77 000 collaborateurs à travers le monde. La raison d'être du groupe, « Construisons ensemble un avenir de confiance », résume bien la nature de ses différents marchés. En 2007 – et le transfert des activités transport, sécurité et aéronautique d'Alcatel-Lucent –, il devient l'un des meilleurs spécialistes mondiaux des systèmes d'information critiques sur trois marchés : la défense, l'aéronautique et la sécurité. Ses capacités d'intervention touchent également le naval (participation au capital de DCNS), l'identification (rachat de Gemalto), les semi-conducteurs (création du III-V Lab), les lasers (*via* la start-up MirSense,

spin-off du III-V Lab), la détection sous-marine, le quantique ou les drones (partenaire d'un centre d'excellence dédié à la filière drone à Brétigny-sur-Orge). Aujourd'hui, ses activités sont divisées entre l'aéronautique, avec l'équipement de deux avions sur trois dans le monde et l'équipement de 40 % du contrôle aérien mondial, la défense et la sécurité, notamment *via* l'équipement des armées de Terre et/ou de Mer dans une cinquantaine de pays, l'identité et la sécurité numériques avec la protection et le chiffrement des données, la gestion et le contrôle des identités ou la sécurisation des objets connectés, le transport terrestre, les satellites et l'exploration spatiale. Installées à Élancourt depuis des décennies, les équipes du groupe travaillent en collaboration constante notamment avec l'École polytechnique qui possède une chaire Thales « Ingénierie des systèmes complexes ». Le principal centre de recherche de Thales est par ailleurs directement implanté sur le campus de l'École polytechnique.



• fig.7
Laboratoire
de Thales
à Palaiseau.

À Paris-Saclay, **79 entreprises** ont été répertoriées au sein de la filière aérospatiale. Parmi celles-ci, près de la moitié sont des PME. Elles évoluent principalement dans les secteurs de l'aviation civile, du spatial et de l'aviation militaire, avec une très forte présence en amont de la chaîne de valeur sur les activités de conception, recherche, développement, études et design ainsi que sur les activités de fabrication de pièces et de composants. Parmi les leaders mondiaux présents sur le territoire, citons **Airbus Defence and Space** à Élancourt, **Safran Aérospatiale** à Plaisir, **Arianespace** à Evry, **Dassault Systèmes** à Vélizy-Villacoublay, **Thales** à Massy, **Roxel** au Plessis-Robinson ou encore **Daher Aerospace** et **Daher Technologie** à Paray-Vieille-Poste.

La présence de ces leaders industriels est une force particulièrement structurante pour Paris-Saclay. Le prestige de certains de ces acteurs, leaders mondiaux dans leurs domaines, tels que **Thales**, **Safran**, **Airbus**, **Arianespace**, **Nexter**, **Arquus** ou encore **MBDA**, confirme bien l'ancrage industriel historique de Paris-Saclay dans le secteur aérospatiale-sécurité-défense.

Le prestige de certains acteurs, leaders mondiaux dans leurs domaines, confirme l'ancrage industriel historique de Paris-Saclay dans le secteur aérospatiale-sécurité-défense.

79
ENTREPRISES
RÉPERTORIÉES
AU SEIN
DE LA FILIÈRE
AÉROSPATIALE
À PARIS-
SACLAY.

Airbus à la conquête de l'espace et de la défense

Le fleuron européen de l'aviation commerciale ne se présente plus. Son succès parle pour lui. En revanche, ses activités liées à l'espace, à la défense et à la sécurité sont moins connues du grand public alors qu'elles sont pourtant majeures. Ainsi, Airbus Defence and Space est une des filiales du groupe, dédiée à l'aviation militaire, aux drones, aux missiles, aux lanceurs spatiaux et aux satellites. L'entité et ses divisions développent des solutions adaptées aux attentes de leurs clients dans ces domaines. L'espace, l'étude du climat, la surveillance de la déforestation ou encore les communications sécurisées sont quelques exemples du savoir-faire de l'entreprise. Avec 6 000 personnes en France,

cette filiale est très bien représentée sur le territoire national et compte deux sites majeurs : Toulouse et surtout Élancourt, une commune de la Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines. Sur ce territoire sont développés, commercialisés et installés des systèmes de communication radio mobiles sécurisés proposés aux forces de l'ordre ou aux services de secours (technologies Tetra, Tetrapol et P25). On y traite également de la protection des données hautement sensibles des États et des armées, de surveillance du trafic maritime, de drones ou de la construction et de la réalisation d'outils nécessaires à l'exploration spatiale. Enfin, Airbus y a installé un pôle

de cybersécurité en intégrant des équipes de ses filiales dédiées, Airbus Protect et Stormshield. Dans le cadre de projets internationaux, les collaborateurs travaillent en outre activement à la création de solutions militaires liées aux nouvelles technologies telles que le *Multi-Domain Combat Cloud* ou le *Futur Combat Air System*. Dans ce domaine où les professionnels formés manquent, Airbus CyberSecurity a implanté les locaux de son centre de « cyber-entraînement » au sein du campus de l'École 2600. Chaque année, des étudiants en alternance y sont formés pour devenir analyste en cybersécurité dans le secteur aéronautique (certifié RNCP).

Une capacité de recherche et de formation d'excellence

Aux côtés de ce tissu industriel historique, Paris-Saclay bénéficie d'une capacité de recherche et de formation d'exception à la croisée des disciplines scientifiques.

Au cœur de l'excellence académique de Paris-Saclay : des organismes nationaux de recherche prestigieux, tels que le **CEA** (Commissariat à l'énergie atomique) avec, dans le domaine militaire, sa **Direction des applications militaires - CEA-DAM** - mais également le **CEA-List**, leader en cybersécurité ; le **CNRS** (Centre national de la recherche scientifique) qui, dans le domaine spatial, assure la mise en œuvre des grands programmes de recherche définis et soutenus par le **CNES** (Centre nationale d'études spatiales), notamment en lien avec l'**Agence spatiale européenne (ESA)** et bien entendu l'**ONERA** (Office national d'études et de recherches aéros spatiales) qui dispose de moyens d'essais et d'expertises aéros spatiales uniques.

Paris-Saclay compte également un très grand nombre de laboratoires experts. En matière de sécurité-défense, il existe quatre **laboratoires d'excellence (LabEx)** dont les recherches sont liées aux problématiques de sécurité, défense et cybersécurité : le **LabEx CHARMMMAT** (Chimie des architectures moléculaires multifonctionnelles des matériaux), le **LabEx LaSIPS** (Laboratoire systèmes et ingénierie du plateau de Saclay), le **LabEx NanoSaclay** (Laboratoire d'excellence en nanosciences et nanotechnologies) et **LabEx DigiCosme** (Laboratoire d'excellence en sciences du numérique).

4
LABORATOIRES
D'EXCELLENCE
(LABEX)

dont les recherches
sont liées aux
problématiques
de sécurité, défense
et cybersécurité : LabEx
CHARMMMAT, LabEx
LaSIPS, LabEx
NanoSaclay, LabEx
DigiCosme.

Côté aéros patiale, ce sont près de 1000 chercheurs et plus de 250 doctorants qui évoluent au sein de 11 structures de recherche académiques et publiques particulièrement remarquables. Parmi celles-ci, le **Latmos** (Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales) installé depuis 2009 à Guyancourt, compte plus de 200 chercheurs experts dans l'étude des processus physiques et chimiques des atmosphères terrestres, planétaires et stellaires et dans l'interaction entre l'atmosphère terrestre et les surfaces (surfaces océaniques et continentales). Son excellence fait de l'**Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines**, dont il dépend, la 1^{re} université européenne en sciences de l'atmosphère selon le classement académique des universités mondiales de Shanghai*.

Partenaires fondateurs du **Groupe ment d'intérêt scientifique (GIS) national Paradise** (plateforme pour les activités de recherche appliquées et de développement en instrumentation sol et espace), qui fédère les principaux moyens français d'intégration, de test et d'étalonnage pour l'instrumentation en sciences de l'univers, les plateformes **PIT** (Plateforme d'intégration et de tests) et **IAS** (Institut d'astrophysique spatiale) sont deux autres structures remarquables. La première, située à Guyancourt, est une plateforme technique commune à l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines et au CNRS. Au sein du GIS Paradise, elle met à disposition des moyens d'intégration instrumentale et d'essais mécaniques afin, notamment, de simuler lancements, rentrées atmosphériques ou situations orbitales.

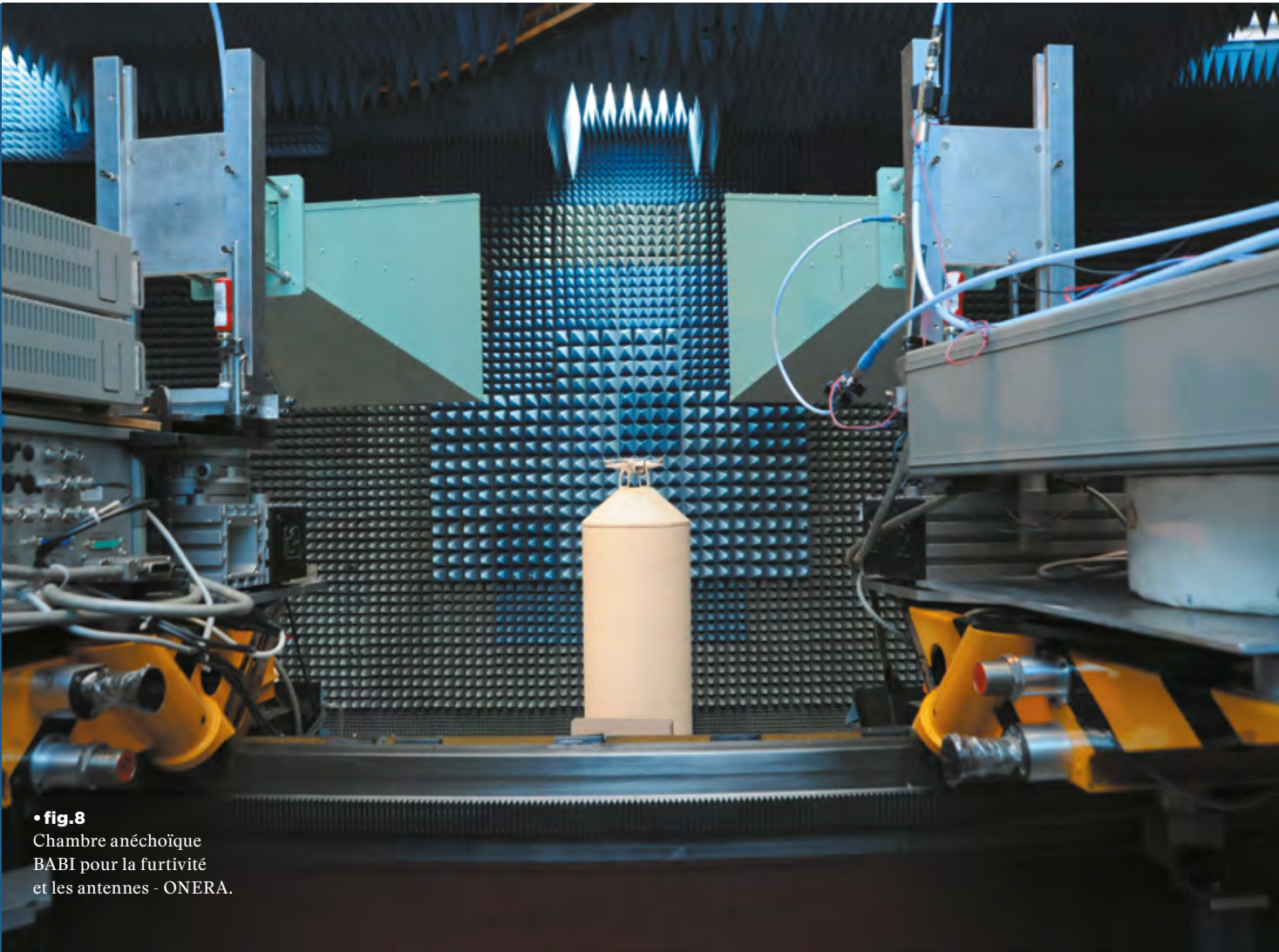
1000
CHERCHEURS
ET PLUS DE
250
DOCTORANTS

évoluent au sein
de 11 structures
de recherche
académiques
et publiques
particulièrement
remarquables
en aéros patiale.

*2022 Academic Ranking
of World Universities (ARWU)

L'ONERA,
expert défense
et aéros patial pour
l'État et l'industrie

L'ONERA - Office national d'étude et de recherches aéros spatiales -, acteur central de la recherche aéronautique et spatiale, emploie plus de 2000 personnes. Placé sous la tutelle du ministère des Armées, il dispose d'un budget de 289 millions d'euros (2023), dont plus de la moitié provient de contrats d'études, de recherche et d'essais. Expert étatique, l'ONERA prépare la défense de demain, répond aux enjeux aéronautiques et spatiaux du futur, et contribue à la compétitivité de l'industrie aéros patiale. Il maîtrise toutes les disciplines et technologies du domaine. Tous les grands programmes aéros spatiaux civils et militaires en France et en Europe portent une part de l'ADN de l'ONERA : Ariane, Airbus, Falcon, Rafale, missiles, hélicoptères, moteurs, radars... Reconnus à l'international et souvent primés, ses chercheurs forment de nombreux doctorants.



• fig.8
Chambre anéchoïque
BABI pour la furtivité
et les antennes - ONERA.

Latmos : simuler et analyser
les données complexes du système solaire

Le Laboratoire atmosphères, milieux, observations spatiales, ou Latmos, est une unité mixte de recherche spécialisée dans l'étude des processus physico-chimiques au cœur des atmosphères de la Terre comme de celles des autres planètes du système solaire. Le Latmos analyse également le lien entre ces atmosphères, les surfaces et les océans ainsi que le milieu interplanétaire. Dans cette optique, son équipe de plus de 200 personnes étudie les différents processus physiques et chimiques présents dans toutes les couches de l'atmosphère de la Terre ainsi que les échanges atmosphère / surface terrestre. Les chercheurs analysent également les planètes et petits corps du système solaire. Enfin, les recherches du Latmos intègrent la physique de l'héliosphère et de l'exosphère des planètes comme des plasmas du système solaire. Le laboratoire est né de la fusion, en 2009, du Service d'aéronomie avec certaines entités du Centre d'étude des environnements terrestres et planétaires. Il est placé sous la quadruple tutelle de l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, du CNRS,

du CNES et de Sorbonne Université. Membre de l'Institut Pierre-Simon-Laplace, il est installé sur deux sites : Guyancourt et Paris. La force du Latmos réside en grande partie dans sa capacité à créer et à utiliser des instruments au sol (stations) ou en orbite (ballons, avions, satellites) capables de récolter un ensemble de données uniques. Ainsi, après un premier nanosatellite d'étude du climat en 2021 (UVSQ-SAT), premier nanosatellite d'étude du climat envoyé dans l'espace par une université française, le Latmos a fait lancer avec succès son successeur, Inspire-Sat, le 15 avril 2023. En outre, grâce à ses modélisations et simulations numériques, le laboratoire accompagne un grand nombre de campagnes de recherche. C'est le cas de la dernière grande mission lancée en avril dernier depuis Kourou pour étudier Jupiter, JUICE. Outre les outils numériques indispensables à la préparation de la mission, le laboratoire compte, tout au long des trois années et demie de la mission, analyser les observations recueillies.

La deuxième, située à Orsay, fédère près de 150 chercheurs en astrochimie, astrophysique, cosmologie, physique solaire et stellaire, planétologie et instrumentation. Enfin, le Département d’astrophysique de l’**Irfu** – l’Institut de recherche sur les lois fondamentales de l’Univers – du **CEA**, est un laboratoire français majeur dans le domaine du spatial, de niveau européen et mondial en matière d’instrumentation et de modélisation. Il a notamment participé à des programmes d’envergure dont **Euclid** et le **James Webb Space Telescope** (JWST), le télescope spatial le plus puissant jamais conçu.

En parallèle de ces activités de recherches fondamentales et appliquées, Paris-Saclay forme également les talents de demain. Occupant la **1^{er} place mondiale en mathématiques**, la **9^e place en physique** et la **29^e place en ingénierie des télécommunications**, selon le classement de Shanghai, Paris-Saclay bénéficie d’un enseignement d’excellence, multidisciplinaire et transversal, proposé par des universités et écoles d’ingénieurs prestigieuses – **CentraleSupélec**, l’**École normale supérieure de Paris-Saclay**, l’**Institut d’optique Graduate School**, l’**École polytechnique**, l’**ENSTA ParisTech**, **Télécom Paris** ou **Télécom SudParis** – qui sont parmi les atouts majeurs de la filière sécurité-défense sur le territoire. Au sein de l’Université Paris-Saclay, quatre *Graduate Schools* trouvent également nombre d’applications au sein de cette filière: Informatique et sciences du numérique, Sciences de l’ingénierie et des systèmes, Physique, de même que son Institut des sciences de la lumière.

Dans le domaine de l’aérospatiale, on dénombre aujourd’hui plus de 65 formations proposées par 18 organismes qui préparent les futurs chercheurs, ingénieurs et techniciens de la filière. Parmi les formations d’excellence du territoire: la filière spatiale de l’**ESTACA** (École supérieure des techniques aéronautiques et de construction automobile) située à Montigny-le-Bretonneux, propose à ses futurs ingénieurs plus de 400 heures de formation, assurées par des experts du CNES, d’EADS, de l’ONERA, d’Arianespace ou du groupe Safran. L’**ENSTA** (École nationale supérieure de techniques avancées) propose notamment un Master Parcours météorologie, océanographie, climat, ingénierie pour les observations spatiales (MOCIS) alors que **CentraleSupélec** propose un Master 2 Aéronautique et spatial. L’**Université Paris-Saclay**, quant à elle, offre plusieurs formations en lien avec la filière aéronautique dont le Master 2 Outils et systèmes de l’astronomie de l’espace (OSAE), le Master Parcours ingénierie des systèmes aéronautiques et spatiaux (ISAS) et plus récemment le Master 2 Enjeux du spatial et nouvelles applications – *New Space*. Enfin, citons le **Campus des métiers et des qualifications aéronautique et spatial** porté par l’**Université d’Évry** qui regroupe entreprises, organismes de formation, de la recherche et des acteurs clés du territoire pour œuvrer ensemble à l’adéquation formation – compétences – emplois notamment autour de la conception, de la production et de la maintenance 4.0.



•fig.9 Une séance de travail hebdomadaire au sein de CentraleSupélec, dans le cadre du programme Nanolab Academy / CNES.

65

FORMATIONS

proposées par
18 organismes qui
préparent les futurs
chercheurs, ingénieurs
et techniciens de
la filière aérosapatale.

CNRS : quand l’espace est analysé au plus près

Depuis près de 50 ans, le CNRS et le CNES, *via* la signature d’un accord cadre de coopération scientifique signé en 1976 et prolongé continuellement depuis, unissent leurs efforts dans les domaines de la recherche sur l’environnement terrestre et l’univers au-delà de la Terre. Dans ce contexte, le CNRS assure l’accompagnement scientifique des grands programmes définis et soutenus par le CNES ainsi que leur exploitation scientifique. Ces programmes peuvent être propres au CNES, mais aussi en lien avec ceux de l’Agence spatiale européenne (ESA) ou encore issus d’accords bilatéraux, comme avec

la NASA par exemple. Ces projets de recherche couvrent un éventail assez large de domaines allant de la création d’instrumentation embarquée à bord de satellites, aux sondes interplanétaires ou aux ballons, comme au développement de méthodes innovantes d’analyse d’observations (en astronomie-astrophysique comme pour l’observation de la Terre). Les laboratoires phares du CNRS en astrophysique, recherche et instrumentation spatiales, qui portent ou contribuent à ces projets de scientifiques sont en grande partie situés à Paris-Saclay. C’est ainsi le cas pour le Latmos à Guyancourt ou l’Institut

d’astrophysique spatiale à Orsay. L’École polytechnique, quant à elle, accueille en partie les équipes du Laboratoire de météorologie dynamique et l’ensemble de celles du Laboratoire des physiques des plasmas. La direction technique de l’Institut des sciences de l’Univers du CNRS (INSU) est également installée sur le territoire, au sein du campus CNRS de Gif-sur-Yvette. L’INSU anime et coordonne des recherches d’ampleur nationale et internationale autour des sciences de la Terre, mais aussi de l’étude des surfaces et des interfaces continentales, de l’océan, de l’atmosphère, de l’astronomie et de l’astrophysique.

ENTRETIEN AVEC ANTOINE MINIUSSI, INGÉNIEUR SYSTÈME NANOSAT, ONERA

Accompagner les nouveaux enjeux de l’aérospatiale



Si le *New Space* traduit l’émergence de tout nouveaux entrants sur le marché des lanceurs et des satellites – dont des start-up –, il n’en reste pas moins investi par des acteurs historiques de la filière aérospatiale. À l’image de l’Office national d’études et de recherches aérospatiales (ONERA), au sein duquel travaille Antoine Miniussi, ingénieur système nanosat. Il nous explique comment l’ONERA participe à cette filière en la faisant profiter de ses moyens d’essais et de ses expertises aérospatiales uniques. Et ce malgré les différences de temporalités entre celle imposée par la R&D et la démarche plus itérative et risquée adoptée par les start-up.

L’ONERA est reconnu comme un acteur majeur et historique de la R&D dans le domaine de l’aérospatiale. Comment s’est-il saisi des enjeux et défis du *New Space* ?

AM La vocation de l’ONERA a toujours été d’accompagner les industriels (grands et petits) du secteur aérospatial en poursuivant des travaux de R&D en partenariat et sous-traitance. C’est avec la même philosophie que nous envisageons nos rapports avec les acteurs du *New Space*, y compris les start-up avec lesquelles nous avons déjà pris l’habitude de collaborer en leur faisant profiter de nos expertises et savoir-faire. Étant entendu que c’est une chose de travailler avec de grands industriels de type Thales, Airbus, etc., capables *a priori* de consentir d’importants investissements, c’en est une autre de le faire avec des start-up qui, par définition, disposent de moins de ressources, tant financières qu’humaines, de moins de temps aussi... Le *New Space* nous oblige donc à revoir certains de nos modes de fonctionnement. Un travail a été mené en ce sens, en interne, en vue de dégager des pistes de réflexion pour gagner en agilité et répondre ainsi au mieux aux attentes de ces nouveaux interlocuteurs qui ont le plus souvent besoin de réponses rapides à leurs problématiques.

À vous entendre, ce *New Space* qui est présenté comme étant porté par de nouveaux « entrants » privés, vous offre aussi de nouvelles opportunités...

AM Oui, et cette capacité à se renouveler, à interagir avec de nouveaux interlocuteurs, c’est ce que j’apprécie à l’ONERA. Il est vrai que l’Office a plus de soixante-dix ans d’existence, la recherche et l’innovation étant son ADN, il s’adapte en permanence. Depuis son cœur de métier initial (aéronautique et défense), il a su évoluer en s’ouvrant à d’autres domaines d’expertise, non sans du même coup s’inscrire dans de nouvelles filières industrielles, à commencer par le spatial, à partir des années 1960. Indéniablement, une nouvelle filière est en train d’émerger avec l’arrivée de nouveaux acteurs, qu’il nous faut prendre en considération, d’autant

plus qu’elle attire beaucoup de jeunes ingénieurs et startuppeurs. La plupart des interlocuteurs qui nous sollicitent ont entre 20 et 30 ans... Ils ne sont pas tous experts, mais ils sont passionnés et désireux d’investir le *New Space*. Ils ont des questions auxquelles il nous faut pouvoir les aider à répondre.

Ce *New Space* est défini comme l’entrée de l’industrie du spatial dans l’ère de la miniaturisation des lanceurs comme des satellites, et de la démocratisation de l’accès aux données numériques et de leur traitement par l’IA. Est-ce ainsi que vous caractériseriez cette filière ?

AM Il y a bien cette double logique de miniaturisation et de démocratisation, mais le *New Space* est loin de se réduire à cela. Je me garderai d’en donner une définition canonique, car il en existe plusieurs, mais, fondamentalement, ce *New Space* est d’abord une nouvelle approche consistant à gagner en rapidité, quitte à prendre plus de risques. Jusqu’alors, il était admis que la réalisation d’un programme spatial prenait nécessairement du temps, ne serait-ce que pour valider les bonnes options. Les promoteurs du *New Space* assument de pousser les essais moins loin, d’y consacrer moins de temps, en procédant par itération, autrement dit par essai-erreur. Une philosophie qui est viable économiquement dans la mesure où la miniaturisation des équipements – on y revient – réduit leur coût de fabrication. Les acteurs du *New Space* recourent autant que faire se peut à des technologies sur étagère, accessibles dans le commerce, en grande quantité, à des prix inférieurs à ceux des technologies conçues sur mesure.

Une philosophie que vous avez faite vôtre ?

AM Non, loin de là. L’ONERA reste dans une logique de R&D, avec tout ce que cela signifie en termes de temporalité : nous prenons le temps d’innover et de dé-risquer au maximum les nouvelles technologies avant de les transmettre aux industriels. J’ajoute que notre vocation est de mettre au point des technologies sur mesure, ce qui prend nécessairement

du temps. Nous nous appuyons néanmoins sur ce qu’offre le *New Space* pour ces développements. Comme le suggère bien notre logo, c’est du moins ainsi que je l’interprète, notre vocation est d’abord de faire le pont entre la recherche et l’industrie, dans le respect des temporalités des uns et des autres. Et cela reste vrai à l’heure du *New Space*.

De quels atouts, de quelles ressources pouvez-vous vous prévaloir auprès des acteurs du *New Space* ?

AM Notre premier atout, c’est notre multidisciplinarité. Nos recherches portent sur des domaines aussi divers que l’optique, l’électromagnétisme et le radar, la physique, les matériaux, le traitement de l’information et les systèmes, aérodynamique, énergétique. Si l’ONERA s’organise autour de sept départements scientifiques différents, tous savent dialoguer pour résoudre les problématiques transverses de nos partenaires. L’ONERA, c’est aussi de nombreuses ressources technologiques et humaines, au point d’ailleurs que j’ai passé un an et demi à en faire l’inventaire. En premier lieu : des moyens d’essais dédiés, qui permettent de mener diverses expérimentations comme des tests de propulsion électrique pour mesurer très précisément les petites poussées de mini-propulseurs ; des bancs de décharge électrostatique, des bancs de vibration ; une enceinte à vide thermique, ou encore le banc PESO permettant de tester des technologies pour l’autonomie des petits systèmes spatiaux. Sans oublier le SpaceLab, un laboratoire de simulation numérique avancée en cours de développement, qui permettra de simuler l’environnement spatial, le contrôle de mission ou la gestion de constellations de satellites. À quoi s’ajoutent des technologies tant *hardware* – caméras infrarouges et visibles, radars, capteur d’oxygène atomique, moyens de mitigation de décharge électrostatique, accéléromètres – que *software* – des logiciels pour du contrôle de pilotage de satellites, des logiciels pour la conception de systèmes spatiaux. Enfin, 3^e catégorie de ressources : des algorithmes, pour la simulation de l’écoulement fluide autour d’un lanceur, des atmosphères raréfiées en haute altitude.

Participez-vous à des missions directement tournées vers le *New Space* ?

AM Oui, elles vont de l’étude de l’ionosphère aux ceintures de radiation, à l’observation de la Terre, en passant par des moyens techniques pour atténuer les effets des décharges électrostatiques au sein des satellites. Ces missions ou études s’appuient sur les briques technologiques développées ces dernières années – les caméras embarquées, par exemple – qui sont durcies pour supporter les contraintes spatiales telles les radiations. Nous participons aussi à des projets de recherche associant directement des acteurs du *New Space*.

Ici même, dans l’écosystème de Paris-Saclay ?

AM Oui. En voici un premier exemple : le projet CROCUS (ChaRging On CUbeSat) mené en partenariat avec le centre spatial de l’École polytechnique, avec pour objectifs d’étudier les décharges électrostatiques dans les satellites, de valider une nouvelle génération de charges utiles et de démontrer l’efficacité d’un émetteur d’électrons ONERA pour limiter la charge négative des satellites. Autre exemple, la mission FLYLAB qui pave la route de l’observation de la Terre (visible et infrarouge) et des techniques de vol en formation. Nous travaillons également avec le Latmos, un laboratoire de l’Université de Versailles-Saint-Quentin, sur la charge utile CUIONO du nanosat INSPIRE-SAT7, et le nanosat ASTERIX dont l’objectif est de mesurer le déséquilibre radiatif terrestre en concevant deux caméras embarquées, développées par nos soins.

Comment une start-up du *New Space* peut-elle concrètement vous solliciter ? Avez-vous mis en place un « guichet unique » pour l’orienter vers le bon interlocuteur ?

AM Au sein de l’ONERA, je suis un interlocuteur tout désigné. Elle peut me contacter directement ou me croiser sur les salons professionnels. Bientôt, le laboratoire transverse ONSATLab (pour ONERA Satellite Laboratory), en cours de mise en place, sera un interlocuteur privilégié des acteurs du *New Space*, start-up et autres. Son site web (w3.onera.fr/nanosat/) donne d’ores et déjà un aperçu sur nos activités nanosat à l’ONERA. Par ailleurs, l’ONERA participe à BLAST, un programme d’accompagnement et d’accélération de start-up *deeptech* dans le domaine aéronautique-espace-défense, lancé en 2020. Nous leur consacrons à chacune une centaine d’heures. J’en accompagne deux personnellement en leur faisant profiter de mon expertise technique.

Dans quelle mesure prenez-vous en compte les préoccupations croissantes en termes de durabilité, d’efficacité énergétique ?

AM Ce sont des enjeux majeurs auxquels je suis personnellement très sensible. À l’image de ses travaux pour l’aéronautique, l’ONERA s’implique dans de la R&D qui répond aux contraintes environnementales. Par exemple, en 2021, l’ONERA s’est équipé d’un banc de simulation spatiale, ERIS, dédié à l’étude de la propulsion spatiale électrique. Autre exemple, dès 2015, l’ONERA planchait sur le projet HYPROGEO, en concevant et en testant un démonstrateur de moteur hybride. Nos missions spatiales sont d’ailleurs contraintes par la loi française de 2008 relative aux opérations spatiales – la seule loi à ce jour qui oblige les opérateurs à désorbiter leurs satellites en fin de vie afin de garantir un environnement spatial propre.

Propos recueillis par Sylvain Allemand

Un écosystème d’innovation dynamique

Historique sur le territoire, la filière aérospatiale-sécurité-défense n’en reste pas moins particulièrement dynamique avec un nombre croissant de créations de start-up et de projets innovants, notamment sur les nouveaux enjeux de cybersécurité et de *New Space*.

Ces projets bénéficient 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 **Pépinières 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**.



Programme BLAST : les jeunes pousses *deeptech* françaises de l’ASD ont leur programme d’accélération

En novembre 2020, l’accélérateur Starbust, la SATT Paris-Saclay, l’ONERA et l’École polytechnique lançaient le programme BLAST (*Boost and Leverage AeroSpace and defence Technologies*). Premier programme français d’accélération dédié aux entreprises *deeptech* de l’aéronautique, du spatial et de la défense, il a pour objectif de faire émerger et d’accompagner chaque année une vingtaine d’entreprises de technologie de rupture émergentes et de programmes de recherche. Ce programme inédit permet également de réunir l’ensemble des acteurs de l’écosystème ASD, des grands donneurs d’ordres industriels aux fonds d’investissement. L’ambition : faire émerger une nouvelle génération de start-up françaises et consolider un vivier de start-up *deeptech* capables

de participer aux futurs programmes aérospatiaux et de défense, tant aux niveaux national qu’europpéen. Parmi les thématiques privilégiées par le programme : l’aviation décarbonée, les nouvelles plateformes de mobilité aérienne urbaines et régionales, l’autonomie, l’intelligence artificielle, la communication *cloud* sécurisée ou encore le spatial au sens large. En 2021, douze start-up et huit programmes de recherche ont été sélectionnés. Ils portaient sur des thématiques aussi variées que la création d’un prototype de capsule volante individuelle pour décongestionner la circulation au sein des agglomérations (Caps), celle d’un drone naval (Seaproven) permettant le recueil de données océanographiques, ou un projet de recherche sur la détection de fuite de gaz par caméra infrarouge (ONERA).

La deuxième promotion, en 2022, a également apporté son lot de créations pointues avec, notamment, DisAltek, un projet de détection de décharges illégales aux moyens d’images satellitaires et d’algorithmes de reconnaissance, Octofan, un drone géant fonctionnant à l’hydrogène, ou VeriQloud, une solution de cybersécurité quantique. Dès l’édition 2022, le CNES et le groupe MBDA ont rejoint les partenaires initiaux, animateurs et soutiens du programme. L’Agence innovation de défense du ministère des Armées, OVH Cloud ou encore Naval Group, Thales Alenia Space et Safran regardent également de près les start-up accompagnées. Le programme BLAST souhaite ainsi impulser une nouvelle dynamique pour accompagner le développement de ce secteur particulièrement porteur.

• fig.10 Les lauréats 2022 du programme BLAST.

40
LIEUX
D’INNOVATION
SUR LE
TERRITOIRE
DE PARIS-
SACLAY.

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 la **Software République** sont également consacrés au développement de technologies innovantes. Enfin, le **Paris-Saclay SPRING** est organisé chaque année depuis 2019 et est aujourd’hui une véritable vitrine de l’innovation scientifique et technologique en Île-de-France, tout comme d’autres événements.

Au sein de la filière aérospatiale-sécurité-défense, des programmes sont également dédiés, tels que le **programme BLAST**, 1^{er} programme français d’accélération dédié aux entreprises *deeptech* de l’aéronautique, du spatial et de la défense. Lancé en novembre 2020 par **Starbust**, pilote du consortium, la **SATT Paris-Saclay**, l’**ONERA** et l’**École polytechnique**, il accompagne chaque année une vingtaine de start-up ou projets de recherche de la filière. De même, l’incubateur de Paris-Saclay **IncubAlliance** est labellisé depuis 2018 incubateur partenaire de l’**ESA BIC Nord France**, un réseau d’incubateurs de start-up en lien avec le spatial, pour l’incubation des start-up de la filière *New Space* sélectionnées par l’**Agence spatiale européenne** (ESA).

IncubAlliance, le premier incubateur technologique de France

Né en 2000 au cœur de Paris-Saclay, IncubAlliance est reconnu comme l’un des incubateurs majeurs de la *deeptech* française. Sa création a été souhaitée par les prestigieux établissements d’enseignement supérieur et de recherche comme par les industriels du territoire en vue de soutenir les projets d’entrepreneuriat technologique innovants issus de la recherche publique. Il est soutenu par des partenaires de premier plan tels Enedis, Veolia, Nokia, Thales, la Société Générale ou la Banque Populaire Île-de-France, et par de grands acteurs publics tels

que le ministère de l’Enseignement supérieur, de la Recherche et de l’Innovation, l’Union européenne ainsi que les collectivités du territoire. Suite à sa labellisation comme incubateur partenaire de l’ESA BIC Nord France en 2018, la structure a commencé à accueillir des projets liés au *New Space*. Ce réseau d’incubateurs de start-up ayant un lien avec le spatial est soutenu par l’Agence spatiale européenne (ESA) et le CNES. Les start-up sélectionnées dans ce cadre reçoivent une subvention et doivent être incubées au sein de l’un des 17 incubateurs publics partenaires. En 2022, 50 % des

projets lauréats de l’ESA BIC Nord France ont ainsi choisi IncubAlliance. La spécificité de ces start-up est qu’elles nécessitent des investissements importants et doivent, dans le même temps, réaliser des levées de fonds et faire croître leurs effectifs. IncubAlliance les accompagne dans ces deux domaines. Ce fut ainsi le cas pour la start-up Latitude (ex-Venture Orbital Systems), qui a réalisé une levée de fonds de 10 M€ en juin 2022. SpaceDreamS, SpaceAble ou Sirius Space Services, aujourd’hui reconnues comme de véritables pépites, sont également incubées au sein d’IncubAlliance.

• fig.11 Événement Innovation Shaker by IncubAlliance et la French Tech Paris-Saclay.



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

ENTRETIEN AVEC ARIELLE SANTÉ
DIRECTRICE GÉNÉRALE D'INCUBALLIANCE

Accompagner les start-up du *New Space*



En 2018, IncubAlliance a été labellisé incubateur partenaire de l'ESA BIC Nord France. À ce titre, l'Incubateur *deeptech* de Paris-Saclay est habilité à incuber les start-up du *New Space* sélectionnées par ce réseau. Arielle Santé, sa directrice générale, et Fabrice Daumard, un des start-up managers et personne référente de ce dispositif au sein d'IncubAlliance, nous en disent plus, y compris sur les atouts de l'inscription d'IncubAlliance dans l'écosystème Paris-Saclay.

Pouvez-vous, pour commencer, rappeler la vocation d'IncubAlliance ?

AS Créé en 2000, IncubAlliance est un incubateur public institué par la loi Allègre. Soutenu par le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, il a pour mission de valoriser les technologies issues des laboratoires académiques. Au début, nous ne parlions pas encore de technologies *deeptech*, mais les technologies en relevaient déjà. Association loi 1901, sans but lucratif, IncubAlliance est financé majoritairement par des subventions publiques (du ministère, de la Région Île-de-France, la CPS et de l'Europe). À la différence des incubateurs privés, nous ne voulons pas prendre part au capital des start-up que nous incubons. Aussi, nous pouvons les laisser grandir à leur rythme, sans être contraints à la nécessité d'un retour sur investissement. Nous nous positionnons réellement comme un tiers de confiance pour les start-up.

Comment avez-vous accueilli l'émergence de la filière *New Space* dont une des caractéristiques est d'être portée par des acteurs privés, n'ayant pas forcément de rapport avec cette recherche académique ?

AS C'est une bonne question. Cela me permet de préciser qu'IncubAlliance, acteur entrepreneurial de la recherche académique, sélectionne aussi des projets sans liens directs avec cette recherche, tant qu'ils restent des projets *deeptech*, à fort contenu technologique. Notre objectif est alors de les connecter aux laboratoires et à l'écosystème de Paris-Saclay. Nous partons du principe que l'entrepreneuriat innovant se nourrit de la diversité des start-up incubées.

Un mix de porteurs de projets issus de la recherche publique et de porteurs de projet issus du monde privé n'en est que plus riche. Ce qui importe, c'est que les personnes que nous incubons échangent autour des problématiques de l'entrepreneuriat innovant, davantage que sur celles propres à un seul et même domaine technologique. Des start-up portées par des acteurs privés du *New Space* ont donc elles aussi toute leur place à IncubAlliance. Nous sommes d'ailleurs labellisés Incubateur partenaire de l'ESA-BIC Nord France.

Nous nous positionnons réellement comme un tiers de confiance pour les start-up.

Que recouvre ce dispositif ?

AS L'ESA BIC Nord France est un réseau d'incubateurs de start-up (BIC signifie *Business Incubation Centre*) ayant un lien avec le spatial : il est soutenu par l'Agence spatiale européenne (ESA) et le CNES. Ce dispositif est d'autant plus précieux qu'il se traduit aussi par la mobilisation des expertises de l'ESA et du CNES. Pourquoi Nord France ? Parce que ce réseau couvre la moitié Nord de la France, Brest, Lille, en passant par Orléans, Paris et la région parisienne. Son homologue ESA BIC Sud France couvre un territoire allant de Bordeaux à Chambéry, en passant bien sûr par l'écosystème de Toulouse. Dans un cas comme dans l'autre, les start-up, préalablement sélectionnées par le jury de l'ESA BIC, reçoivent une subvention et doivent être incubées dans l'un des incubateurs partenaires du réseau. Actuellement, dix-sept incubateurs publics peuvent incuber des projets sélectionnés par l'ESA Bic Nord France.

IncubAlliance est particulièrement bien positionné. En 2022, pas moins de 50 % des projets lauréats de l'ESA BIC Nord France ont choisi d'être incubés chez nous (soit six sur douze).

Quelles spécificités présentent ces start-up, entre celles engagées dans la conception de microlanceurs et celles tournées vers les nanosatellites ?

FD L'univers du *New Space* recouvre une diversité de start-up et de technologies qui sont loin de se réduire à celles que vous avez citées. Elles comprennent bien sûr toutes les activités autour des lanceurs, des services d'accès à l'espace et de déploiement des satellites, mais également tout ce qui concerne l'observation de la Terre, les activités dans l'espace (constellation de satellites, stations orbitales par exemple), etc. Plusieurs causes peuvent motiver la création d'une start-up dans le *New Space* : soit une étude de marché, soit une technologie innovante issue tout ou partie de la recherche académique, etc. Tout en gardant ce lien privilégié avec cette dernière, notre mission est d'aider les porteurs de projet à s'inscrire dans une démarche entrepreneuriale. Ces start-up exigent elles aussi d'importants investissements, *a fortiori* quand elles s'engagent dans la construction de microlanceurs ou de constellations de nanosatellites. Leurs effectifs sont appelés à monter très vite, à la mesure de leurs besoins en ingénierie. Des start-up incubées chez nous sont ainsi passées, en moins de deux ans, d'une poignée de personnes à plusieurs dizaines. Étant entendu que, dans ce laps de temps, elles peuvent être encore loin de générer du chiffre d'affaires. Notre accompagnement doit donc intégrer un support particulièrement important sur les dimensions humaines et financières, que ce soit sous formes de subventions et / ou de levées de fonds. Cela étant dit, le contexte est depuis quelques années particulièrement favorable aux start-up du *New Space*, celui-ci étant désormais pleinement reconnu comme une filière d'avenir.

En 2022, pas moins de 50 % des projets lauréats de l'ESA BIC Nord France ont choisi d'être incubés chez IncubAlliance.

En quoi l'inscription d'IncubAlliance dans l'écosystème de Paris-Saclay constitue un atout pour les start-up que vous incubez ?

AS Même si l'écosystème de Paris-Saclay (qui inclut, faut-il le rappeler, l'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines) n'a pas le même rayonnement historique que celui de Toulouse dans le domaine spatial, assurément, une filière est bel et bien en train de s'y constituer, couvrant l'ensemble de la chaîne : la recherche académique, les plateformes d'expérimentation, les start-up et les acteurs de la production industrielle. Nous-mêmes interagissons avec ces différents acteurs, et d'autres encore comme le pôle de compétitivité Astech, Airbus Développement, etc. Lors de l'édition 2023 du Spring 50, la moitié (cinq sur dix) des start-up sélectionnées dans la catégorie *New Space* sont accompagnées par IncubAlliance. Permettez-moi de les citer : Constellations Technologies, DISAITEK, ASTROLAB, Opus Aerospace et Space quarters, qui vient de nous rejoindre. Ce n'est pas tout : parmi nos incubés ou nos alumni, nous comptons aussi d'autres (futurs) pépites comme SpaceDreams, Spaceable, Sirius ou encore Latitude [ex-Venture Orbital] qui a bouclé une levée de fonds de 10 millions d'euros en juin 2022. Enfin, nous participons à des événements majeurs du *New Space* : « Space Connect », au titre de sponsor et de la présidence du Jury des Pitch [pour en savoir plus : <https://spacecon.io>] ou ActinSpace au titre cette fois, de membre du jury de l'Hackathon [<https://actinspace.org>]. Donc, oui, nous sommes pleinement inscrits dans l'écosystème de Paris-Saclay et celui du *New Space* en général.

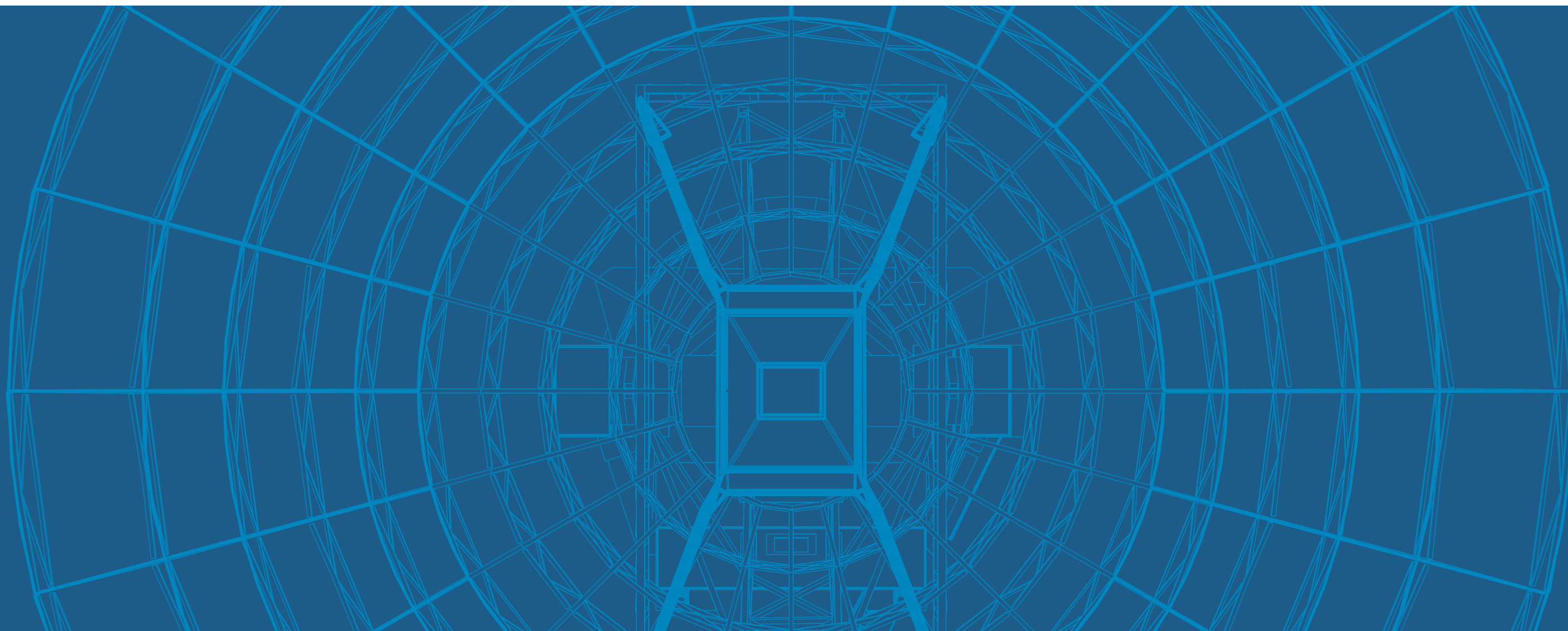
Propos recueillis par Sylvain Allemand

Paris-Saclay, précurseur sur les technologies de demain

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

Il est également au cœur des enjeux de sécurité, de défense et d'aérospatial de demain. Parmi ses atouts : un positionnement à la pointe de l'innovation sur les technologies numériques, la présence de scientifiques de renom et une très forte dynamique d'innovation et de création de start-up hautement technologiques.

Autant de forces qui font de Paris-Saclay un pôle d'innovation précurseur sur des filières émergentes qui représentent l'avenir du secteur : la cybersécurité et le *New Space*.



Les nouveaux enjeux de l'aérospatiale-sécurité-défense

Filière d'excellence historique de Paris-Saclay, l'aérospatiale-sécurité-défense s'est ainsi fondée, au fil des années, sur des technologies souveraines liées à la défense et à la sécurité de l'État français. Aujourd'hui, l'ensemble de cette filière est confronté à des nouveaux enjeux ainsi qu'au glissement d'applications, à l'origine, de sécurité et de défense vers des applications, aujourd'hui, duales ou spécifiquement civiles.

Dans le secteur de la sécurité et de la défense, 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, dans un objectif de défense et de préservation de leur 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 combien les enjeux de sécurité étaient aujourd'hui, avant tout, des enjeux de cybersécurité.

Aussi, aux côtés des marchés phares du secteur de la sécurité et de la défense aujourd'hui liés aux systèmes de communication, à la surveillance, à l'électronique et à l'optronique, à la sécurité des infrastructures critiques (sites gouvernementaux ou militaires, aéroports, ports et réseaux de transports, sites publics, installations industrielles), à la sécurisation des milieux urbains, à la navigation, aux enjeux nucléaire, radiologique, biologique et chimique (NRBC) ou encore au combat, les questions liées à la détection des vulnérabilités des systèmes d'information, à l'évaluation de leurs risques et à l'élaboration de systèmes, infrastructures et *cloud* sécurisés sont toujours plus prégnantes.

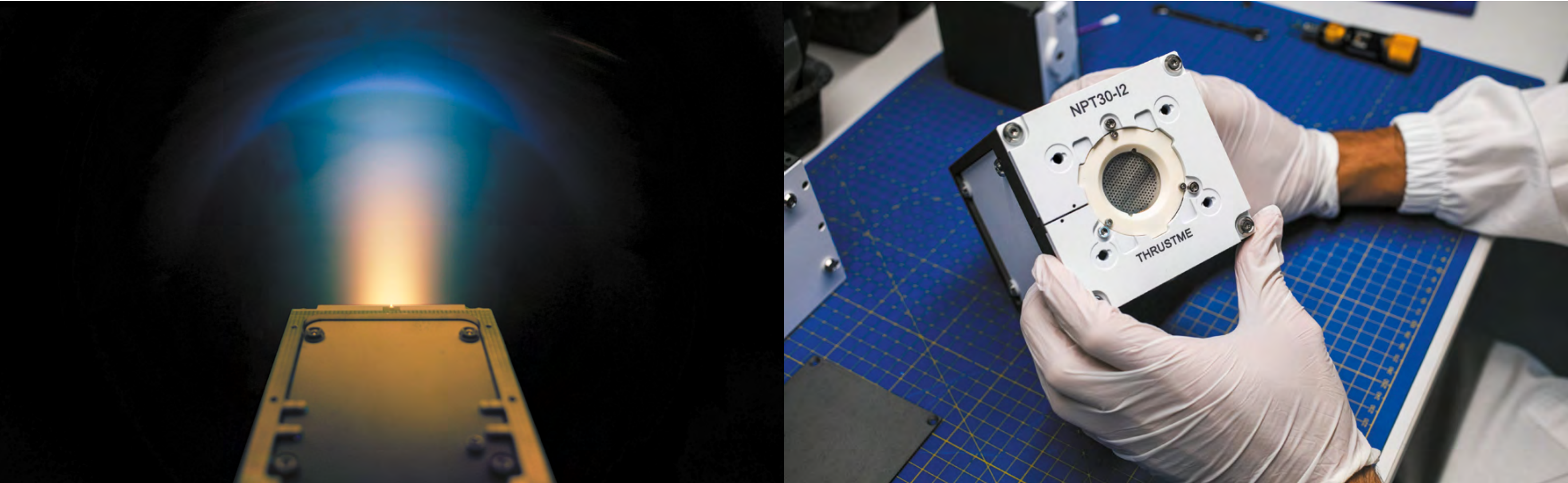
• fig.12 Le système de propulsion NPT 30-I2 élaboré par la start-up ThrustMe destiné à la propulsion électrique miniaturisée pour le lancement des nanosatellites.

Dans le domaine du spatial, le développement de technologies nouvelles liées à l'explosion du numérique, telles que l'intelligence artificielle, l'informatique quantique, le *big data*, le *cloud computing*, associé à une forte démocratisation de l'exploitation des données spatiales, non plus uniquement réservées à des applications militaires, étatiques ou scientifiques, mais aujourd'hui de plus en plus à des applications duales et civiles, a conduit à l'avènement du *New Space*, un véritable changement de paradigme. Les nouveaux enjeux de cette filière émergente sont liés à l'élaboration de nouveaux lanceurs, notamment micro-lanceurs ou micro et nanosatellites et systèmes de propulsion innovants comme les lanceurs réutilisables, à la connectivité et à l'internet spatial avec les constellations de satellites, à la gestion des déchets spatiaux ou à la nouvelle exploitation des données spatiales, notamment par des entreprises privées, à des fins de surveillance, de prise de décision ou de géo-intelligence pour les secteurs de la mobilité, de la santé ou de l'environnement.

Au cœur de ces nouveaux enjeux, grâce à son ancrage territorial historique dans le domaine de l'aérospatiale, de la sécurité et de la défense, mais également à son leadership en matière de technologies numériques, à la base de la révolution en cours, le pôle d'excellence scientifique et technologique de Paris-Saclay a développé une expertise spécifique, qui fait de lui un véritable précurseur, sur ces deux secteurs émergents que sont la cyber-sécurité et le *New Space*. Dans le domaine de la cybersécurité, la Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines accueille ainsi désormais un grand nombre d'entreprises du secteur de la sécurité numérique et se structure de plus en plus pour proposer des formations spécialisées dans ce domaine. Dans le secteur du *New Space*, Paris-Saclay a généré, ces dernières années, de nombreuses start-up particulièrement prometteuses notamment dans les domaines de la propulsion et des télécommunications.

• fig.13 La start-up deeptech ThrustMe, fondée en 2017, est experte de la propulsion électrique de nanosatellites.

L'avènement du *New Space* constitue un véritable changement de paradigme.



ENTRETIEN AVEC THOMAS GARNIER
CORESPONSABLE DE LA FILIÈRE SPATIALE AU SEIN DE L'ESTACA

Former aux nouveaux métiers du *New Space*



Ancien élève de l'ESTACA (École supérieure des techniques aérospatiales et de construction automobile), Thomas Garnier a contribué à la refonte de la filière spatiale de cette école d'ingénieurs en mettant à profit son inscription dans l'écosystème de Paris-Saclay, mais aussi sa propre expérience de l'entrepreneuriat innovant. Par ailleurs ingénieur de recherche au Latmos, il a pris part à la mise en place de masters en partenariat avec l'Université Paris-Saclay et CentraleSupélec. À ses yeux, la formation représente un enjeu d'autant plus majeur que le *New Space* se traduit déjà par l'émergence de nouveaux métiers.

Comment, forte de son expertise du spatial, l'ESTACA a-t-elle négocié le « tournant » du *New Space* ?

TG Reconnaissons que, hormis un Elon Musk ou un Jeff Bezos, les acteurs classiques de la filière spatiale, nous compris, ont tardé à tirer les conséquences de ce tournant amorcé dans les années 2000. Dans le domaine du spatial, nos formations étaient centrées sur l'ingénierie des lanceurs et des plateformes de gros satellites. Or force a été de constater qu'elles ne répondaient plus qu'à une partie des besoins du marché ; la position dominante qu'occupait ArianeGroup, un de nos partenaires stratégiques avec le CNES, s'en est trouvée remise en cause. En parallèle, nous assistions à l'émergence de nouveaux métiers. En réponse à ce nouveau contexte, nous avons entrepris une réforme des trois années de formation de notre filière spatiale. Pour ce faire, nous avons préalablement pris le temps de sonder plusieurs catégories de personnes : nos partenaires industriels et des experts en formation mais aussi nos jeunes alumni – ceux sortis il y a moins de cinq ans – sans oublier nos étudiants, de façon à ce qu'ils nous aident à identifier les éventuels décalages entre la formation qu'ils suivaient à l'ESTACA et ce qui leur était demandé au cours de leurs stages. De manière significative, les résultats de nos différents sondages convergeaient quant à ce qu'il fallait privilégier en termes de lignes directrices, de thématiques et d'options pour adapter notre filière aux nouveaux besoins du marché, préparer nos étudiants aux métiers en émergence, ceux du *New Space*, donc, mais aussi du *Next Space* appelé à s'imposer dans les trente prochaines années.

Quels sont les principaux changements introduits dans votre filière de formation ?

TG Une première décision a été de passer plus de la moitié des cours en anglais, la dernière année de l'ESTACA se déroulant quasi-intégralement dans cette langue. Plusieurs nouveaux cours ont

été introduits sous forme d'options que les élèves choisissent dans le cadre d'un parcours, à l'image de ce qui se fait dans les universités américaines.

Nous avons entrepris une réforme des trois années de formation de notre filière spatiale.

Deux catégories d'options sont distinguées au cours de la dernière année d'études : les majeures et les mineures. Les premières portent sur les « satellites avancés » – elles traitent notamment de leur miniaturisation, de la performance instrumentale embarquée – et les « lanceurs avancés » – on y aborde les nouveaux types de lanceurs qui se déploient en Europe et dans le monde ; la manière de les réutiliser tout ou partie, soit l'enjeu des propulseurs en impression de métal 3D. Autant de thématiques dont nos enseignements ne traitaient pas jusqu'alors. Les options mineures, « *Space Exploration* » et « *Human Spaceflight* », traitent, elles, des thématiques suivantes : l'exploration spatiale et la robotique ; le vol habité, sous tous ses aspects : le tourisme spatial, le transport spatial suborbital, le vol habité des astronautes d'agence, civils ou commerciaux. Autant d'aspects qui impliquent pour de nombreux métiers de mieux appréhender le corps humain évoluant dans l'espace. Nous y préparons nos élèves en développant l'étude des « analogues terrestres », soit les environnements extrêmes aussi bien sportifs, militaires que médicaux qui permettent de simuler sur terre l'expérience vécue dans l'espace. À quoi s'ajoute encore l'option « Défense et espace », proposée en français et réservée aux élèves de nationalité française, qui vise à former nos élèves non pas tant à la militarisation de l'espace qu'à l'importance de la donnée spatiale (Observation et Telecom) dans le monde de la défense, à l'émergence de la cyber-sécurité appliquée à la défense spatiale, avec des enjeux d'articulation des organes de défense spatiaux et terrestres.

Last but not least, nous avons par ailleurs introduit des cours pratiques sur des logiciels techniques directement issus de l'industrie spatiale – jusqu'ici, nos élèves travaillaient sur des logiciels génériques de programmation, simulation, ou de conception assistée par ordinateur. Des logiciels qui sont utilisés dans d'autres industries comme l'aéronautique ou l'automobile. Désormais, nos élèves disposent de plusieurs logiciels techniques spécifiques – pour de la trajectoire lanceur, de la gestion de constellation de satellites ou encore de l'ingénierie système satellite pour les avant-projets –, en vue d'applicatifs réalisés avec des intervenants industriels qui utilisent ces logiciels. Autrement dit, nous évitons de former nos élèves à des outils propriétaires qu'ils ne pourraient pas acquérir pour les besoins de leurs projets futurs une fois en poste dans leurs entreprises.

Une des caractéristiques du *New Space* est justement d'être porté par des entrepreneurs innovants et startuppeurs. Votre nouveau cursus prévoit-il de former à l'entrepreneuriat innovant ?

TG Nos étudiants, de quelque filière qu'ils soient, ont déjà la possibilité de mener un projet entrepreneurial, celui-ci pouvant même, sous certaines conditions, l'être dans le cadre du projet d'étude académique. Selon les années, cinq à dix étudiants par promotion font ce choix, soit de l'ordre d'une cinquantaine sur les quelque 400 qu'en compte l'école. Avec mon collègue en charge de l'entrepreneuriat à l'ESTACA, j'accompagne ceux ayant trait au spatial en faisant profiter de ma propre expérience d'entrepreneur.

En quoi a-t-elle consisté ?

TG J'ai notamment eu l'opportunité de monter deux start-up sur des produits techniques – un logiciel de données médicales en ligne, puis un réseau de micro-*data centers* géographiquement distribués permettant de faire du calcul intensif. Actuellement, je suis ingénieur de recherche au Latmos, le laboratoire de planétologie de l'Université de Versailles-Saint-Quentin (UVSQ). Si je tiens à l'évoquer, c'est parce que je trouve que les laboratoires de recherche sont des endroits pas si éloignés de l'univers des start-up : on y jouit de beaucoup plus de liberté qu'on ne le pense. D'ailleurs, je n'hésite pas à recommander à des étudiants qui veulent acquérir de l'expérience en début de carrière d'aller faire un tour en laboratoire, même en stage. Pour en revenir à l'entrepreneuriat innovant, nos élèves ont bien sûr la possibilité de réaliser, en sortant de l'ESTACA, un master en entrepreneuriat (parfois en double diplôme en dernière année) comme celui que j'ai fait à l'ESSEC-CentraleSupélec, ou encore le nouveau Master of Science and Technology (MSc&T Space Business Strategy) monté également par CentraleSupélec sur les stratégies de croissance et de développement Business dans l'industrie spatiale. Ces doubles formations, parfois en double diplôme et parfois après la sortie de l'école, correspondent à une vraie attente de nos élèves.

Dans les sondages effectués auprès d'eux et de nos alumni, nous leur avions posé la question de savoir s'ils souhaitaient avoir une expérience au sein d'une start-up, y compris comme salarié : plus de 50 % avaient répondu par l'affirmative. Une réponse massive que nous avons interprétée comme une aspiration de leur part à plus d'agilité. En complément à cette évolution, nous avons, au sein de l'ESTACA, constitué une base de données relative à l'ensemble des acteurs de la filière spatiale. Cette base de données est ouverte à tous, hors ESTACA, gratuitement et nous souhaitons qu'elle puisse être utilisée par tous les étudiants et jeunes professionnels du spatial en recherche de stage ou d'emploi. On y recense de l'ordre de 800 sociétés dont des start-up aux côtés de grands groupes et de laboratoires.

Adapter notre filière aux nouveaux besoins du marché, préparer nos étudiants aux métiers en émergence, ceux du *New Space*, mais aussi du *Next Space*.

L'ESTACA est inscrite dans l'écosystème de Paris-Saclay. Dans quelle mesure cela sert ses ambitions dans la formation au *New Space* ?

TG L'ESTACA s'inscrit en effet pleinement dans cet écosystème, interagissant avec différents établissements d'enseignement supérieur comme je l'ai d'ailleurs illustré à travers les masters en double diplôme. À un titre plus personnel, je m'inscris moi aussi dans cet écosystème en portant d'autres formations au sein de l'Université Paris-Saclay, dont le Master 2 *New Space* que j'ai lancé il y a deux ans, avec mon collègue Philippe Keckhut, ancien directeur du Latmos et désormais vice-président Recherche de l'UVSQ. Je porte également le tout nouveau projet de Master Space Business Strategy à CentraleSupélec. Nous avons par ailleurs répondu avec nos partenaires franciliens à l'appel à manifestation d'intérêt (AMI) « Compétences et métiers d'avenir » en proposant, en partenariat avec l'Université Paris-Saclay, une plateforme de recherche autour des drones aéro et spatiaux. Autant le reconnaître, créer des formations sur les métiers de demain qui, par définition, n'embauchent pas encore, ce n'est pas simple. Nous faisons cependant notre possible pour combler les manques en proposant déjà des formations aux métiers qui conditionneront la possibilité de continuer à envoyer des satellites dans l'espace dans le futur proche, comme ces métiers de la protection et de lutte contre la pollution spatiale, induite par la multiplication de débris de satellites.

Propos recueillis par Sylvain Allemand

Une expertise reconnue en cybersécurité

Au cœur de ces nouveaux enjeux, le pôle d'excellence scientifique et technologique de Paris-Saclay, et plus précisément la **Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines**, a ainsi développé une expertise spécifique en cybersécurité.

Sur ce territoire se structure en effet, au fil des ans, une véritable filière émergente avec, en premier lieu, la présence d'entreprises leaders fortement impliquées dans ce domaine telles que **Airbus, Thales, Renault, Atos, C2S Bouygues** ou **Orange Cyberdefense**. Ainsi, Airbus, l'un des groupes industriels historiques de la recherche numérique dans le domaine de la cybersécurité a localisé en 2014, sur son site d'Élancourt, les activités de ses filiales **Airbus Defence and Space** et **Airbus CyberSecurity**. L'entreprise a également ouvert un centre de cyber-entraînement au sein des locaux de l'École 2600, consacrée à cette thématique. De même, Thales, aujourd'hui parmi les leaders mondiaux dans le domaine, a installé en 2005 à Palaiseau l'un de ses plus importants sites 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 autour de sujets liés à la sécurisation des communications militaires, des systèmes spatiaux ou encore des grands réseaux informatiques des administrations. C'est également le cas de 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. C'est encore le cas d'**Atos** qui a inauguré, la même année, son nouveau laboratoire mondial de R&D en informatique quantique, cybersécurité et intelligence artificielle au sein de la ville Les Clayes-sous-bois.

Atos façonne l'espace informationnel

Atos, fondée en 1997, a, à de nombreuses reprises, changé de périmètre depuis sa création, en grande partie à la suite d'achats externes (Bull, Siemens IT Solutions and Service...). Depuis, l'entreprise est devenue l'une des dix premières entreprises de services sécurisés du numérique au monde. Ses domaines de recherche couvrent des domaines stratégiques tels que l'informatique quantique, le calcul haute performance, l'*edge computing*, l'intelligence artificielle et la cybersécurité. Dans l'aéronautique, la sécurité ou la défense, le numérique est désormais intégré à toutes les étapes des process. Atos intervient ainsi, dans ces domaines, à toutes les étapes, du design des avions, à l'optimisation énergétique

en passant par le suivi des cycles de vie de matériels et de pièces... L'ESA a par ailleurs sélectionné en 2021 Atos pour un projet R&D d'amélioration de la cybersécurité de plateformes de test pour satellites. Atos a également annoncé soutenir la création, fin 2021, d'une unité commune de cybersécurité par la Commission européenne. Ces dernières années, Atos a fait progressivement le choix d'ancrer ses efforts vers ses « nouveaux » métiers : *cloud*, décarbonation de l'économie et cybersécurité. Son centre mondial de R&D, installé depuis 2021 au sein de la ville Les Clayes-sous-bois, est ainsi dédié à la cybersécurité, au calcul haute performance et à l'informatique quantique.

Ses 8 000 m² accueillent plus de 350 ingénieurs. C'est dans ce cadre qu'est mené à bien Atos Quantum, programme de recherche en informatique quantique d'Atos et premier grand programme industriel sur le sujet en Europe. Celui-ci bénéficie d'un investissement de 5 M€ de la Région Île-de-France dans le cadre de sa stratégie « *Smart Industry* ». Des projets dédiés à la lutte contre le réchauffement climatique y sont développés, notamment grâce à l'informatique quantique ou aux supercalculateurs. Atos prévoit d'ailleurs de développer un « cerveau de supercalculateur ». L'entreprise est déjà à l'initiative de la création du supercalculateur EXA1 du CEA-DAM, le premier de la famille des exascales.

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 en cybersécurité.

TrustInSoft : garantir les logiciels critiques contre les cybermenaces

Depuis 2013, TrustInSoft développe des solutions qui valident les logiciels critiques utilisés dans des environnements sensibles : industries aéronautiques, ferroviaires, militaires, nucléaires, télécommunications, spatiales, IoT ou semi-conducteurs. Ses produits éliminent notamment les points d'entrée des attaques et garantissent une forte sécurité du code des logiciels analysés sans avoir besoin d'en modifier le process de développement. Incubée au cœur de Paris-Saclay au sein d'IncubAlliance à sa création, la start-up commercialise aujourd'hui TrustInSoft Analyzer, un analyseur de code source statique avancé, basé sur la plate-

forme *Open Source* Framac-C. Issue des travaux du CEA et de l'Université Paris-Saclay, celle-ci est l'un des rares outils à avoir réussi l'évaluation des analystes du NIST (*National Institute of Standards and Technology*) en satisfaisant la capacité à garantir l'immunité du code analysé. Ses racines prenant leur source dans Framac-C, TrutinSoft Analyzer offre ainsi aux créateurs et intégrateurs de logiciels une sécurité effective face aux failles potentielles. Déjà reconnu mondialement, il est aujourd'hui employé par de grands noms de l'industrie comme EasyMile, Mitsubishi Electric, Dassault Aviation ou l'IRSN, ainsi

que par des opérateurs d'objets connectés ou des fabricants de semi-conducteurs. TrustInSoft propose également une expertise d'audit de la sécurité des composants logiciels critiques qui sont déjà en fonctionnement et accompagne ses clients dans le déploiement de leur solution ou de Framac-C. Elle a été créée par deux fondateurs « *made in Paris-Saclay* » - Fabrice Derepas, formé au sein de l'École polytechnique et ancien collaborateur du CEA, notamment du CEA-List et Benjamin Monate, formé à l'ENS Paris-Saclay et ancien collaborateur du CEA, avec un spécialiste du véhicule autonome, Pascal Cuoq.



• **fig.14** CyberNDT, une solution développée par le CEA-List pour assurer la fiabilité, la traçabilité et la conformité des contrôles non destructifs (CND) manuels.

Aux côtés de ces géants industriels, 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, TrustInSoft** reconnue par le NIST (*National Institute of Standards and Technology*) du Département de commerce américain pour sa capacité à fournir le plus haut niveau de garanties mathématiques sur les logiciels existants ou encore **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 consacrent plus particulièrement au *cloud* sécurisé ou à la transformation des systèmes d'information et des infrastructures. Parmi celles-ci, citons **Massa labs** ou **Uniris** qui évoluent dans les technologies *blockchain*, **Kleverware, Storit, Alkalee** ou encore **Snowpack**, *spin-off* du CEA, qui a développé une solution novatrice d'anonymisation des données rendant impossible l'exploitation des vulnérabilités sur le réseau en protégeant l'identification des utilisateurs, des *devices* comme du contenu des communications.

LE CEA-LIST RÉUNIT, AU SEIN D'UNE PLATEFORME UNIQUE EN EUROPE, PLUS DE

70 EXPERTS DE LA CYBER-SÉCURITÉ.

Dans le domaine académique, et plus encore en formation, Paris-Saclay occupe, en matière de cybersécurité, une place de premier plan. À ce titre, la Communauté d'agglomération de Saint-Quentin-en-Yvelines structure progressivement un pôle académique d'excellence. Aujourd'hui en tête sur le développement des zones françaises dites « territoires de confiance », la Communauté d'agglomération accueillera notamment, en 2023, le premier centre régional de réponses aux incidents cyber (CSIRT) en partenariat avec l'ANSSI (Agence nationale de la sécurité des systèmes d'information). En cohérence avec ce projet de développement, les grands établissements d'enseignement supérieur du territoire offrent des formations dédiées, tels que l'**Université Paris-Saclay** qui propose, à Versailles, un M2 Sécurité des contenus, des réseaux et des télécommunications ou l'**Institut Polytechnique de Paris** avec un Master Cybersécurité, menaces et défense. Des écoles spécifiques se sont également créées telles que la première **École européenne de cybersécurité** (EECS) ouverte en 2021 à Versailles, l'**École 2600** créée la même année à Montigny-le-Bretonneux 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 en effet doublé en France et les spécialistes prédisent l'apparition de dizaines de milliers d'emplois dans un futur très proche.

Dans la recherche enfin, aux côtés de chaires dédiées à la cybersécurité en partenariat avec les instituts **Télécom Paris** et **Télécom SudParis** (chaires cybersécurité des infrastructures critiques et identité numérique responsable), le territoire compte également des organismes de pointe tels que le **CEA-List**, spécialisé dans la conception, l'analyse et la sécurisation des systèmes numériques intelligents et qui réunit, au sein d'une plateforme unique en Europe, plus de 70 experts de la cybersécurité. Cette plateforme collabore, sur le sujet, avec une trentaine d'acteurs industriels majeurs ainsi que les principales institutions académiques du territoire. Elle participe 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.



Florent Kirchner, un coordinateur national de la stratégie cybersécurité 100 % Paris-Saclay

Depuis décembre dernier, Florent Kirchner est coordinateur national de la stratégie d'accélération cybersécurité auprès du Secrétariat général pour l'investissement (SGPI) afin de mener à bien la mission France 2030 en matière de cybersécurité. Depuis février 2023, il est également le représentant de la France au directoire de l'European Cybersecurity Competence Centre et collabore, en parallèle, avec le Campus Cyber souhaité par le Président de la République et installé à Paris-La Défense. Des missions nationales qui confirment un parcours exemplaire au cœur de Paris-Saclay. Car après avoir été formé au sein de l'ENS Paris-Saclay ainsi que de l'École

polytechnique, Florent Kirchner, docteur en informatique, a collaboré de nombreuses années au sein du CEA-List. Il y a notamment dirigé le Laboratoire pour la sûreté et la sécurité du logiciel ainsi que le programme cybersécurité. Il a mis en place, dans le cadre de ses activités, différentes approches de vérification de logiciels à très haute confiance, que ce soit dans les cadres académiques ou industriels. Dans le même temps, il a initié et piloté de nombreuses collaborations avec divers partenaires internationaux tels que Airbus, Bureau Veritas, NASA et SRI international. Paris-Saclay et cybersécurité vont plus que jamais de pair au niveau national.

École 2600 : former aux métiers de la sécurité des données

Chef(fe) de projet en management de la sécurité, expert(e) cybersécurité, ingénieur(e) R&D en sécurité, ingénieur(e) sécurité des systèmes, responsable SOC, gestionnaire de la sécurité des données, des réseaux et des systèmes... Les métiers liés à la sécurisation des informations et des données sont nombreux. Et les demandes des structures en recherche de professionnels formés sont en augmentation croissante. L'École 2600 a été créée avec pour ambition de donner au plus grand nombre l'accès à ces professions d'avenir en formant ses élèves au titre d'Expert de la sécurité des données, des systèmes et des réseaux (Titre RNCP Niveau 7/ Bac+5). Les compétences acquises au sein de l'école couvrent des domaines complémentaires et variés allant de l'audit de la sécurité informatique au management d'une équipe technique, en passant par la définition d'une stratégie de l'organisation, la veille technologique ou la conception de solutions sécurisées. Installée au cœur du pôle dédié à la cybersécurité de Saint-Quentin-en-Yvelines, l'École 2600 a en outre fait le choix de l'inclusion en proposant ses formations en alternance, sur trois ans. Les entreprises partenaires (Atos, Diakse, RSM, Squad, Deloitte, Euro CRM, Patrowl, Zenetys, C2S Bouygues, Kyndryl,

Plastic Omnium, Silicom, Thales, BSecure, Develter, i-Tracing ou Red Alert Labs) ont rapidement intégré le Réseau 2600. Ce dernier permet aux entreprises sensibles à la notion de cyberprotection des données et des systèmes d'échanger régulièrement entre elles ainsi qu'avec l'école afin d'orienter au plus près des besoins la formation des étudiants. Airbus CyberSecurity y a même installé son centre

de cyber-entraînement. L'école a également créé une Communauté 2600 pour ses étudiants et alumni. La cyber-compétence se conjugue au futur et les liens avec les étudiants formés sont une autre garantie d'une intégration réussie dans l'emploi. À ce jour, 90% des étudiants trouvent un emploi à leur sortie de l'école.

• **fig.15** Une partie des étudiants de l'École 2600 lors de la visite de Jean-Noël Barrot, ministre délégué chargé de la Transition numérique et des Télécommunications.



Les instituts interdisciplinaires de Paris-Saclay interviennent également sur le sujet, tels que 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. Ces acteurs académiques bénéficient, par ailleurs, de nombreux talents présents sur le territoire, tels que **Florent Kirchner** qui a dirigé pendant de nombreuses années le Laboratoire pour la sûreté et la sécurité du logiciel ainsi que le programme cybersécurité du CEA-List et qui coordonne aujourd'hui la stratégie nationale en matière de cybersécurité au sein du Secrétariat général pour l'investissement (SGPI), **Sara Tucci-Piergiovanni**, évoluant au sein du CEA-List et experte internationale dans le domaine de la *blockchain* ou encore **Gilles Desoblin**, directeur du programme cybersécurité et transformation digitale au sein de l'IRT System X.

La Communauté d'agglomération de St-Quentin-en-Yvelines structure progressivement un véritable pôle académique d'excellence en cybersécurité.

Des compétences d’avenir dans le domaine du New Space

Encore émergente en France et dans le monde, la filière du *New Space* implique un véritable changement de modèle. Essentiellement composé de **nouveaux acteurs provenant du secteur privé** et non issus de la filière spatiale traditionnelle – pour la plupart des start-up évoluant dans le domaine des micro et nanosatellites – le secteur se démarque à la fois par une **accélération technologique et industrielle** et une **démocratisation de l’exploitation des données spatiales**. Cet usage démocratisé et multiforme de la donnée spatiale permet, notamment, l’apparition de **nouveaux applicatifs, davantage tournés vers le civil**, et non plus strictement limités à un usage militaire, au service de la prise de décision économique et opérationnelle des professionnels et des particuliers sur des domaines multiples allant de la santé à la mobilité, en passant par l’environnement ou l’agriculture.

Face à la multiplication des projets et des acteurs, notamment permise par les **progrès de la miniaturisation des composants**, la **forte réduction des coûts technologiques**, et la promesse d’un **marché en croissance**, en particulier celui des petits satellites, les financements s’accroissent dans le monde et en France où entre 2018 et 2020, quelque 35 start-up ont levé un total de 260 millions d’euros. L’attention française se porte particulièrement sur les marchés clés des lanceurs réutilisables et des constellations de satellites ainsi que l’investissement dans les nouveaux usages.

Exotrail, la logistique spatiale aux mains du transporteur de demain

Avec Exotrail, Paris-Saclay possède un acteur majeur du *New Space*, et plus particulièrement de la création de propulseurs électriques. La start-up *deeptech*, installée à Massy et fondée en 2017, envoie en orbite des mini ou nanosatellites *via* un propulseur (*spaceware*®) basé sur l’effet Hall (projection d’un nuage d’ions) qui permet de changer les orbites de ces petits appareils. Dès le démarrage du projet, un autre outil vient s’ajouter à la réflexion des fondateurs : une plateforme informatique de gestion de la logistique spatiale et un logiciel de simulation d’opérations, *spacedesign*® et *spacetower*®. Avec eux, les opérateurs de satellites ou de lanceurs et les acteurs de l’accès à l’espace seront à même de prévoir les mouvements et l’ensemble des actions de transport nécessaires au bon déroulement de leur aventure spatiale. Une première version de *spacedesign*® a ainsi vu le jour dès 2020. La même année, Exotrail est choisie pour équiper deux satellites d’Eutelsat.

Un cargo (*spacevan*®), capable de transporter plusieurs satellites en même temps, et surtout de les déposer chacun à leur destination spécifique, et pour lequel un contrat a été signé avec le CNES, est également en cours de développement. Une véritable alternative au propulseur. La start-up, pur produit de Paris-Saclay, a démarré ses activités au sein des locaux de l’Observatoire de Guyancourt. Le projet initial était alors accompagné par le CNRS, l’Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, le Synchrotron Soleil et l’École polytechnique. Elle a ensuite bénéficié du soutien de la SATT Paris-Saclay à travers un programme de maturation et a été incubée par IncubAlliance. Après deux levées de fonds de 3,5 M€ et de 11 M€, la jeune pousse en a réalisé une troisième en 2023, pour un montant de 54 M€. Celles-ci devraient lui permettre d’accroître ses effectifs, de construire une nouvelle usine de production et de créer des succursales à l’étranger.



• **fig.16** Les solutions de mobilité proposées par la start-up Exotrail vont des systèmes de propulsion pour petits satellites aux logiciels de simulation et d’exploitation de missions, en passant par du service de transfert orbital.

Geoflex : entrer dans l’ère de l’hyper-géolocalisation

Installée à Massy-Palaiseau et créée en 2012, Geoflex exploite des brevets de recherche du CNES qui augmentent la précision des données au sol fournies par les systèmes de positionnement par satellite ou GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*). L’entreprise propose ainsi à ses clients des informations « hautement disponibles et hautement connectées ». Le développement des recherches a permis une mise sur le marché en 2018 de son offre. Rapidement, grâce à cette technologie d’hyper-géolocalisation, la start-up, incubée par IncubAlliance, récolte plusieurs prix prestigieux tels que celui de l’innovation de l’Académie des sciences en Chine en 2018, l’Innovation Award au CES (*Consumer Electronics Show*) de Las Vegas en 2018 et est récompensée lors du Dubai World

Challenge pour ses avancées en termes de conduite autonome. Geoflex utilise la technologie PPP-CNES (Positionnement ponctuel précis) qui modélise en temps réel les erreurs des satellites GNSS par le biais des observations d’un réseau de 80 stations au sol. Si les réseaux GNSS ont une précision de trois à dix mètres, le PPP-CNES permet de descendre à quelques centimètres près. Il s’adapte à tous les types de GNSS : GPS (USA), Glonass (Russie), Galileo (Europe) ou Beidou (Chine). Les données obtenues sont transmises par Geoflex en flux et synchronisées avec les systèmes existants. Ses clients viennent d’univers très variés : géospatial, construction, agriculture, défense ou modes de transport. L’entreprise commercialise également un large panel d’outils *soft* et *hardware* lié aux GNSS.

Dans le cadre de France 2030, le gouvernement français a ainsi consacré **1,5 milliard d’euros** à ces sujets en vue de favoriser la compétitivité du secteur et l’émergence d’un nouvel écosystème vecteur de croissance économique.

Les enjeux de cette nouvelle filière sont larges et vont de l’élaboration de nouveaux lanceurs et systèmes de propulsion innovants à la gestion des déchets et débris spatiaux, en passant par le développement de la connectivité spatiale et la nouvelle exploitation des données spatiales. L’utilisation de ces données s’exprime aujourd’hui dans de **nombreux cas d’usage** : trafic et transports (atterrissage d’avions, sécurité routière, systèmes de navigation), sécurité et défense (surveillance des frontières, surveillance maritime), agriculture et pêche (agriculture de précision, développement des cultures, surveillance des sécheresses) ou encore communication et numérique (communications par satellite, internet des objets).

Avec l’apparition, ces dernières années, de nombreuses entreprises très prometteuses, notamment dans les domaines de la propulsion et des télécommunications, l’émergence de la filière *New Space* est une réalité à Paris-Saclay. Depuis 2010, **32 start-up créées** parmi les 70 start-up françaises évoluant dans le domaine du *New Space*, soit un tiers de la filière entrepreneuriale, sont issues de Paris-Saclay, dont 24 sont considérées comme des *pure-players*. Elles emploient aujourd’hui plus de 1500 personnes et ont déjà levé 530 M€.

32

**START-UP
DU NEW
SPACE
CRÉÉES
DEPUIS 2010
SONT ISSUES
DE PARIS-
SACLAY.**

Certaines ont développé des technologies hautement disruptives ou des systèmes particulièrement innovants. C'est le cas de **ThrustMe**, *spin-off* de l'École polytechnique, qui a élaboré un nouveau système de propulsion électrique de nanosatellites à base d'iode, un véritable exploit au sein de l'industrie spatiale, ou de la start-up **Exotrail**, basée à Massy, qui propose des solutions de mobilité spatiale complètes pour la propulsion, l'optimisation, ainsi que le transport innovant des petits satellites dans l'espace. Dans le domaine des lanceurs, **Sirius Space Services**, située à Orsay, développe un nouveau lanceur basé sur un moteur-fusée à base d'oxygène liquide et de biométhane liquide alors que **Dark Space**, également à Orsay, conçoit des lanceurs embarqués dédiés aux nanosatellites.

D'autres proposent de nouveaux usages pour les données spatiales orientés vers des applications de surveillance, de prise de décision ou de géo-intelligence. C'est le cas de **Preligens**, dont les fondateurs sont issus de CentraleSupélec et de l'ENS Paris-Saclay, qui propose une technologie pionnière de surveillance de sites stratégiques par imagerie spatiale et intelligence artificielle. C'est également le cas de **SpaceSense**, issue de l'École polytechnique, qui propose une solution d'analyse d'images satellites par intelligence artificielle pour des applications dans les secteurs de l'assurance, de l'agriculture, de l'énergie ou des infrastructures, ou encore de **Geoflex**, installée à Massy-Palaiseau, qui propose une technologie d'hyper-géolocalisation de pointe, récompensée dans le monde entier, pour des entreprises des domaines de la construction, du transport, de la défense, de l'agriculture ou du géospatial.

Avec l'apparition de nombreuses entreprises très prometteuses, notamment dans les domaines de la propulsion et des télécommunications, l'émergence de la filière *New Space* est une réalité à Paris-Saclay.

Dans ce domaine des nouveaux usages, **Share My Space**, enfin, émanant de l'École polytechnique et du CNRS et accélérée par la SATT Paris-Saclay, est à ce jour l'unique société européenne proposant une offre complète de surveillance de l'espace. Détection des objets en orbite, mise à jour en temps réel du catalogue des objets spatiaux, solutions de traitement de la donnée... la start-up s'est spécialisée dans la cartographie et la gestion du risque liées aux débris spatiaux.

Aux côtés de ces entreprises innovantes, l'écosystème se structure également *via* une nouvelle offre de formations dédiée au *New Space*. Parmi les formations d'excellence du territoire, l'**ESTACA** (École supérieure des techniques aérospatiales et de construction automobile) a ainsi entrepris une large réforme de sa filière spatiale en vue de préparer ses étudiants aux métiers en émergence. L'**Université Paris-Saclay** a, de son côté, développé un Master dédié aux enjeux du spatial et aux nouvelles applications *New Space* afin de répondre aux besoins du secteur privé et des laboratoires de recherche. Elle a également lancé, en 2023, son tout nouveau *Master of Science and Technology* «*Space Business Strategy through Entrepreneurship and Sustainability*». Le projet **Nanolab Academy**, programme national de promotion du spatial étudiant en lien avec le CNES, est également particulièrement actif à Paris-Saclay, notamment au sein de l'**École polytechnique** et de **CentraleSupélec**. Quatre satellites étudiants au format CubeSat – EyeSat, Aerosat, X-Cubesat et prochainement IonSat – ont ainsi été développés et lancés dans ce cadre. En janvier 2021, l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines a, de son côté, lancé **UVSQ-SAT**, le 1^{er} nanosatellite d'étude du climat envoyé dans l'espace par une université française.

PARIS-SACLAY
A LANCÉ
ENVIRON

1/3

DES CUBESAT
FRANÇAIS
SUR LA
DERNIÈRE
DÉCENNIE.



Ane Aanesland, le *New Space* conjugué au féminin

En 2017, Ane Aanesland, docteure en physique et experte internationale en physique des plasmas, crée, avec Dmytro Rafalskyi, la start-up *deeptech* ThrustMe, dédiée à la miniaturisation des moteurs-fusées. Elle met ainsi à profit son expérience développée au sein de l'École polytechnique pour lancer des moteurs destinés aux nanosatellites utilisant une propulsion électrique à base d'iode solide, plutôt que le xénon, généralement présent dans ce type de propulseur. Cette technologie, développée au sein du Laboratoire de physique des plasmas de l'École polytechnique, a été brevetée en 2014. Le projet a ensuite bénéficié d'un programme de maturation auprès de la SATT Paris-Saclay. À partir de sa création, tout s'accélère pour la jeune pousse. En 2017, elle lève 1,7M€, puis, en 2018, ThrustMe reçoit 2,4M€ de la Commission européenne pour la commercialisation de ses propulseurs. Dès 2019, le premier propulseur à iode équipe un satellite mis en orbite, et, en juin 2022, l'Agence spatiale européenne

(ESA) demande à la start-up de développer le système de propulsion du démonstrateur GOMX-5. ThrustMe construit des moteurs ioniques et des propulseurs à gaz froid, vendus dans le monde entier. Des moteurs de petite taille qui, par leur faible consommation en énergie, doivent permettre aux nanosatellites d'être plus durables. Sachant que 10 000 d'entre eux seront certainement lancés au cours de la décennie 2020-2030, augmenter leur espérance de vie limitera la quantité de satellites envoyés en remplacement. En outre, le coût moins élevé de l'ergol (nom donné au carburant des objets propulsés) ouvre des opportunités à un grand nombre de petites entreprises. Certaines étaient en effet jusqu'ici freinées par l'importance des sommes à mobiliser sur ce seul poste. Elles devraient désormais pouvoir profiter de ces moteurs-fusées plus simples et économiques. En 2019, Ane Aanesland a reçu la médaille de l'innovation du CNRS.



Nanolab Academy: quand des étudiants créent des nanosatellites

Le projet Nanolab Academy (ex-Janus/ CNES) a pour objectif de former les étudiants aux techniques spatiales au sein des écoles et universités françaises. Le CNES leur propose, *via* ce programme, de créer et d'envoyer dans l'espace leur propre satellite équipé d'instruments scientifiques au format «CubeSat». Les Centres spatiaux universitaires (CSU) développent depuis 2012 ce type de projets en interface avec le CNES, les industriels et les étudiants de grandes écoles d'ingénieurs ainsi que des universités.

• **fig.17** Des étudiants de CentraleSupélec réalisant des tests au sein des locaux de la Plateforme d'intégration et de tests (PIT) dans le cadre du programme Nanolab Academy.

Avec Nanolab Academy, les étudiants sont confrontés à la logique de développement de projets spatiaux et à leur mise en œuvre lors de toutes les étapes indispensables au bon déroulement de leur création: conduite de projet, plan de développement, lancement, réception et exploitation des télémesures reçues. Le programme assure également la promotion des enseignements scientifiques en mettant en avant la démarche expérimentale dans les différents domaines du spatial (mécanique, thermique, avionique, énergie). Des expérimentations productives puisqu'elles utilisent de nouvelles technologies satellites et/ou instrumentales qui intéressent la communauté scientifique et industrielle. Ces dernières sont testées en orbite. Au cœur de Paris-Saclay, l'École polytechnique ou CentraleSupélec adhèrent au programme Nanolab Academy.

ENTRETIEN AVEC JEAN-LUC MARIA
CEO D'EXOTRAIL

Une start-up du *New Space*
«*made in Paris-Saclay*»



La logistique. C’est en référence à cet univers professionnel et ses solutions que Jean-Luc Maria a, en 2017, cofondé Exotrail, une start-up tournée vers... l’espace, en proposant pour commencer un logiciel de conception de missions spatiales et des propulseurs électriques pour nano et micro-satellites. En quelques années, la jeune pousse a franchi de nouvelles étapes avec désormais de nouveaux produits dans son catalogue. Précisions dans cet entretien, y compris sur les motivations ayant conduit à maintenir Exotrail dans l’écosystème de Paris-Saclay dont elle est directement issue.

Si vous deviez, pour commencer, pitcher Exotrail ?

JLM Exotrail a été créée en 2017, après un an et demi de gestation, par quatre personnes, toutes intéressées par les enjeux de la mobilité dans l’espace, autrement dit de logistique spatiale. Comme les entreprises du secteur de la logistique classique, nous contribuons à organiser le mouvement d’objets, en l’occurrence des satellites. Un défi quand on sait que ces derniers se sont démultipliés pour répondre à des besoins terrestres, de connectivité, d’observation ou encore d’exploration. Et ce d’autant plus que, depuis le début des années 2000, on assiste à une baisse du coût d’accès à l’espace – des satellites aussi bien que des lanceurs. Soit le même phénomène qui s’est produit sur terre avec une intensification des flux de biens et de marchandises, sur fond d’abaissement des coûts de transport sur longue distance et de spécialisation de sociétés dans la logistique terrestre, aérienne ou maritime. Avec mes associés, nous nous sommes dit que l’opportunité se présentait de créer quelque chose d’équivalent dans le domaine spatial, avec la conviction qu’il y avait place, en plus des acteurs historiques existants – les opérateurs de satellites – pour de nouvelles sociétés prenant en charge la gestion de la mobilité des objets envoyés dans l’espace. Nous avons cependant pris le parti de développer nos produits pas à pas. Le premier, spacestudio™, est un outil logiciel de simulation spatiale. Il permet de calculer précisément les besoins de mobilité d’un satellite ou d’un système de satellites depuis la conception jusqu’à la fin de vie dans l’espace, et de sélectionner les solutions de mobilité à implémenter de façon à les faire bouger dans l’espace. La solution la plus simple pour ce faire, c’est d’y installer un propulseur électrique. C’est le deuxième produit que nous avons proposé. Nous y avons été encouragés par l’avènement d’une nouvelle ère, celle des satellites plus petits, autrement

dit les nano et micro-satellites, lesquels ont vocation à être placés à des altitudes orbitales plus basses mais distribués en plus grand nombre – soit l’enjeu des projets de constellations. Une tendance qui s’est cependant longtemps heurtée à la difficulté de miniaturiser les moteurs. Exotrail est née aussi de la volonté de répondre à ce besoin en propulseurs efficaces mais de plus petites tailles.

Où en êtes-vous aujourd’hui ?

JLM Forts de l’expertise et de la crédibilité acquises avec nos deux premiers produits et des revenus qu’ils génèrent, nous sommes en train de passer à une seconde étape en proposant d’ajouter deux produits de mobilité supplémentaires. D’une part, une alternative au propulseur : spacedrop™, un service de transport en orbite qui utilise le véhicule spacevan™ – autrement dit un satellite convoyeur auquel reviendra le soin de déposer un par un à la bonne orbite tous les petits satellites qu’il contiendra après la séparation d’avec la fusée. Ce produit est une réponse à cette tendance consistant à réduire le coût des lancements, en concevant des fusées sur le modèle du cargo – elles envoient plusieurs objets placés à leur tête, mais à un seul et même endroit. Soit une problématique qui n’est pas sans évoquer la logistique du dernier kilomètre, qui oblige à devoir acheminer un produit en recourant à de plus petits véhicules pour atteindre les nombreux points de destination finaux. Le lancement de notre premier satellite convoyeur est prévu en octobre 2023. Une fois que les satellites sont placés dans l’espace, il faut enfin pouvoir communiquer avec eux, récupérer les données de bonne santé pour surveiller que tout est nominal, planifier les mouvements qu’ils devront faire (correction de position, évitement de collision, changement d’orbite, etc.),

et ce de la façon la plus automatisée possible pour limiter les coûts d’opération. L’autre produit en cours de développement, le 4^e de notre gamme, est un autre logiciel, non plus de conception mais d’opération. Naturellement, nous n’avons pas l’intention de nous arrêter là. Nous avons d’ores et déjà d’autres idées de produits en tête, dans le but de disposer à terme dans l’espace d’une flotte de véhicules que les opérateurs de satellites pourraient mobiliser en cas de besoin. Il leur suffirait pour cela de nous contacter, de faire part de leur besoin – inspecter une panne sur un satellite, en réalimenter un autre en carburant, en faire redescendre certains arrivés en fin de vie, dans l’atmosphère pour qu’il s’y consume et n’aggrave pas la pollution de l’espace. Dans la même logique, on peut aussi imaginer un modèle de satellite convoyeur réutilisable. Le champ des possibles dans ce domaine est particulièrement étendu.

À vous entendre, la logistique spatiale présente donc des analogies avec la logistique terrestre. Mais jusqu’où peut-on pousser l’analogie ? Votre environnement est tout de même l’espace ! On se doute bien que vous vous confrontez à des défis d’une tout autre nature. D’ailleurs, les compétences dont vous vous entourez ont-elles toutes à voir avec la logistique classique ?

JLM (Sourire). Oui et non ! L’environnement spatial est effectivement différent de l’environnement tel que nous le connaissons sur la surface du globe. Nous nous projetons à de plus longues distances, dans le vide, en nous confrontant à des niveaux de températures variables, très faibles ou très élevées ; les objets sont exposés à des radiations ; les opérations de maintenance y sont plus complexes. Par conséquent, les solutions logistiques sont différentes ; nos propulseurs reposent sur d’autres technologies que ceux utilisés sur terre. Les convoyeurs n’ont rien de commun non plus avec les camions, trains ou bateaux... Cela étant dit, la logistique spatiale partage aussi des compétences en commun avec le monde de la logistique classique, en l’occurrence l’organisation et la gestion d’une flotte de véhicules. Fedex, UPS, Maersk, la SNCF, etc., tous ces grands opérateurs de la logistique terrestre disposent de centres de contrôle depuis lesquels ils surveillent leurs centaines de bateaux, avions, trains, camions, en optimisant leur route pour consommer le moins possible, livrer le plus rapidement. Ils s’appuient pour cela sur des compétences d’optimisation finalement assez proches des nôtres.

Tout en étant implanté à Toulouse, vous avez fait le choix de rester dans l’écosystème de Paris-Saclay, en emménageant à Massy. Qu’est-ce qui a motivé ce choix ?

JLM Exotrail est un pur produit de Paris-Saclay ! Après avoir démarré le projet à Guyancourt (à l’Observatoire de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines), nous nous sommes installés quelques

mois à l’incubateur de l’École polytechnique. Comme je l’ai dit, nous avons bénéficié du programme de maturation de la SATT Paris-Saclay. Le projet que nous lui avons soumis était soutenu par un consortium d’organismes et d’établissements de recherche de poids présents dans l’écosystème : le CNRS, l’Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, le Synchrotron Soleil et l’École polytechnique. Il se trouve aussi que mes associés et moi étions installés à proximité du plateau de Saclay. Naturellement, quand nous avons créé la société, nous avons prospecté dans les alentours pour trouver des locaux. Ceux-ci devaient répondre à plusieurs critères – être à proximité d’une gare et d’un aéroport, etc. De là l’installation à Massy, un hub de transport s’il en est – la ville est desservie par les lignes B et C du RER, le TGV, et se trouve à proximité de l’aéroport d’Orly. Nous avons eu la chance d’y trouver nos locaux actuels, situés dans un ancien bâtiment industriel – un des rares ayant survécu à Massy – parfaitement adapté à une activité comme la nôtre, qui mobilise de nombreuses machines – nous concevons, assemblons et testons nous-mêmes nos propulseurs ! Même si nous avons désormais moins d’interactions avec les membres du consortium que j’ai évoqué – la société ayant maintenant pris son envol – nous restons attachés à Paris-Saclay.

Exotrail est un pur produit de Paris-Saclay. Nous avons notamment bénéficié du programme de maturation de la SATT Paris-Saclay.

Un mot sur vos effectifs, leur évolution ?

JLM Nous avons démarré à Paris-Saclay avec six personnes – les fondateurs et deux ingénieurs de la SATT. Nos effectifs n’ont cessé de croître depuis – nous venons de franchir le seuil de la centaine de salariés avec pour objectif d’atteindre les 150-160 d’ici la fin de l’année 2023. La levée de fonds que nous avons conclue fin 2022 et annoncée début février 2023 – la troisième depuis la création d’Exotrail – devrait nous permettre d’industrialiser la production de nos produits historiques en étant en capacité de passer de la production de quelques propulseurs à plusieurs centaines. Nous créons ici même à Massy une usine de production, ce qui signifie un quadruplement de la taille de nos locaux – nous avons la chance de ne pas avoir eu à déménager. Nous avons aussi pour objectif d’introduire sur le marché nos deux derniers produits – le satellite convoyeur et le logiciel d’opération – et d’internationaliser la société. Nous avons déjà recruté une personne en vue d’ouvrir un ou plusieurs bureaux aux États-Unis durant l’été 2023 puis, bientôt, en Asie.

Propos recueillis par Sylvain Allemand

Crédits photos

Couverture: © Shutterstock
P3: © Shutterstock
P4-5: © EPA Paris-Saclay
P6-7: © EPA Paris-Saclay /
© Exotrail (fig.1)
P8-9: © SATT Paris-Saclay
P10-11: © SATT Paris-Saclay
P12-13: © Shutterstock
P14-15: © Agence Meurisse/
Creative commons (fig.2)/
CEA (fig.3)
P16-17: © CEA (fig.4)
P18-19: © Daniel Steger/
Creative commons (fig.5)

P20: © Cyril Abad/ CAPA Pictures
Safran (fig.6)/ © Arianespace
P22-23: © EPA Paris-Saclay /
Adeline Bommart (fig.7)
P24-25: © ONERA/ Caroline
Grippon-Lamotte (fig.8)
P26-27: © CentraleSupélec/
Nanolab Academy (fig.9)
P28: DR
P30-31: © Starburst (fig.10)/
© Incuballiance/ Angela Riga (fig.11)
P32: DR
P34-35: © Shutterstock
P36-37: © ThrustMe (fig.12 et 13)

P38: DR
P41: © CEA-List/ Cyrille Dupont
(fig.14)
P42-43: © SGPI/ Tristan Reynaud/
Sipa Press / © Jonathan Teboul/
Nonstoprod (fig.15)
P44-45: © Exotrail (fig.16)
P46-47: © ThrustMe/ Frédérique
Plas/ © CentraleSupélec/ Nanolab
Academy (fig.17)
P48: DR
P51: © Shutterstock
P52: © 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
Praxis N°8 - Paris-Saclay, leader en technologies numériques/Mai 2023



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
www.paris-saclay.business
une émission: Paris-Saclay TV
sur TV78

- facebook.com/ParisSaclay
- @parisSaclay
- paris_saclay
- Établissement public
d'aménagement Paris-Saclay
- youtube.com/ParisSaclay
- Paris-Saclay Innovation
Playground
- inno_playground

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



