



Rapport d'activité 2022



axes technologiques

08 technologies plus vertes

- 10 faits marquants
- 11 annuaire projets

12 technologies de fabrication avancées

- 14 faits marquants
- 15 annuaire projets

16 technologies intelligentes

- 18 faits marquants
- 19 annuaire projets

20 méthodes & outils pour le développement de systèmes complexes

- 22 faits marquants
- 23 annuaire projets

03 édito

04 comité de direction

05 positionnements d'excellence

06 10 ans IRT Saint Exupéry

07 chiffres clés

nos compétences

25 matériaux composites & procédés

26 surfaces & assemblages

27 matériaux métalliques & procédés

28 énergie haute tension

29 énergie haute densité & fiabilité

30 technologies d'apprentissage avancées

31 IA pour les systèmes critiques

32 connectivité & capteurs intelligents

33 ingénierie des systèmes

34 optimisation multidisciplinaire

35 systèmes embarqués critiques

36 plateformes

39 membres

40 contact

édito.

Après une année 2021 structurante pour notre IRT, avec l'établissement de nos orientations stratégiques technologiques sous le label de « Positionnement d'Excellence », nous avons concrétisé ces orientations en projets en 2022. Nous les avons conçus ambitieux, au point où ces projets se transforment progressivement en « programmes » qui vont structurer nos activités pour les 5, 7 voire 10 années à venir, et ceci en lien avec la FIT (French Institute of Technology), qui constitue un réseau national très pertinent et efficace.

Les programmes que nous avons initiés en 2022 adressent l'électrification des avions légers, la 5G non terrestre, le titane, l'IA frugale et décentralisée ainsi que les jumeaux numériques pour nos filières. Cela requiert un panel de compétences très large qui montre la force de l'IRT Saint Exupéry et notre capacité à couvrir cette variété de technologies. L'aspect multidisciplinaire est devenu la marque de fabrique de l'IRT Saint Exupéry et nous permet de mener avec nos partenaires des projets de recherche tout à fait exceptionnels.

Notre ambition de 2023 sera donc de concrétiser les programmes qui pourront l'être aux côtés de la FIT pour les 16 projets emblématiques.

Alors que nos filières historiques vivent des transformations majeures notamment pour répondre aux objectifs environnementaux et de souveraineté au niveau national, nous nous positionnons comme un acteur permettant d'accompagner, soutenir voire structurer l'écosystème. C'est déjà dans cette perspective que notre IRT a réalisé en 2022 un bilan impressionnant avec de nouveaux projets de recherche dans le spatial dans l'aéronautique et une poursuite des synergies avec de nouveaux secteurs tels que la défense et la santé.

Après 10 ans d'existence, nous réaffirmons notre vision de faire de l'IRT Saint Exupéry, un acteur indispensable de la filière aérospatiale, en France et à l'international, grâce à nos expertises multidisciplinaires. Nous assurons pleinement nos missions, à savoir, créer un lien entre la recherche publique et la R&D privée en réalisant des projets de recherche collaboratifs intégrés et promouvoir la recherche technologique française afin de développer les écosystèmes concernés.

Ces 10 années seront dignement célébrées en Novembre à Toulouse. Le succès de l'IRT Saint Exupéry repose bien évidemment sur nos membres industriels, académiques et institutionnels. Nous répondons ainsi aux ambitions de l'Etat au travers du SGPI et l'ANR (*) et grâce au support des régions Nouvelle Aquitaine, Occitanie et Régions Sud et des métropoles qui nous hébergent.

Au nom de l'ensemble des collaborateurs IRT, nous tenons à les remercier chaleureusement.

2023 sera donc une année de célébration et de construction de l'avenir !

Vous souhaitant une très bonne lecture,

Magali Vaissière, Présidente de l'IRT Saint Exupéry

Denis Descheemaeker, Directeur Général de l'IRT Saint Exupéry



Lionel Bourgeois
Directeur Technologies
Plus Vertes

Lydie Marty
Directrice Administratif
& Financier, Achats & DSI

Jean-Marie Des
Directeur des plateformes
& du site de Toulouse

Denis Descheemaeker
Directeur Général

Emilie Hery
Directrice Technologies
de Fabrication Avancées

Lionel Cordesses
Directeur Technologies
Intelligentes

Aude Battistella
Directrice Juridique

Christophe Lemort
Directeur Méthodes & Outils
pour le Développement de
Systèmes Complexes

Florence Hubert
Directrice des Ressources
Humaines, Communication,
& QSSE

Christine Espinosa
Directrice Scientifique

Didier Rigal
Directeur Business
Development

Laurent Ferres
Responsable du site
de Bordeaux

Absent sur la photo : Christophe Moreno, responsable du Site de Sophia-Antipolis

Nos positionnements d'Excellence

Le cumul de notre savoir-faire, expertise et vision technologique établie avec nos membres académiques et industriels, se décline à travers nos huit orientations stratégiques.



Matériaux à très haute valeur ajoutée

Matériaux à très haute valeur ajoutée, pour des structures & systèmes complexes

Solutions numériques pour les matériaux & structures

Solutions numériques au service de la conception et de la fabrication de matériaux & structures à très haute valeur ajoutée

Systèmes d'isolation électrique

Systèmes d'Isolation Electrique pour Systèmes Denses

Conversion de puissance électronique

Conversion de puissance électronique grand gap dense, fiable, à haut rendement.

Intelligence artificielle embarquée

Intelligence Artificielle embarquée, certifiable et frugale

Réseaux non terrestres 5G/6G

Réseaux embarqués et non terrestres dans le cadre normatif 5G/6G, à base de technologies souveraines

Conception numérique et optimisation d'architecture globale

Méthodes et outils pour les arbitrages d'architecture et conception optimisée, itérative et rapide des architectures

Jumeaux numériques

Jumeaux numériques pour la filière Aéronautique, Espace et Systèmes Embarqués

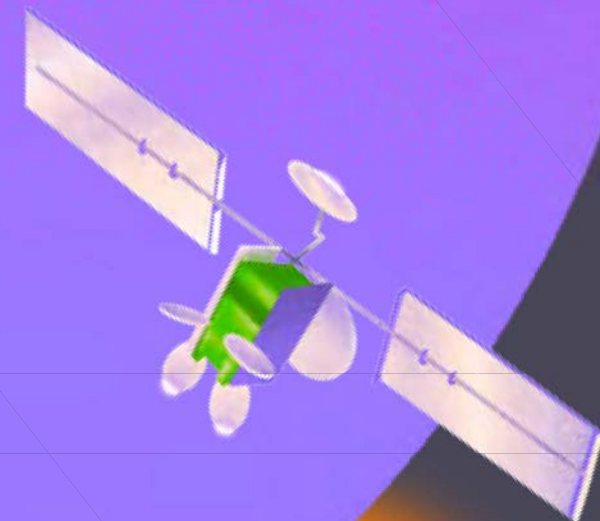


en savoir plus





10 ans
de recherche collaborative



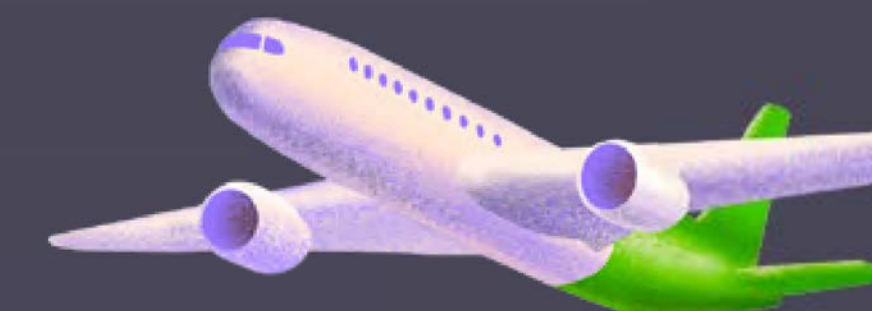
Ces 10 dernières années, nous avons relevé de nombreux défis technologiques afin de promouvoir la recherche collaborative, créer un lien entre la recherche publique et privée et développer l'écosystème aérospatial.

Avec vous, nous avons initié 59 projets, développé 11 plateformes sur nos 3 sites, produit près de 400 publications et communications et autant de brevets et de transferts technologiques.

Votre confiance a été déterminante dans le succès de ces avancées technologiques et promet d'envisager de belles réalisations futures.

Cette année 2023 aura une note de célébration !

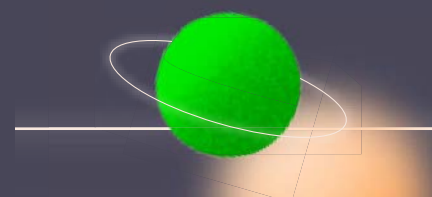
Retrouvez-nous lors de nos principaux évènements, afin de redécouvrir ensemble 10 années de passion technologique et de préparer le futur de notre institut.



14 février

ActinSpace

avec le pôle Safe, Cannes



6 - 10 mars

Paris Space Week

avec le pôle Safe, Paris

14 mars

Workshop GdR SOC2

B612, Toulouse

4 avril

Conférence Edward Lee «Deep Neural Networks»

Explanations, and Rationality», B612, Toulouse

6 avril

10 ans ★
IRT Saint Exupéry

sur notre Site de Bordeaux -Talence

25-27 avril

FIT Alliance Matériaux JEC WORLD 2023

Paris

30-31 mai

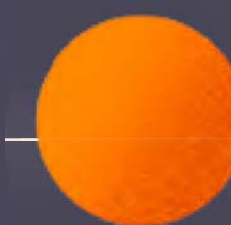
4ème édition du Mobilit.AI

MEETT, Toulouse

8 juin

10 ans ★
IRT Saint Exupéry

sur notre Site de Sophia Antipolis



13-14 juin

Séminaire : Matériaux & structures à faible impact

avec les COMET Matériaux, Structure et RSE du CNES, Toulouse

13-15 juin

CEM 2023



16 juin

Journée des Thèses

B612, Toulouse

5-6 juillet

Assises du New Space

Paris

6-7 juillet

Journées Scientifiques Confiance.ai

Diagora, Labège

12-14 septembre

Conférence Polymères & Composites

Hôtel Mercure de Compens Caffarelli, Toulouse

10 novembre

10 ans ★
IRT Saint Exupéry

Toulouse



€39M
budget annuel

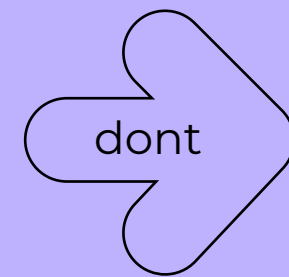
59
projets en cours
dont 8 projets européens

3
start-ups créées

11
plateformes
technologiques

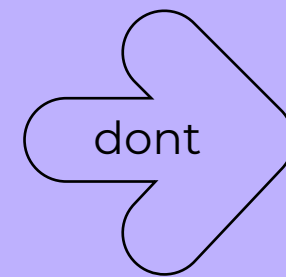
382
publications &
communications

359
collaborateurs



139
collaborateurs MAD
(personnel mis à disposition)

220
collaborateurs IRT



18
doctorants et
post-doctorants

en savoir plus

A female scientist with her hair in a bun, wearing glasses and a white lab coat, is focused on her work in a laboratory. She is wearing black gloves and appears to be handling a piece of equipment. The background is a blurred laboratory setting with various pieces of equipment and a blue-tinted overlay on the right side of the image.

**technologies
plus vertes.**

technologies plus vertes.



Lionel Bourgeois
Directeur Technologies Plus Vertes



L'axe «Technologies Plus Vertes» se concentre à lever les verrous technologiques dans le but de réduire les émissions de CO₂, basé sur les objectifs ambitieux fixés par l'Association Internationale du Transport Aérien (IATA) et en accord avec les programmes de recherche des grands donneurs d'ordre des secteurs aéronautique et spatial.

Nous contribuons à développer des solutions qui permettent de remplacer les systèmes historiquement alimentés par des énergies

« Nous effectuons des tests, fournissons des outils tels que des démonstrateurs, des bases de données, des algorithmes d'optimisation, des méthodes et des recommandations dans le cadre du projet ambitieux de la décarbonation. »

hydrauliques et pneumatiques par de nouveaux systèmes à base d'énergie électrique en adressant les grands enjeux dans ce domaine que sont la fiabilité et la réduction de la masse. Nous préparons aussi les solutions technologiques de demain qui permettront d'électrifier les chaînes propulsives. La montée en tension, la fiabilité et la densification sont les éléments clés pour y parvenir.

Pour cela, nous nous appuyons sur l'ensemble des compétences de l'IRT Saint Exupéry dans les domaines des systèmes électriques, des matériaux, de l'intelligence artificielle et de la modélisation multi-physique.

en savoir plus

challenges

objectifs

Réduire les émissions de carbone des secteurs cibles grâce au développement de technologies innovantes

Accélérer la maturation des technologies et le transfert industriel

Améliorer le cycle de vie des produits.

- Réduire la consommation de matériaux
- Réduire les opérations de maintenance et augmenter la durée de vie
- Réduire la consommation d'énergie des produits et systèmes

Permettre une électrification accrue des systèmes.

- Maîtriser la CEM (compatibilité électromagnétique)
- Permettre une augmentation de la puissance électrique
- Augmenter la densité de puissance
- Augmenter la fiabilité des fonctions électriques

Réduire la masse & le volume des produits.

- Augmenter la densité de puissance des équipements électriques
- Développer des procédés de fabrication plus légers, à iso performance ou à performance améliorée
- Utiliser des matériaux légers à fonction combinée

Mise en service de nouveaux moyens expérimentaux

Le projet HYBELEC a entamé sa dernière période et s'achèvera mi-2023. Il mobilise environ 9 collaborateurs IRT Saint Exupéry et personnels MAD des membres Safran, Airbus et Souriau. En 2022, de nombreuses caractérisations de nouveaux isolants ont été finalisées, ainsi que de longues campagnes de vieillissement et des activités de modélisation (PDIV, électrothermique).

Les projets HYBELEC et HIGHVOLT ont contribué à la mise en service de plusieurs moyens expérimentaux différenciants, parmi lesquels :

- Un banc unique de mesure de décharges partielles multi-contraintes haute température (91 mbar, 260°C, 10 voies en parallèle, transformateur Décharges Partielles Free jusqu'à 5 kV AC).
- Un banc de cyclage thermique actif, à refroidissement à eau, pour automatiser des campagnes de vieillissement de composants tels que des motorettes.
- Un équipement de spectroscopie diélectrique haute température (400 °C) pour caractériser les systèmes d'isolation électrique.
- La distribution électrique d'un avion miniature, composée intégralement de composants aéronautiques. Elle est représentative à échelle réduite de la distribution électrique d'un avion et permettra de réaliser, entre autres, des essais d'arc électrique pour évaluer leur impact sur la distribution et les charges, ainsi qu'à élaborer des modèles d'Intelligence Artificielle de détection.

FILAE : une démarche structurante pour la filière aéronautique électrique

La démarche FILAE (Filière Aéronautique Electrique) vise à proposer un programme ambitieux permettant d'accélérer la transition vers l'avion du futur décarboné et de permettre à la France de conserver son statut de pionnier en matière de développement d'aéronefs. L'IRT Saint Exupéry a continué à intégrer de nouveaux acteurs. Plus de 25 lettres de soutien ont été signées par des industriels, académiques et institutionnels.

Des réunions de présentation se sont déroulées au SGPI en charge de France 2030, de l'ANR, du ministère des Finances, du ministère des Transports, de la DGE et de la DGAC, au cours desquelles des industriels ont souligné l'importance stratégique de cette démarche et sa cohérence avec leurs feuilles de route. Rappelons que cette initiative vise à fédérer l'écosystème français autour d'une ambition de souveraineté nationale dans le domaine de la filière aéronautique électrique au travers d'un programme scientifique et de moyens coordonnés et partagés. Nous espérons un accord de financement en 2023.

Ambitions 2023

En 2022, nous avons lancé et préparé des projets suite afin d'assurer la continuité des thématiques développées à l'IRT Saint Exupéry depuis sa création :

- Montée en puissance du projet HIGHVOLT2 dans la continuité des activités menées dans le projet HIGHVOLT.
- Lancement du projet GANRET, sur la fiabilité des composants GaN.
- Préparation du projet SICRET+, dont le démarrage est prévu au deuxième trimestre 2023, qui fait suite au projet SICRET qui se terminera en avril 2023.
- Préparation du projet SSB (Solid State Battery) sur la fiabilité des batteries tout solide dont le lancement est prévu en juin 2023.
- Préparation du projet GRINHELEC dans la continuité du projet HYBELEC dont un volet s'attachera à la recherche sur les isolants biosourcés. Son démarrage est prévu fin du deuxième trimestre 2023.
- Ces projets nous permettent d'asseoir encore plus notre positionnement au sein de la filière aérospatiale. La reprise significative et structurante de l'activité que nous anticipions l'an passé est au rendez-vous.



Challenge IRT Saint Exupéry : les Diélectriques de demain

En 2022, les équipes du pôle de compétences « Energie Haute Tension » ont lancé le challenge IRT Saint Exupéry sur les Diélectriques de demain qui s'inscrit dans une démarche d'accompagnement de la transition énergétique par le biais de l'amélioration des isolants électriques et des systèmes d'isolation électriques associés.

Les laboratoires partenaires du challenge ont proposé 7 sujets de stages en lien avec cette problématique à un jury de laboratoires et industriels. Ce jury en a retenu 6. Ces 6 stages d'une durée de 6 mois seront subventionnés par l'IRT Saint Exupéry et s'effectueront dans les laboratoires partenaires. Une marraine ou un parrain industriel suivra la/le stagiaire au cours des 6 mois.

À la fin du stage, une journée de présentation aura lieu afin de présenter les travaux réalisés à un jury d'experts issu des laboratoires et industriels partenaires qui élira la meilleure présentation. Un prix sera remis à cette occasion.

en savoir plus

projets en cours



EF-MAHPCO

Evaluation de la mise en œuvre de couches isolantes thermiques entre la pièce composite et la pièce chaude en titane

GANRET

Evaluation de la fiabilité de la technologie des semi-conducteurs de puissance en nitrure de gallium (GaN). L'objectif principal est de permettre l'insertion de l'électronique de puissance à base de GaN dans (plusieurs secteurs) la chaîne d'approvisionnement de la mobilité électrique avec une contrainte de fiabilité élevée

HEMOWHY

Approfondissement des connaissances sur les mécanismes de vieillissement/défaillances et leurs fréquences d'apparition afin de savoir dimensionner, estimer la durée de vie et la sûreté de fonctionnement des piles à hydrogène. Le projet se focalise sur l'impact de certains paramètres (courant, température) sur le comportement dans la durée d'un « stack ». Les dégradations apparues seront identifiées de différentes manières pour avoir un bon degré de certitude sur les observations et interprétations réalisées

HIGHVOLT 2

Amélioration de la compréhension des phénomènes physiques associés aux forts champs électriques (décharges partielles, surfaciques, charges d'espace, arcs électriques), évaluation et maîtrise de leurs conséquences sur la fiabilité des systèmes, identification et développement de solutions permettant de porter les performances des systèmes au-delà de l'état de l'art

HYBELEC

Caractérisation, optimisation et modélisation des matériaux et composants des harnais et moyens de connexion de forte puissance pour les applications aéronautiques futures à propulsion hybride ou électrique

OCEANE

Optimisation de la chaîne électrique de forte puissance, développement de modèles prédictifs et d'outils d'optimisation multidisciplinaire (MDO) pour le dimensionnement optimal de la chaîne électrique, évaluation de futurs convertisseurs de courant continu/alternatif (DC/AC) de très fortes puissances

ORACLE

Etude de faisabilité concernant une ou des méthodologies permettant la détection précoce d'avarie sur l'un des systèmes embarqués à l'aide d'observation non intrusive

SiCRET

Evaluation de la maturité de la technologie des semi-conducteurs de puissance au carbure de silicium (SiC)

SOCOOL 2

Montée en maturité de solutions thermiques de refroidissement : les boucles diphasiques

SOLER

Etude de la durée de vie d'assemblages de composants électroniques sur circuits imprimés réalisés avec des crèmes à braser sans plomb nouvelles générations (de type SAC+)¹

projets européens

DCADE

Evaluation des technologies potentielles qui permettront d'utiliser des convertisseurs de tension plus élevée tout en maintenant la densité de puissance, ainsi que des techniques de détection d'arc qui augmenteront la sécurité des opérations à haute altitude

HYPNOTIC

Développement d'un ensemble de convertisseurs bidirectionnels agissant ensemble comme un seul équipement

IMPERIAL

Développement d'un convertisseur de puissance innovant capable d'assurer la transmission de puissance, la surveillance, le diagnostic et les communications. Le système sera hautement efficace, fiable, compact et léger, contribuant ainsi à des performances plus élevées, plus efficaces et plus écologiques pour les futurs grands avions de ligne

RECET4RAIL

Développement de nouvelles technologies pour le sous-système d'entraînement de traction des trains

¹ Etain-Argent-Cuivre

A man with glasses and a white lab coat is shown in profile, looking down at a small, blue, multi-part mechanical component he is holding in his hands. The background is a blurred laboratory or workshop environment with various equipment and a red wall. The text "technologies de fabrication avancées." is overlaid on the left side of the image.

**technologies
de fabrication
avancées.**

technologies de fabrication avancées.



Emilie Herny
Directrice Technologies
de Fabrication Avancées



L'axe « Technologies de Fabrication Avancées » élabore des solutions permettant d'améliorer la performance et la compétitivité des industriels, de la conception à la fabrication de pièces ou systèmes critiques.

Nos solutions peuvent être « ciblées » sur un élément de la chaîne de valeur ou « globales » sur la totalité de la chaîne. Nos activités sont donc principalement centrées sur le développement de nouvelles technologies de fabri-

« Nous fournissons des preuves de concept, à partir de solutions respectueuses de l'environnement. »

cation, sur l'optimisation des procédés ou de la chaîne de production, et sur la maîtrise du comportement des matériaux et des structures.

Nous proposons une approche disruptive en couplant notamment **des outils de modélisation multi-physique et/ou l'intelligence artificielle** au monde des **matériaux et procédés**, afin de tirer bénéfice des synergies offertes par l'ensemble des disciplines de l'IRT Saint Exupéry.

en savoir plus

challenges

objectifs

Améliorer la compétitivité de nos partenaires industriels grâce au développement de technologies innovantes et économiques

Accélérer la maturation des technologies et le transfert vers les industriels

Développement des nouvelles technologies de fabrication.

- Développer des matériaux et des processus innovants
- Développer des technologies de fabrication hybrides
- Développer la multifonctionnalité des matériaux et des structures

Optimisation des procédés de fabrication & chaîne de production.

- Réduire les coûts des matériaux
- Réduire les coûts de fabrication, réparation et maintenance
- Réduire les cycles de développement et de qualification

Maîtrise du comportement des matériaux et des structures.

- Maîtriser les processus (fiabilité et robustesse)
- Maîtriser la durée de vie (initiale et résiduelle) des structures
- Maîtriser l'évolution à long terme des propriétés des matériaux

Réduction des coûts de fabrication d'aérostructure et de l'impact écologique, le projet MAMA dévoile ses 1er résultats. Fort de ces succès, le projet DéfiTitane devrait se lancer mi 2023 pour prendre la suite logique de MAMA

En avril 2022, l'équipe du Projet MAMA (Metallic Advanced Materials for Aeronautics) a dévoilé un démonstrateur en alliage de titane TA6V de 800 mm de long correspondant à un tronçon échelle 1 d'un cadre de fuselage de l'Airbus A350. Il a permis de démontrer une réduction de matière première engagée en matriçage de plus de 30% par rapport à la solution industrielle actuelle.

Le projet MAMA porté par l'IRT Saint Exupéry depuis 2018 vise à proposer de nouvelles conditions de forgeage/matriçage de pièces aéronautiques en alliage de Titane (TA6V) et de les associer à des techniques émergentes de fabrication additive par dépôt de poudres et de fils métalliques.

Il s'appuie sur une plateforme de recherche unique en Europe développée au cours du projet et dédiée à l'hybridation entre des procédés de matriçage et des technologies de fabrication additive métallique.



en savoir plus



Fin de projets structurants sur les CMC : Des procédés pilotes et un banc d'essai de caractérisation unique de matériaux CMC maintenant opérationnels

Les projets SiC MI 2 et CMC en Service se sont terminés fin 2022 avec des transferts technologiques notables, comme la montée en maturité d'injection multi-objets grâce à la presse semi-industrielle ou la validation d'une nouvelle matière première de carbure de silicium rendant le procédé global plus stable. Le succès de ces projets a permis de faire monter en compétence les équipes techniques et de construire le projet suite appelé COSMIC, avec un budget conséquent de plus de 3M€ sur 4 ans.

Ce projet COSMIC va travailler à la montée en maturité de nouveaux objets base SiC comme des distributeurs (trubine HP) dont une partie conséquente sur l'évaluation des performances thermomécaniques sur objet complexe (3D).

en savoir plus



FIT ALLIANCE MATERIAUX

L'année 2022 marque le lancement de la FIT Alliance Matériaux avec la création d'une identité graphique dédiée et une participation à la conférence Matériaux 2022 à Lille avec un stand commun.

Forts de leurs 10 années d'expériences, les IRTs Jules Verne, MP2 et Saint Exupéry proposent dans le cadre de l'Alliance Matériaux des solutions en Matériaux et Procédés afin de :

- Réduire l'impact environnemental des procédés de transformation et de production.
- Augmenter la performance des matériaux et des procédés en maîtrisant les coûts et en déployant la digitalisation.

Cette alliance permet de mettre en commun la force des trois IRT et de faire bénéficier nos industriels d'un vivier de compétences et d'expertises, d'un écosystème national et multisectoriel et de plateformes à échelle semi industrielle.

31 décembre 2022

projets en cours



ACDC

Développement de matériaux et structures composites pour la réduction de bruit et le contrôle des vibrations dans l'environnement cabine et nacelle

CAMISOLE

Composite à matrice Inorganique pour le Stockage géologique

CMC SiCMI 2

Montée en maturité des matériaux CMC de type SiC-SiC¹ pour les besoins de l'aéronautique civile

COBRA

Montée en maturité et automatisation des procédés d'assemblages innovants

CODEX

Développement de solutions de collage démontable pour les besoins de l'automobile, de l'aéronautique et du spatial

COMPINNOV HT

Remplacement de pièces métalliques par des composites haute température pour des applications de structures aéronautiques

COMPINNOV TP2

Compréhension entre architectures des préimprégnés carbone/thermoplastique, processabilité (consolidation et assemblage) et impact sur les propriétés mécaniques

COSMIC

Montée en maturité des matériaux composites à matrice céramique (CMC) de type SiC-SiC pour les besoins de l'aéronautique civile

ELIPSE2

Caractérisation et montée en maturité des procédés d'impression sans contact de pistes électriques sur la structure de l'avion ou les panneaux d'habillage cabine

EVERGREEN

Démonstration de la pertinence des composites vitrimères en testant les capacités de réparation, de remise en forme, de reprocessabilité et d'assemblage

FREEZING

Développement de revêtements de surfaces multifonctionnels pour des pièces aéronautiques

GLAD

Développement de matériaux à gradient de fonctions et de propriétés à travers l'utilisation du procédé LMD-p (Laser Metal Deposition - with powder)

HIPPOME

Etude et développement de traitements HIP (Hot Isostatic Pressure) de superalliages à base de nickel transformés par fabrication additive LBM (Laser Beam Melting) et élaborés par MIM (Metal Injection Moulding)

MAMA

Développement des gammes de forgeage et de matriçage disruptives pour la fabrication de pièces primaires aéronautiques en alliage de titane TA6V

MATILD

Augmentation du niveau de maturité du procédé LMD-p (Layer Metal Deposition - powder) pour des applications aérospatiales

OXYGEN

Développement des CMC de type oxyde pour application hautes températures (de 700 °C à 1000°C)

EF TIMENCO

Evaluation des solutions permettant d'améliorer la gestion thermique transversale des panneaux sandwichs TD/nid d'abeille métallique et d'y intégrer des fonctions électroactives pour des applications telles que le chauffage.

TRUST

Evaluation de la maturité des modèles d'endommagement des composites à travers une approche V&V multi-échelle et le développement de méthodes et d'outils pour prendre en compte les incertitudes, pour définir des tests plus intelligents, pour anticiper l'effet des défauts de fabrication et pour permettre la mise à l'échelle des modèles

WALLSAPP

Augmentation de la maturité de la conception et de la fabrication des structures minces (de dimensions inférieures à 1mm) par procédés de fabrication additive métallique

projets européens

FASTER H2

Fuselage, Rear Fuselage and Empennage with Cabin and Cargo Architecture Solution validation and Technologies for H2 integration

ReCHycle

Développement d'un démonstrateur en CMC pour des circulations de gaz optimisés dans les hauts fourneaux métallurgiques

2022

projets terminés

ASSEMBLAGES INNOVANTS 2

Détermination des paramètres critiques pour permettre la montée en maturité des technologies d'assemblages innovants

C3N

Levée des verrous technologiques liés au remplacement de l'acier bas carbone utilisé pour le chemisage des alvéoles HA (haute activité) par un matériau composite à matrice céramique (CMC)

CMC en service

Levée des verrous technologiques liés à la caractérisation en milieu représentatif moteur d'éprouvettes technologiques en CMC

DEFLECT

Fonctionnalisation de matériaux composites pour la fabrication de coffrets électriques destinées à accueillir et protéger les dispositifs électriques et avioniques embarqués

ELIPSE

Caractérisation et montée en maturité des procédés d'impression sans contact de pistes électriques sur la structure de l'avion ou les panneaux d'habillage cabine

LASER

Développement d'outils numériques et de méthodologies destinés à la conception de structures « lattices » (treillis) réalisées par fabrication additive

SPRINT

Développement et caractérisation des crèmes à braser sans plomb avec des propriétés thermomécaniques améliorées

VITAL

Génération des admissibles de dimensionnement des matériaux composites par virtual testing

¹ Carbure de silicium

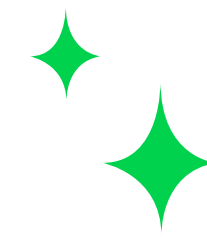
A woman with dark hair in a ponytail, wearing a dark blue sweater, is shown in profile from the chest up. She is looking towards the right, where a digital interface of falling blue data points and lines is visible. Her right hand is raised, with her index finger pointing towards the data stream. The background is a gradient of blue, transitioning from a lighter shade on the left to a darker shade on the right. The overall scene conveys a sense of interaction with advanced technology.

**technologies
intelligentes.**

technologies intelligentes.



Lionel Cordesses
Directeur Technologies Intelligentes
& IEEE Senior Member



L'axe « Technologies Intelligentes » se concentre sur les technologies d'Intelligence Artificielle (IA) et de connectivité pour les systèmes.

Dans cet axe, nous développons et évaluons des solutions à base d'IA pour la planification et la prise de décisions en environnements complexes et incertains : constellations de satellites, réseaux de capteurs, ou opérations aériennes. Dans la plupart des systèmes critiques sur lesquels nous intervenons, la collaboration entre l'Humain et la Machine prend une place prépondérante.

De même, les technologies de connectivité sont omniprésentes : nous nous focalisons sur les applications impliquant un segment non terrestre comme le satellite ou une plateforme haute altitude pour augmenter la couverture des services numériques dans les zones sans infrastructure non

« Tout le monde - ou presque - fait de l'intelligence artificielle. Notre différence : nous inventons et déployons avec nos partenaires l'IA robuste et explicable pour les systèmes critiques. »

terrestre (5G, IoT¹).

Enfin, nous utilisons l'IA pour améliorer les communications, comme nous employons les techniques issues des communications en temps réel pour améliorer l'IA.

Dans le même esprit de fertilisation croisée, certaines techniques d'IA robuste que nous développons servent d'autres axes de l'IRT Saint Exupéry, et accroissent la valeur ajoutée des solutions développées pour les industriels telles que l'IA pour simplifier l'ingénierie des systèmes, l'IA pour contrôler des processus avec des matériaux composites à matrices céramiques, ou bien l'IA pour détecter et localiser des arcs électriques dans un réseau électrique d'aéronef.

Enfin, nous avons récemment appliqué ces mêmes techniques robustes et explicables au système le plus critique qui soit : la santé humaine ! Des collaborations et travaux de recherche en partenariat avec des acteurs clés du secteur sont à venir pour 2023.

¹ Internet of Things

en savoir plus

challenges

objectifs

Construction de briques d'Intelligence Artificielle (IA) robustes et explicables

Augmentation de la couverture des systèmes de communication

Certification de systèmes incluant de l'IA

Augmenter la performance et l'ubiquité des services numériques, en particulier non terrestres.

- Connectivité
- Observation et détection

Planifier et décider en environnements complexes.

- Planification et décision
- IA efficiente et embarquée

Inventer & déployer l'IA robuste, explicable et compatible avec la certification.

- Apprentissage automatique et certification
- Environnement de qualification

9 Papiers retenus à la conférence NeurIPS 2022

L'équipe du projet DEEL s'est distinguée avec neuf communications scientifiques acceptées à la prestigieuse conférence internationale NeurIPS 2022, dont une issue de l'IRT Saint Exupéry Canada. La progression est importante, puisque DEEL avait eu 5 communications acceptées à NeurIPS en 2021.

Fondée en 1987, NeurIPS (Neural Information Processing Systems) est une conférence scientifique internationale en intelligence artificielle et neurosciences computationnelles.

en savoir plus

Best Paper conférence WAISE

L'équipe « Prédiction conforme » du projet DEEL s'est vue remettre au WAISE 2022 le Best paper award pour leurs travaux en intelligence artificielle sur la détection d'objets avec garanties probabilistes.

en savoir plus

2 Best Papers à ERTS 2022

Deux publications présentées à la conférence ERTS par l'équipe DEEL ont reçu le titre de Best Paper Awards !

"Leveraging Influence Functions for Dataset Exploration and Cleaning".

"Can we reconcile safety objectives with machine learning performances?"

en savoir plus

L'année 2022 a été marquée par de nombreuses autres publications dans des journaux et conférences de renom¹.

¹ AISTATS, CVPR, ICLR, ICML, IEEE Transactions on Big Data, IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, Journal of Differential Equations, Journal of Machine Learning Research, Journal of Mathematical Imaging and Vision, Journal of Multivariate Analysis, Journal of Optimization Theory and Applications, Journal of the European Mathematical Society, Mathematical Programming, Neural Processing Letters, Operations Research Letters, SIAM Journal on Mathematics of Data Science, The American Statistician



Workshop 5G autour de la plateforme NTN Lab

Grâce aux satellites, la 5G sera disponible partout : c'est le message du workshop organisé en septembre 2022 par l'IRT. Rassemblant plus de 30 partenaires industriels et académiques européens, ce workshop a atteint 3 objectifs:

- Présenter le panorama des activités menées à l'IRT en 5G par satellite
- Dévoiler le programme co-construit avec l'IRT b<>com en xG non terrestre (NTN)
- Recueillir les souhaits des partenaires pour la 6G NTN.

À cette occasion, la Commission Européenne est venue partager sa feuille de route visant le développement de la constellation IRIS² compatible avec la 5G .

Ce workshop, en phase avec les travaux 3GPP, est un des éléments fondateurs du programme emblématique que les deux IRT défendent auprès de France 2030, pour assurer la souveraineté de la France dans ce domaine.

en savoir plus



L'intelligence Artificielle au service de la Santé

Le 17 mai 2022, l'IUCT-Oncopole et l'IRT Saint Exupéry ont signé un partenariat centré sur l'Intelligence Artificielle afin de faire évoluer les soins et la recherche contre le cancer. Cette nouvelle collaboration, inédite et originale, à la croisée des univers de l'aéronautique et de l'oncologie, se focalise sur deux problèmes où l'IA pour les systèmes critiques prend tout son sens :

- L'IA pour prédire la réponse des patients au traitement par radiothérapie et immunothérapie via l'analyse de données issues de prélèvements sanguins et de données IRM.
- L'IA pour l'assistance à la prévention de l'hypotension artérielle durant une opération.

Les synergies en IA entre les mondes aérospatiaux et de la santé fonctionnent, comme en témoigne une publication de l'INSERM, du CHU de Toulouse et de l'IRT en lien avec les myopathies.

en savoir plus

31 décembre 2022

projets en cours



APISS

Mise en place d'un référentiel de standardisation pour des solutions embarquées de capteurs basées sur les technologies photoniques

CIAR

Introduction des technologies de l'intelligence artificielle pour le traitement de l'image dans des systèmes embarqués (satellites, robots, drones, etc.) afin de les rendre plus autonomes et réactifs

DEEL

Création de la théorie et des algorithmes explicables et robustes d'apprentissage automatique pour répondre aux enjeux de qualification et de certification des systèmes critiques embarquant des IA

ELLIOT

Adaptation et validation d'un protocole de communication IoT terrestre pour permettre un service d'IoT à large couverture géographique à partir de nanosatellites low cost en orbite basse, et mise en œuvre d'un démonstrateur de terminal multibande intelligent

ENVIA

Réalisation de contrôle automatique basé sur l'apprentissage par renforcement pour des véhicules autonomes placés dans un environnement incertain. Cas d'usage : le dirigeable LCA60T de Flying Whales.

PEP_hîTE

Mise en place d'une plateforme permettant l'évaluation de la performance de la collaboration entre humains et agents autonomes incluant de l'IA dans le contexte de l'aéronautique militaire et civile.

MINDS

L'intelligence artificielle pour l'évolution des systèmes spatiaux d'observation : planification de constellations massives et hétérogènes et analyse sémantique bimodale d'images satellites et de texte

NS3

Simulations scientifiques et développement d'un démonstrateur technologique d'un concept innovant d'imageur de gaz à grand pouvoir de résolution et de petite taille pour applications mobiles, aéroportées et spatiales

RAPTOR

Définition d'un sous-système embarqué pour mener une mission de rendez-vous sous contraintes avec des cibles spatiales collaboratives ou non, selon une stratégie d'approche sûre et explicable à base d'optimisation multi-critères et d'intelligence artificielle

SB

Établissement d'une gestion communautaire des accès aux données et services pour l'environnement, partage des ressources (données, calculs, stockage, algorithmes IA). Cas d'usage applicatif : submersion et érosion côtière

SODA2

Préparation des futurs systèmes de défense impliquant des intelligences artificielles pour l'optimisation de stratégies de défense sol-air

SUPERG

Réalisation d'une plateforme de développement de fonctions réseaux virtualisés pour le satellite en vue d'une intégration dans les réseaux 5G. Maîtriser la conception de ces fonctions et de leur orchestration dans un contexte de réseau défini par logiciel

projets européens

5G MED

Déploiement d'une infrastructure de télécom et de calcul (5G-SA et IA) le long d'un corridor transfrontalier France/Espagne. Test de cas d'usage : train et automobile innovants en grandeur réelle.

HECATE

Hybrid Electric regional Aircraft distribution Technologies. Développement du jumeau numérique de la distribution électrique de l'avion afin d'en comprendre le comportement physique, et d'en suivre son évolution.

2022

projets terminés

PHOEBUS

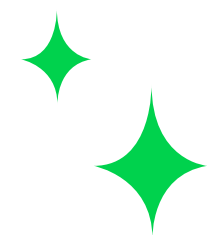
Méthodes et équipements pour la vérification des charges utiles de satellites de communication de forte capacité (VHTS¹) exploitant les technologies photoniques et dépassant les limitations des solutions uniquement électriques

¹ Very High Throughput Satellite



**méthodes & outils pour
le développement de
systèmes complexes.**

méthodes & outils pour le développement de systèmes complexes.



L'axe « Méthodes & outils pour le développement de systèmes complexes » propose un ensemble de solutions pour faciliter le développement, l'optimisation et la vérification d'architecture de systèmes critiques.

Nos solutions visent à améliorer la qualité des phases de conception, à augmenter la maîtrise système, et à réduire les coûts récurrents ainsi que les durées des phases d'architecture et de développement. Notre démarche prend en compte l'intégralité du cycle de vie des systèmes complexes et critiques.

Elle prend sa source dès la phase de conception grâce une ingénierie multidisciplinaire,

optimisée, itérative et efficace et s'étend jusqu'à la phase de déploiement opérationnel grâce à l'usage de jumeaux numériques. Nous développons une approche 100% numérique en intégrant l'optimisation multidisciplinaire, l'ingénierie MBSE (model-based systems engineering), et les garanties temporelles nécessaires aux systèmes critiques.

Du fait de la transversalité de nos activités, nous adressons l'intégralité des autres axes de l'IRT Saint Exupéry et soutenons les domaines électriques, des matériaux et de l'intelligence artificielle en proposant des solutions numériques pour l'atteinte de leurs objectifs.

en savoir plus

« La transversalité de nos compétences permet d'adresser l'intégralité des activités de nos membres. »



Christophe Lemort
Directeur Méthodes & Outils pour le Développement de Systèmes Complexes

challenges

objectifs

Créer les méthodes et outils pour le développement de jumeaux numériques afin d'améliorer l'efficacité de systèmes complexes

Concevoir de manière optimisée, itérative et rapide les systèmes complexes

Certifier et qualifier les systèmes critiques embarqués tout en considérant les problématiques de cybersécurité.

Permettre une ingénierie système numérique et collaborative.

- Obtenir une vision unifiée d'un système complexe basé sur des données, des méthodologies et des outils hétérogènes
- Améliorer la cohérence entre disciplines différentes ou en entreprise étendue
- S'adapter à l'avènement de l'intelligence artificielle

Développer et transférer l'optimisation multidisciplinaire robuste vers l'industrie.

- Accélérer la transformation numérique des phases de conception et de développement des systèmes
- Améliorer l'efficacité et la robustesse de la conception grâce à de nouvelles méthodologies d'optimisation multidisciplinaire et de propagation d'incertitudes
- Mettre en œuvre l'intelligence artificielle et l'optimisation multidisciplinaire dans le développement de jumeaux numériques

Concevoir des architectures matérielles et logicielles efficaces et sûres.

- Proposer des méthodes afin de respecter des objectifs de certification dans des contextes distribués ou incluant de l'intelligence artificielle
- Garantir les propriétés temporelles des nouveaux modèles d'implémentation (GPU, FPGA, TSN)
- Optimiser l'usage des ressources matérielles



1^{er} Workshop Cybersécurité à l'IRT Saint Exupéry

Le 20 juin 2022 les équipes de l'IRT Saint Exupéry ont organisé un workshop « Cybersécurité dans les systèmes critiques embarqués ». Une trentaine d'experts industriels et académiques de la cybersécurité ont travaillé à identifier collectivement les sujets techniques stratégiques pour la communauté.

Ce workshop a permis de mettre en évidence de nombreux axes de travail afin d'améliorer la résilience des systèmes embarqués tout en balayant les différents niveaux de l'ingénierie (Hardware, Software, MBSE, etc.) et des opérations de maintien en conditions opérationnelles.

Cette session de travail a également permis aux différents acteurs d'échanger leurs expériences, d'identifier les verrous à lever sur les technologies socles amenant un avantage différenciant et *in-fine* de démarrer plusieurs projets collaboratifs sur cette thématique critique.

Conférence CSD&M Design and Management of Complex Systems

Le 16 décembre 2022, l'équipe intégrée MDO¹ – MBSE² de l'IRT Saint Exupéry a présenté « A Model-Based System Engineering Approach for Multi-Disciplinary Analysis and Design Optimization Process Definition » au CSD&M : Design and Management of Complex Systems Conference. Cet événement était organisé par la communauté CESAM³.

Cette approche, développée dans le projet R-Evol, vise à jeter un pont entre l'ingénierie système et le domaine de l'optimisation multidisciplinaire. Appliquant l'ingénierie des systèmes à base de modèles (MBSE) à la conception des processus MDO, cette approche permet d'assurer la continuité numérique entre les exigences de haut niveau des entreprises et des systèmes et les processus MDO.

Une fois définie, la spécification du processus MDO est automatiquement extraite des modèles MBSE, et le processus MDO est automatiquement créé par l'outil GEMSEO.

- 1 Multidisciplinary Design Optimisation
- 2 Model-Based Systems Engineering
- 3 Communauté qui œuvre au partage de bonnes pratiques d'architecture entreprise et d'architecture système

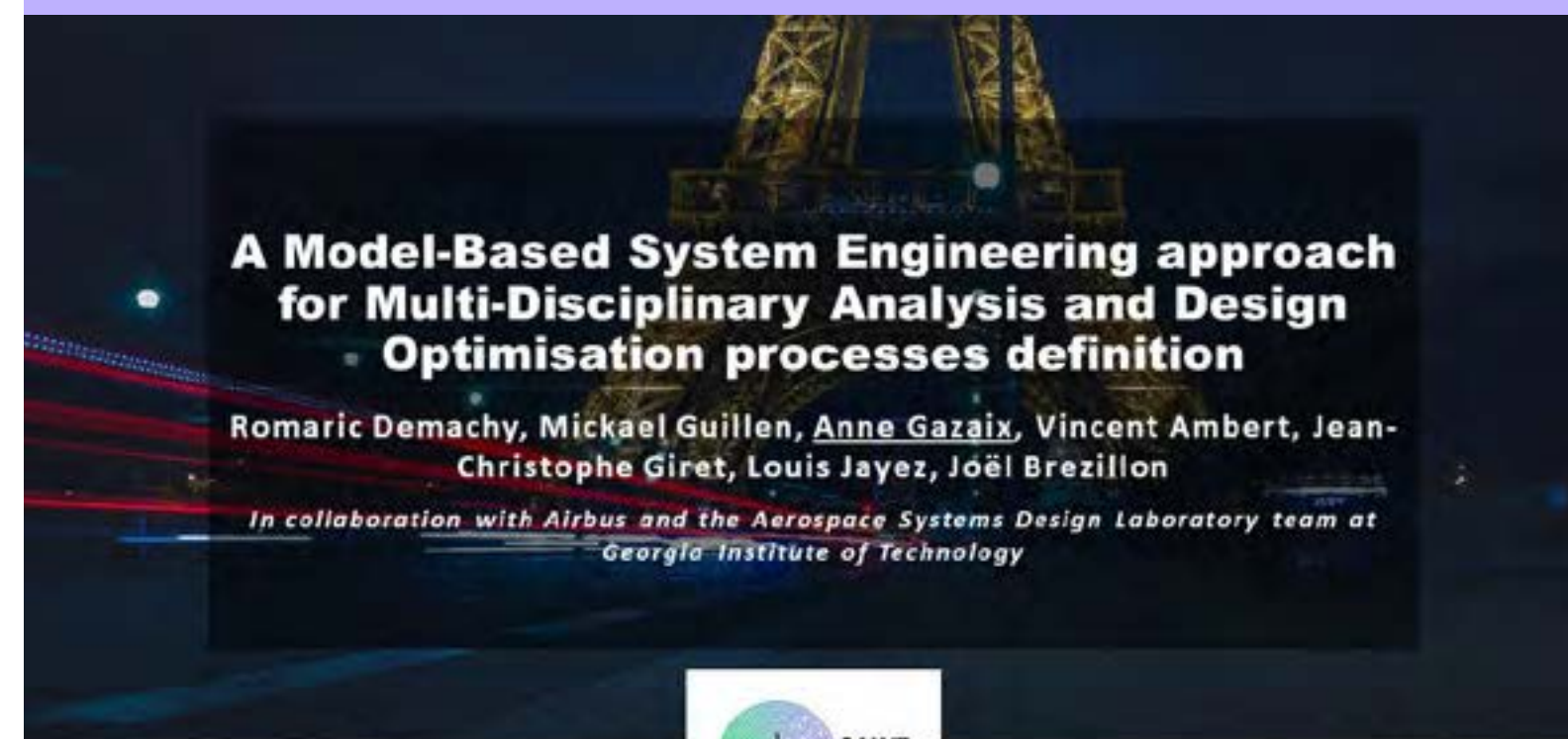


Workshop MDO - Multidisciplinary Design Optimization

L'ONERA, le « German Aerospace Center » (DLR) et l'IRT Saint Exupéry ont co-organisé la 3^{ème} conférence européen « MDO for Industrial Applications in Aeronautics - Towards Greener Aviation » à l'Institut des Hautes Études Scientifiques (IHES), Bures sur Yvette, les 20 et 21 septembre 2022.

Une centaine de personnes, 50% de l'industrie et 50% des instituts de recherche ou universités ont exposé leurs feuilles de route respectives et les nouveaux défis associés à l'impact environnemental. De nombreuses et riches discussions ont eu lieu autour des MDO, MBSE, multi-fidélité, numérisation, UQ&M, Machine Learning/Intelligence Artificielle et comment intégrer ces approches dans les processus industriels. La session de posters avec les étudiants en doctorat et les jeunes chercheurs a été un grand succès.

Une session panel, animée par V. Selmin (Clean Aviation JU, avec les instituts de recherche organisateurs P. Beaumier de l'ONERA, D. Descheemaeker de l'IRT Saint Exupéry, M. Fischer du DLR et les partenaires industriels F. Blanc (AIRBUS), C. Rey (SAFRAN), G. Rogé (Dassault Aviation), et S. Shapar (Rolls Royce) a clôturé ces deux jours de conférence.



31 décembre 2022

projets en cours



ARCHEOCS

Conception et optimisation de systèmes logiciels critiques déployés sur des architectures mono et multicartes équipées de SoC complexes

EASYMOD

Définition des modes d'interaction appropriés et acceptés par les architectes et ingénieurs systèmes pour améliorer l'acceptabilité et le large déploiement de la modélisation et augmenter l'efficacité et la productivité des ingénieurs systèmes

EDEN

Évaluation et conception des briques d'une architecture de communication embarquée déterministe, modulaire, standardisée et multisectorielle (automobile, aéronautique ou spatial) basée sur le standard TSN (time sensitive network)

R-EVOL

Contribution à la continuité numérique grâce à la MDO en lien à l'ingénierie des systèmes.

Développement de capacités innovantes pour l'amélioration de l'efficacité et de la robustesse des processus MDO. En particulier développement des aspects multi-fidélité et propagation d'incertitudes dans les processus MDO

S2C

Etablissement de la continuité numérique entre la définition des systèmes et les analyses safety

DIGITWIX

Raffiner les modèles satellites avec des données opérationnelles en orbite pour améliorer la renégociation du domaine d'utilisation du satellite et la maîtrise des marges de design du satellite.

CONFIANCE.AI

Développement et exploitation d'une approche de Vérification et de Validation de systèmes intégrant de l'Intelligence Artificielle basée sur la méthode des Assurance Cases (en collaboration avec Technologies Intelligentes). Développement d'un banc pour l'évaluation de solutions de déploiement d'algorithmes d'Intelligence Artificielle sur des plateformes de calcul embarquées.

projets européens

ACAP

Utilisation de l'optimisation multidisciplinaire pour la conception d'architectures d'aéronefs allant des applications régionales aux applications à courte et moyenne portée. Le projet vise à développer un environnement agile et collaboratif pour assembler et structurer la pyramide des processus d'architecture, des modèles et des données des différents modèles numériques. Le projet vise aussi à développer la continuité numérique entre MBSE et MDAO

CONCERTO

Nouvelles méthodes de certification et de conformité utilisées pour l'intégration de sous-systèmes aéronefs en entreprise étendue

IREMBS

«Integration of Reliability Engineering in Model Based Systems» fait suite au projet ELMASAT. L'objectif du projet est l'intégration des différentes études RAMS dans un cadre d'ingénierie par les modèles

NEXTAIR

Permettre la transformation numérique de l'avion de la prochaine génération grâce au développement et à la démonstration de nouvelles méthodes numériques combinant les capacités les plus avancées de modélisation haute-fidélité à des techniques de Machine Learning. NextAir permettra une conception robuste et une mise en service de la prochaine génération de configurations d'aéronefs neutres sur le plan climatique, avec une fiabilité opérationnelle améliorée et des technologies de maintenance intelligentes

RECET4RAIL

Contribution par des approches de MDO à l'étude de nouvelles technologies de fabrication additive appliquées au développement de systèmes de traction dans le domaine ferroviaire

RHEA

Utilisation de l'optimisation multidisciplinaire pour la conception des avions de future génération à voilures à très fort allongement. Dans ce contexte, nous sommes en charge de l'implémentation du processus MDO destiné à la phase de conception préliminaire, réalisé et interfaçant à GEMSEO différents modèles basés sur la physique

UP WING

Développement de nouvelles capacités pour l'architectures d'ailes ultra performante en terme d'impact climatique pour avions à courte ou moyenne portée par notamment le renforcement de l'utilisation de méthodes d'optimisation multidisciplinaire Haute-Fidélité et l'utilisation de techniques de gestion d'incertitude innovantes

2022

projets terminés

SPOC

Evaluation d'architecture tests d'implémentation logicielle et matérielle pour des modèles de Machine Learning embarquables supportant les futures charges utiles optiques spatiales ou aéroportées

MADELEINE

Développement de capacités d'optimisation multidisciplinaires haute-fidélité basées sur la technique de l'adjoint pour la conception industrielle aéronautique, à des fins de réduction des délais et des coûts de fabrication. Démonstration des formulations MDO développées dans GEMSEO associées aux capacités HPC (high power computing) nécessaires à l'accélération des processus.



nos **compétences.**

Pour réaliser les objectifs des 4 axes préalablement présentés,
l'IRT Saint Exupéry dispose de 12 compétences aux services de ces axes.

matériaux composites & procédés.



Domaines R&T

- Matériaux multifonctionnels
- Conception & fabrication de pré-imprégnés à architecture optimisée
- Procédé de soudage par induction
- Modélisation des procédés et essais virtuels
- Matériaux & procédés composites céramiques innovants

Notre centre de compétence « Matériaux composites & procédés » vise à répondre aux besoins de compétitivité industrielle en participant au développement de solutions d'allègement pour des applications structurales ou dans des environnements contraints thermiquement.

Nos activités portent sur le développement de matériaux à matrices organiques thermoplastiques ou thermodurcissables, et à matrices céramiques (oxyde d'aluminium Al₂O₃, carbure de silicium, vitrocéramique, etc.) résistants à de très hautes températures.

Par ailleurs, notre positionnement à l'échelle des matériaux nous permet de spécifier et concevoir des solutions innovantes telles que la formulation de matrices spécifiques par ajout de charge.

Nous concevons, développons et fabriquons de nouveaux matériaux composites multifonctionnels à architecture maîtrisée, jusqu'à une échelle de représentativité semi-industrielle. Pour aller au-delà de l'approche essais-erreurs souvent rencontrée dans l'industrie, nous développons également des outils et méthodologies numériques permettant, par exemple, de réduire les phases de conception et de qualification pour les industriels (essais virtuels) ; de comprendre l'influence des paramètres de procédés de nos équipements de fabrication sur la microstructure et les propriétés des matériaux fabriqués (modélisation des procédés).

1er prix SAMPE France Vincent SCHENK

Vincent Schenk a remporté le prix Sampe France 2022 dans le cadre de ses travaux sur les matériaux vitrimères, le 3 juin 2022. Le concours annuel SAMPE France récompense les travaux de thèse dans le domaine des matériaux et procédés.

Il s'est illustré en présentant les premiers résultats de sa thèse intitulée « Matériaux composites à matrice vitrimère pour l'aéronautique », préparée au sein de l'IRT Saint Exupéry en collaboration avec l'Institut Clément Ader (ICA) CNRS UMR 5312 & le Laboratoire des IMRCP UMR 5623 (CNRS, Université Paul Sabatier Toulouse III).

Vincent a également présenté ses travaux lors des Journées Techniques du SAMPE, regroupant environ 300 personnes du domaine des matériaux et procédés, ainsi que les 17 et 18 novembre au concours SAMPE Europe à Hambourg, où il a obtenu une très belle mention honorable dans la catégorie Docteur.

Lancement projet EVERGREEN sur les résines vitrimères

Le 14 septembre 2022 marque le lancement du projet EVERGREEN qui vise à démontrer la pertinence des composites vitrimères en testant les capacités de réparation, de remise en forme, de reprocessabilité et d'assemblage. Il s'agira de s'adapter aux moyens actuels de production des thermodurcissables (RTM, Pultrusion, Imprégnation, drapage, consolidation) et de contribuer à terme au développement de ces nouveaux matériaux à l'échelle française pour des applications aéronautiques et spatiales.

L'IRT Saint Exupéry a accueilli pour l'occasion Airbus, Epsilon Composite, ADI Composites, Solvay et Safran, partenaires du projet.

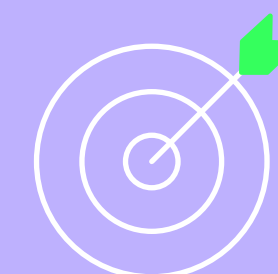
Maîtrise des procédés

Fonctionnalisation de matériaux et de structures

Optimisation des procédés

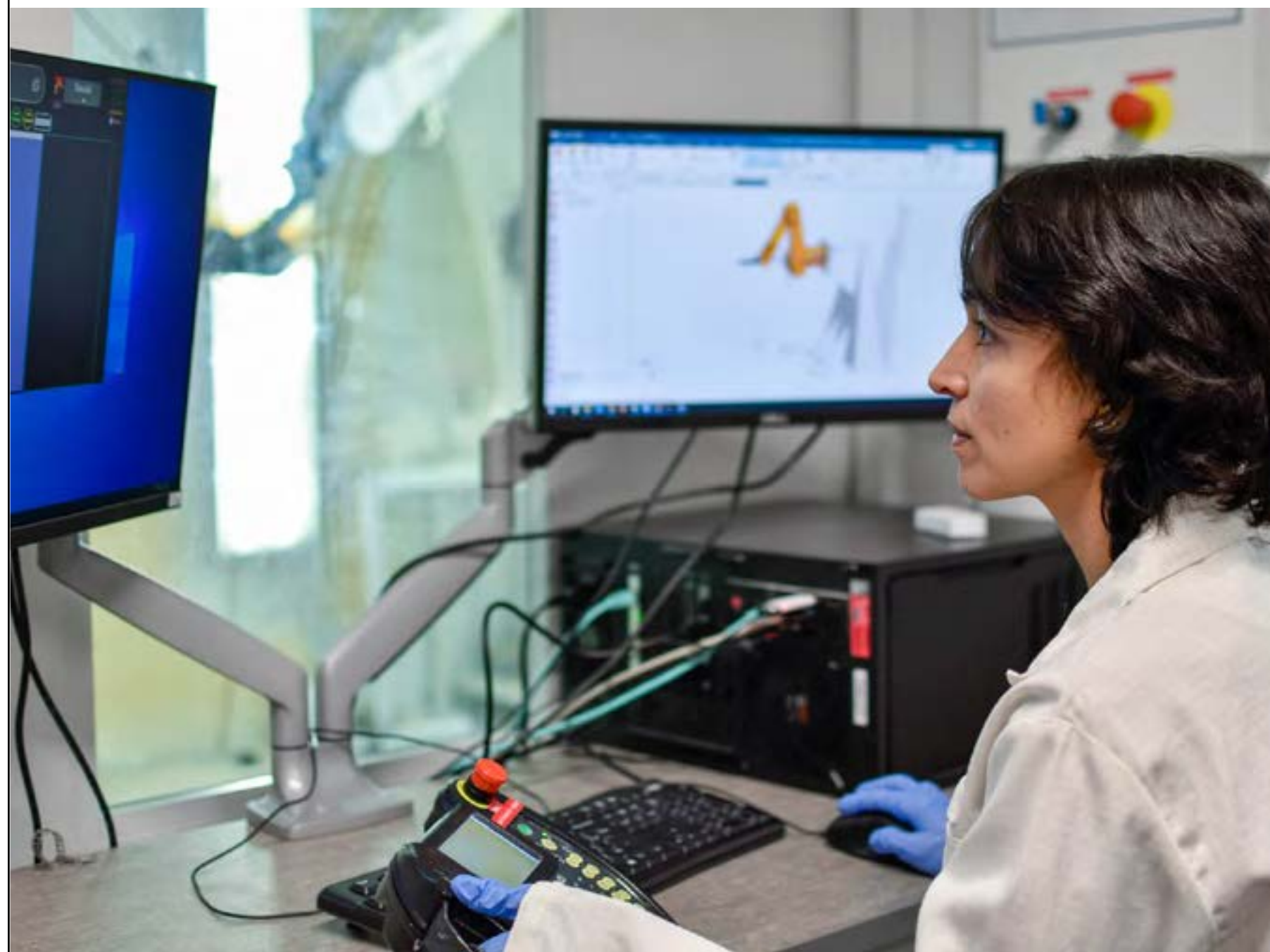
Solutions multifonctionnelles & composites « plus verts »

Procédés disruptifs & matériaux pour les transports du futur



Composites-à-la-demande (avec prise en compte de la réduction des coûts et des cycles)

surfaces & assemblages.



De nos jours, la réduction des coûts de fabrication et de maintenance, ainsi que l'adaptation aux nouvelles législations, notamment environnementales, sont au cœur des préoccupations industrielles. Ces défis placent les technologies de surface et d'assemblage au cœur des développements R&T, car elles interviennent à plusieurs niveaux du processus de fabrication des produits aéronautiques et spatiaux, et ont donc un impact significatif sur le coût total des équipements et des systèmes.

Notre centre de compétences «Surfaces et assemblages» conçoit, développe et opère jusqu'à une échelle semi-industrielle pour mettre en œuvre de nouveaux procédés innovants d'application de revêtements et d'assemblages. La compréhension de l'impact des paramètres de ces procédés est facilitée par l'utilisation d'outils de modélisation : les technologies que nous développons sont ainsi transférables et adaptables aux besoins spécifiques des industries. Les applications visées sont principalement les pièces et sous-ensembles structurels des systèmes aéronautiques, ainsi que les lanceurs et satellites.

Fin du projet ELIPSE

Le 24 mars 2022, la réunion de clôture du projet ELIPSE (ELECTRICAL Direct Printing for wires & Sensors) a eu lieu. Ce projet avait pour but de développer des couples matériaux et procédés capables de répondre aux enjeux d'impression de pistes (transferts de faible à moyenne puissances, transfert de données), de fonctions électriques (capteurs, antennes, etc.) directement sur des pièces 3D non développables.

Ce projet de 3 ans a permis le développement d'un diélectrique déposable par pulvérisation ainsi que de nouvelles technologies de projection d'encre conductrices. Plusieurs démonstrateurs ont été réalisés à la clôture du projet. En partenariat avec Radiall, partenaire du projet, des solutions de reprise de signaux ont également été développées.

Les membres du projet étaient Airbus, Airbus Atlantic, LATÉCOÈRE, Safran Electrical & Power et Radiall.

Optimisation et démontabilité des surfaces collées

L'optimisation des préparations de surface et démontabilité sont les fers de lance de nos activités sur ces compétences. Les briques technologiques développées dans le cadre du projet COBRA portent sur les traitements de surface à voie sèche multi-matériaux.

Elles répondent à des problématiques industrielles bien identifiées et génèrent des valeurs ajoutées significatives, telles que la robustesse de la gamme de fabrication d'assemblages collés et l'amélioration notable de l'analyse de cycle de vie, grâce à l'élimination des bains de traitements chimiques.

Le projet CODEX, dans le même prolongement, offre des livrables qui abordent la nécessité de démonter des systèmes collés, ouvrant ainsi des perspectives d'éco-circularité en proposant des méthodologies spécifiques adaptées aux différents cas d'usage.

Domaines R&T

- Revêtements «plus verts» et/ou multifonctionnels
- Formulation et application automatisée de peintures et d'encre multifonctionnelles
- Assemblages innovants

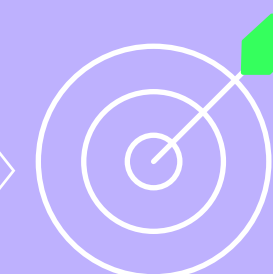
Maitrise des procédés d'assemblage & d'application de revêtements

Robustesse des procédés et des revêtements

Fonctionnalisation

Solutions multifonctionnelles, durables & maintenables

Nouvelles technologies, revêtements & assemblages pour les transports du futur



Revêtements et assemblages sur demande (robustesse & fiabilité)

matériaux métalliques & procédés.



Domaines R&T

Procédés de transformation à chaud des alliages métalliques (procédés spéciaux)

Métallurgie physique

Durabilité des matériaux & des structures, vieillissement

Modélisation du comportement thermomécanique des matériaux et des structures et simulation des procédés

Les activités du centre de compétences « Matériaux métalliques et procédés » s'articulent autour du développement et de la qualification des matériaux et procédés destinés à la fabrication de structures et de systèmes critiques d'avions, de satellites, de lanceurs et de turbomachines. Il regroupe des compétences scientifiques et technologiques pluridisciplinaires et complémentaires, permettant de transférer plus rapidement les résultats des projets de recherche vers l'industrie.

L'éventail des compétences comprend des experts en métallurgie physique, en simulation de procédés, en

modélisation thermomécanique, en procédés spéciaux et en caractérisations physico-chimiques. La stratégie de recherche est axée sur l'écoconception, la sobriété et la durabilité des matériaux, des structures et des systèmes métalliques.

Le développement de matériaux sur mesure présentant des propriétés spécifiques comme les matériaux architecturés ou les matériaux à gradient fonctionnel sont au cœur de cette stratégie, de même que l'utilisation élargie d'alliages issus de la filière recyclage ou le déploiement de procédés de réparation pour des composants à haute valeur ajoutée.

Structures lattices et parois minces en fabrication additive métallique: de l'optimisation du procédé à la conception et la fabrication de démonstrateurs

Le projet WALLSAPP (2021-2024) développe des méthodologies et des outils numériques pour concevoir, fabriquer, caractériser des structures minces sur la base du procédé LBM (LaserBeamMelting). Ils sont développés en partenariat avec l'Institut Clément Ader, et éprouvés autour de quatre démonstrateurs pour des applications aéronautiques et spatiales (produits Thales Alenia Space, Liebherr, Lisi Aerospace Additive Manufacturing, Airbus, Capgemini). En 2022, une première version de ces démonstrateurs a été conçue et fabriquée. Les tests en conditions représentatives (vibration, crash, pression statique) seront menés en 2023.

Fabrication d'une ferrure de rechange destinée au super-transporteur Beluga d'Airbus

La sécurisation de l'approvisionnement en matière première et les enjeux de souveraineté sont au cœur des thématiques de réparation et de fourniture de pièces de rechange d'aérostructures.

Dans ce contexte, l'IRT Saint Exupéry a mis au point un nouveau démonstrateur TRL 4 d'une ferrure de rechange en acier inoxydable destinée au super-transporteur Beluga d'Airbus grâce au procédé LMD-poudre (Laser Metal Deposition).

Cette alternative à l'usinage de masse permet de pallier aux cycles longs d'approvisionnement de demi-produits, et de réduire d'un facteur 5 la quantité de matière première consommée. In fine, la phase d'usinage finale est réduite de 40% permettant des économies substantielles d'énergie et de consommables (outils coupants).

Cet exemple tire bénéfice de nombreux développements menés des cinq dernières années à l'IRT en matière de procédé LMD, métallurgie physique et mécanique.

en savoir plus

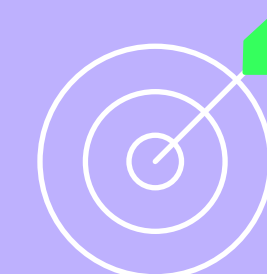
Développement de procédés de transformation à chaud

Hybridation des procédés

Conception & matériaux innovants

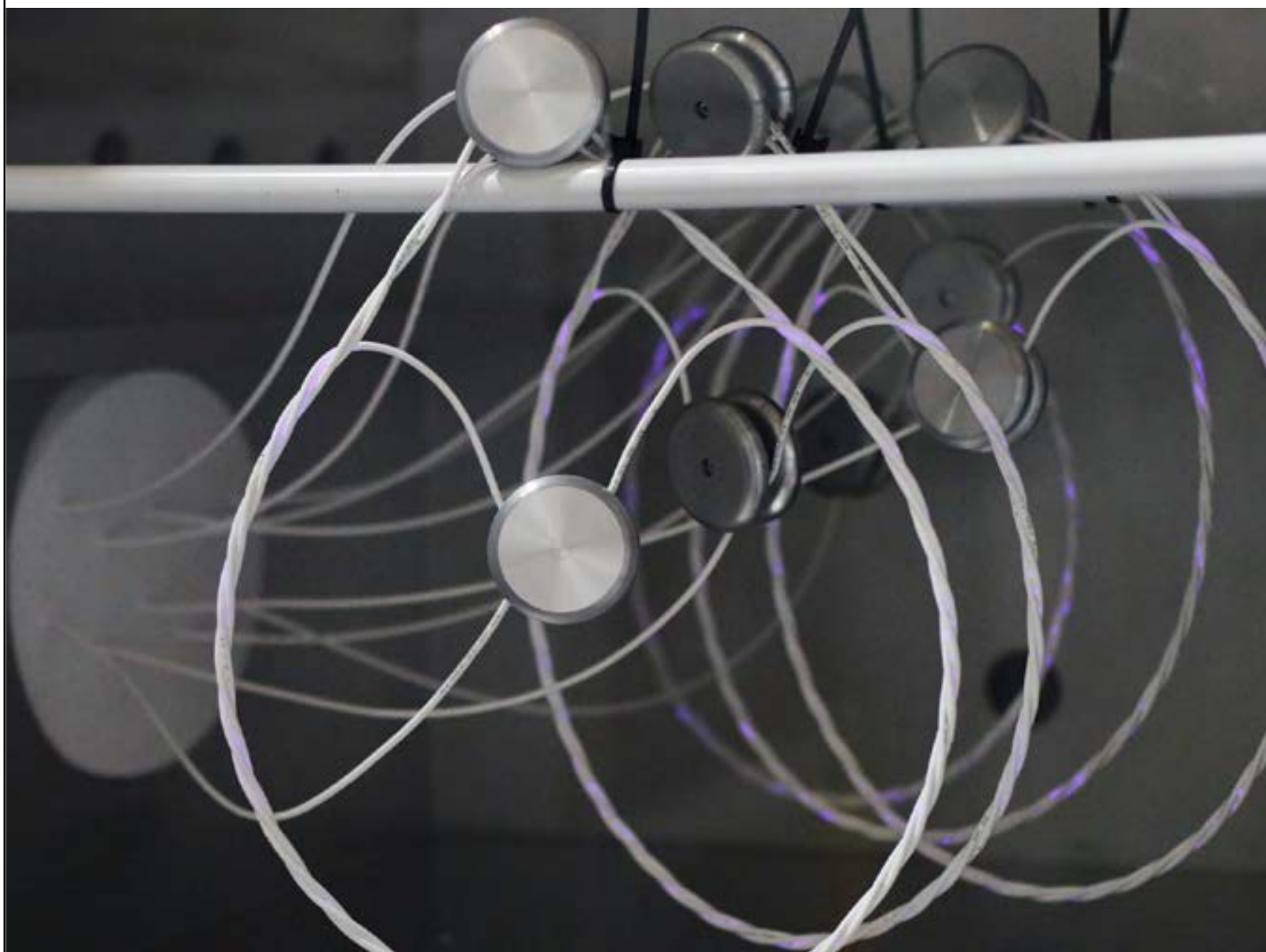
Structures mécaniques « intelligentes »

Matériaux & structures du futur



Écoconception, sobriété, durabilité, réduction des coûts et des cycles

énergie haute tension.



Domaines R&T

Évaluation de l'impact de la tension sur les composants

Contrôle de l'impact de la tension

Réduction de l'impact de l'électrification sur le poids

Notre centre de compétences «énergie haute tension» répond au défi de la réduction de l'empreinte environnementale des transports grâce à des solutions d'électrification. Il adresse la nécessité croissante de systèmes électriques pour lesquels l'énergie propulsive et non propulsive entraîne une augmentation significative du besoin en puissance électrique, et donc du niveau de tension. De plus, la densification est essentielle pour réduire drastiquement le poids et le volume des équipements et systèmes électriques. Alors que la distribution terrestre de l'électricité supporte déjà des tensions beaucoup plus élevées, les contraintes de poids et de volume des applications embarquées changent radicalement le problème : les contraintes telles que les champs électriques augmentent considérablement en raison de la faible distance. Ces contraintes électriques, combinées aux environnements sévères de l'aéronautique et de l'espace, aggravent les phénomènes nuisibles à l'intégrité des systèmes électriques tels que les décharges partielles ou les arcs électriques.

Nous caractérisons et modélisons donc ces phénomènes physiques (décharges partielles, décharges de surface, charges spatiales, arcs électriques, vieillissement électrique des isolants) et étudions également l'utilisation de matériaux diélectriques innovants adaptés (polymères, composites à matrice polymère, etc.).

Nous concentrons également nos efforts sur l'étude des courants électriques dans le cadre du besoin accru d'augmentation de la puissance. Pour minimiser le poids des composants électriques embarqués, nos équipes focalisent leur recherche sur les conducteurs électriques innovants.

Lancement du projet HIGHVOLT 2

Le projet HIGHVOLT 2 a été lancé cette année avec pour objectif d'accompagner la montée en tension dans les systèmes embarqués en étudiant les phénomènes physiques associés, leurs conséquences et les solutions envisagées pour y remédier. Le budget alloué à ce projet est de plus de 8 millions d'euros, avec une douzaine de collaborateurs, y compris des personnels mis à disposition venant d'Airbus, Alstom, Axon' Cable, Emotors, Exxelia, ITP Interpipe, Leroy Somer, Liebherr, Safran, SEG Diélectriques et Radiall en collaboration étroite avec les laboratoires Laplace et IES qui sont membres du projet. Deux thèses ont également été lancées cette année pour Hugo Lagarrigue et Adrien Rubio.

Les activités de recherche sont réparties en 4 lots :

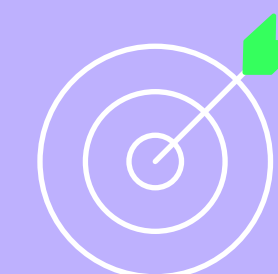
- 1- décharges partielles et surfaciques,
- 2- durée de vie fonctionnelle des systèmes d'isolation électriques,
- 3- matériaux diélectriques et SIE
- 4- arcs électriques.

Le projet s'appuie sur les acquis du projet HIGHVOLT et a permis de développer des bancs innovants pour le cyclage thermique actif et le vieillissement HVDC + T°C. Le projet se terminera fin 2025.

Modélisation (modèles de prédiction, seuil de décharge partielle, localisation et dégradation, modèle d'impédance d'arc électrique)

Vieillessement (systèmes d'isolation électrique, accélération du vieillissement multi-stress), électrothermie

Health Monitoring (prédictif, marqueurs de vieillissement, défauts mous, détection d'arc robuste)



Montée en tension

énergie haute densité & fiabilité.



Compréhension de la physique de dégradation des semiconducteur grand-gap (WBG), des méthodologies de caractérisation précises et des outils CEM expérimentaux améliorés pour des conceptions et topologies plus performantes.

Méthodologies d'analyses semi-automatisées (p.e. FRAME) pour l'évaluation des risques des technologies émergentes.

Études des performances haute fréquence des composants électroniques et des moteurs électriques, et investigation de l'immunité aux radiations naturelles (Neutrons, ion lourds, etc.).

Étude de la fiabilité des sources d'énergie et solutions avancées pour la gestion thermique améliorée des charges utiles.

Caractérisation magnétique de matériaux pour les machines et pour les transformateurs électriques, et optimisation du contrôle-commande pour la conversion d'énergie.

Domaines R&T

Notre compétence «Energie haute densité et fiabilité» répond aux défis de l'électrification des transports, en particulier l'augmentation de la performance énergétique (rendement et densité) et de la sûreté de fonctionnement (fiabilité et disponibilité) en mettant l'accent sur l'électronique de puissance. Nous nous concentrons sur la compréhension et la modélisation du fonctionnement électrique et thermique, de la physique de défaillance (PoF) et de la physique des pannes.

Les composants sur étagère COTS basés sur des technologies émergentes telles que les semi-conducteurs à grand gap (ou WBG) occupent une place centrale dans la transition énergétique. Les composants SiC et GaN, en particulier, permettent une miniaturisation et un rendement accru dans les fonctions de conversion d'énergie.

Notre équipe propose une approche originale pour l'optimisation multidisciplinaire (MDO) et la validation expérimentale des convertisseurs de puissance en SiC et/ou GaN, en prenant en compte l'optimum global de l'ensemble de la chaîne de puissance (optimisation et validation in-système). Nous combinons notre expertise et nos ressources internes en électronique de puissance et fiabilité avec celles des meilleurs laboratoires français et internationaux pour répondre aux besoins industriels de nos membres. Les solutions que nous proposons sont adaptées aux conditions réelles d'utilisation des applications visées.

Deux partenariats signés avec STM Toulouse et l'ICAM

L'année 2022 a été marquée par la signature de deux partenariats majeurs avec STM Toulouse et l'ICAM :

La division «Industrial Power Electronics» Europe, Middle East et Africa (EMEA) de ST Microelectronics a signé un contrat bilatéral avec l'IRT. Ce contrat prévoit de multiples prestations de caractérisation et d'expertise, ainsi que l'hébergement du personnel de STM.

Le partenariat avec l'ICAM a, quant à lui, pour ambition de renforcer la collaboration avec l'équipe de J.P. Fradin, expert au niveau national sur la thermique appliquée à l'électronique. Les principaux objectifs sont le soutien dans le cadre des projets existants et la définition d'une feuille de route commune visant les défis de l'axe Technologies Plus Vertes.

Prix de thèse Ampère-SEE 2022 pour Catherine NGOM

Après avoir remporté les Prix du Meilleur Article de la Conférence et de la Meilleure Présentation Orale Etudiante à la Conférence RADECS 2020 et soutenue sa thèse, Catherine Ngom, a reçu le prix de thèse Ampère-SEE 2022 lors de la soirée des grands prix SEE 2022. Sa thèse porte sur développement d'une méthodologie par rayons X et laser impulsif pour l'évaluation des effets des radiations sur les composants semi-conducteurs avancés et a été réalisée à l'IES de Montpellier et l'IRT Saint Exupéry. Une belle récompense qui témoigne une fois de plus de la qualité des travaux de Catherine.

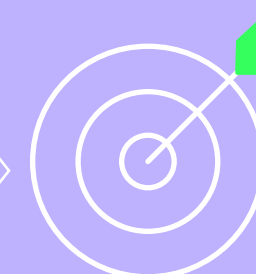
en savoir plus

Caractérisation et modélisation adaptée aux technologies émergentes (p.e. SiC (Carbure de silicium) ou GaN (Nitrure de Gallium))

Investigation et compréhension de la physique de fonctionnement (topologies, commande, etc.)

Investigation et compréhension de la physique de dégradation (de la puce au système)

Développement des briques technologique et méthodologiques pour la densification et sûreté de fonction de conversion d'énergie



«In-System-Optimisation» et validation de performances (densité et rendement) et de la sûreté de fonctionnement (fiabilité et disponibilité)

connectivité & capteurs intelligents.



Domaines R&T

Communications numériques & analogiques
Systèmes & réseaux
Détection à distance

Pour relever le défi d'un accès global et ubiquitaire aux services de données numériques, le centre de compétences « Connectivité et capteurs intelligents » contribue au développement des technologies de communication/téledétection utilisant le satellite ou des relais aéroportés. Les applications de la téledétection concernent la surveillance de l'environnement par l'entremise de capteurs intelligents embarqués ou au sol, utilisant des ressources d'IA proches du capteur, la navigation autonome des satellites et le contrôle d'intégrité d'infrastructures. Les travaux sur la connectivité trouvent leur fondement dans l'essor de la 5G/6G, porté par les groupes de standardisation du 3GPP qui intègrent désormais le satellite comme vecteur de diffusion de l'information et des données vers l'utilisateur final. Cette tendance constitue un changement de paradigme qui replace l'espace au centre des réseaux de communication, mouvement renforcé par le développement des constellations de satellites.

Notre activité dédiée à l'origine à l'optimisation des liaisons par satellite large bande, a évolué depuis 2018 pour se concentrer vers les réseaux de communication ou de capteurs. Nous aidons en particulier nos partenaires à intégrer les technologies numériques au cœur des réseaux dans leurs futures solutions de connectivité. Parmi ces technologies on peut citer en particulier, la virtualisation des fonctions réseaux (NFV), la programmation de réseau (SDN) et l'orchestration de services.

Avec la mise en place de programmes emblématiques, cette activité est amenée à se développer notamment par l'introduction de la cyber sécurité et de l'IA en

vue de rendre les réseaux autonomes et sûrs, et préparer l'avènement de la 6G.

Enfin nous prévoyons d'intensifier notre présence au sein de comités de standardisation dans les deux domaines connectivité et capteurs avec une participation au 3GPP en 2023, et dans le domaine des réseaux photoniques pour l'aéronautique.

Projet Apiss : Standardisation des réseaux de capteurs photoniques embarqués

Après une phase de montage qui a duré près d'un an, l'IRT Saint Exupéry a démarré en Juin les travaux du projet APISS qui vise à standardiser les réseaux de capteurs photoniques embarqués pour la surveillance des plateformes avioniques du futur. Ce projet regroupe AIRBUS, des équipementiers comme COLLINS et SAFRAN, ainsi que des fournisseurs de technologies (SENTEA, CAILABS). Outre sa dimension normalisation dont l'objectif est de se libérer d'une dépendance trop importante vis à vis de solutions privées, ce projet va explorer l'apport de nouvelles technologies de multiplexage en mode en vue d'augmenter la capacité et la versatilité des réseaux à base de technologie photonique.

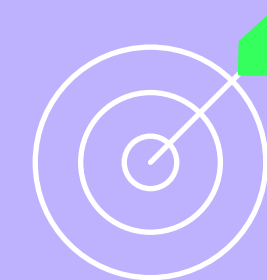
Comme dans le cas du NTN LAB, l'IRT Saint Exupéry démontre une fois de plus son engagement à devenir acteur dans les processus de standardisation.

Communication/satellite large bande : optimisation capacité, gestion des interférences
Surveillance de l'environnement : IA embarquée et temps réel pour le traitement d'image, détection de nébulosité

5G NTN Backhauling par satellite, virtualisation réseau, slicing

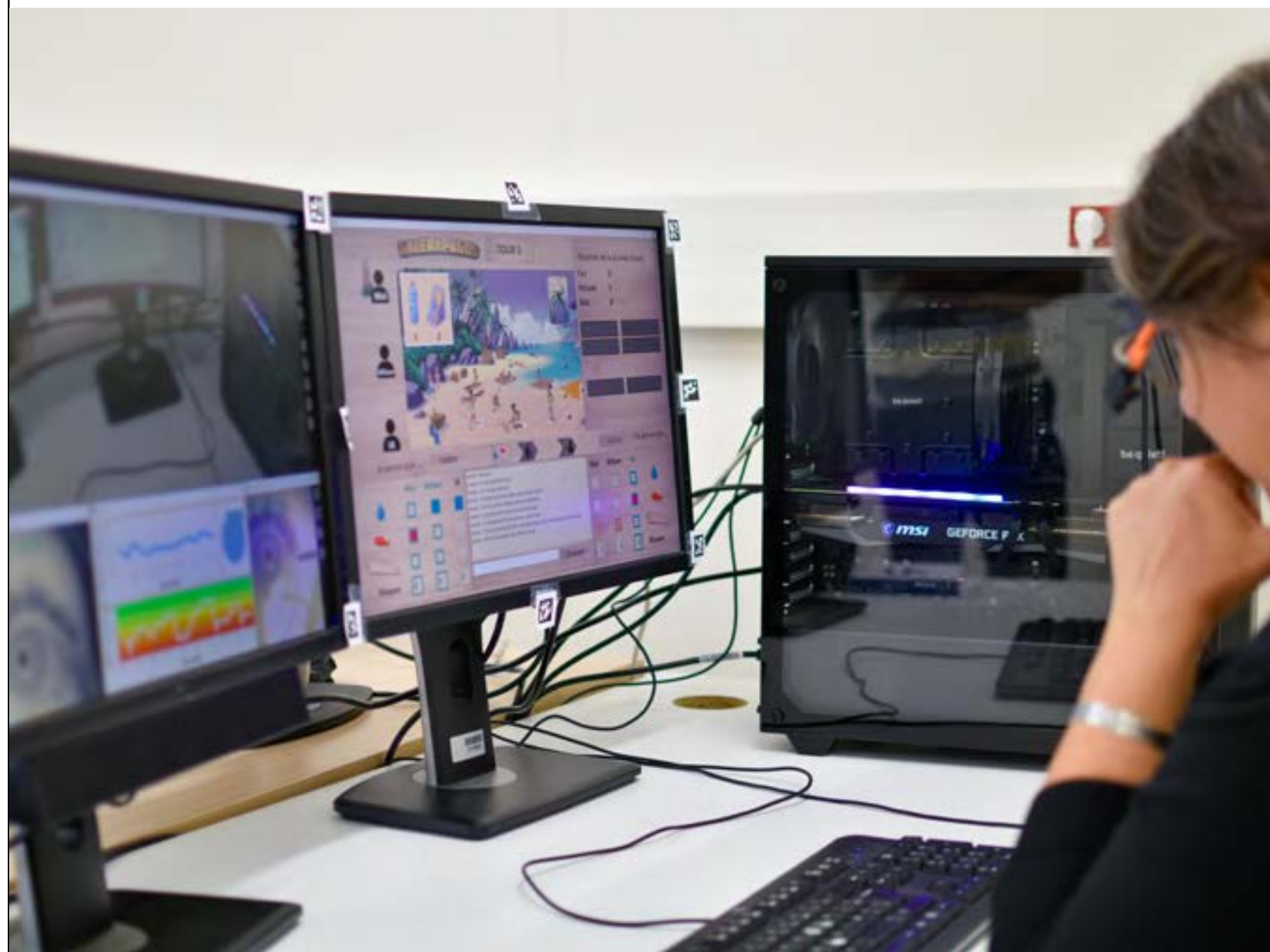
Surveillance de l'environnement : détection de gaz

5G NTN accès direct par satellite : multi-connectivité, sécurité réseau
Surveillance système embarqué : réseau photonique multi-capteurs



5G avancée/ 6G : fusion satellite/réseaux
Surveillance de l'espace : guidage autonome et fusion multisenseurs

technologies d'apprentissage avancées.



Domaines R&T

Deep Learning Avancé : méthodes non-supervisées, méthodes génératives, Large Language Models

Cycle de vie de l'IA : techniques d'apprentissage fédéré et apprentissage continu.

IA pour la planification et la décision : Apprentissage par renforcement, optimisation, recherche opérationnelle

Interactions homme-machine : IA et science cognitives

Dans un monde numérique en pleine évolution, porté par les données et le machine learning, notre centre de compétences « Technologies d'apprentissage avancées » répond au défi de l'utilisation de l'intelligence artificielle pour résoudre des problèmes industriels complexes. Il accompagne le besoin en algorithmes et architectures d'IA innovants et adaptés en tenant compte des verrous opérationnels pour déployer ces techniques.

Face à l'incertitude du marché et à l'agilité des grands opérateurs du numérique, de nombreux industriels sont contraints de contourner leurs schémas traditionnels et d'investir dans des technologies moins matures pour rester compétitifs. Au sein de l'IRT Saint Exupéry, nous communalisons les investissements en IA et capitalisons sur la R&T dans un secteur concurrentiel en pleine restructuration.

Conscients de la nécessité de fournir une IA fiable et explicable, nous nous attaquons à des problèmes tels que la frugalité des données, l'embarcabilité de l'IA, les interactions homme-machine et la prise de décision.

Né dans le contexte des applications spatiales, notre centre de compétences élargit aujourd'hui ses secteurs d'applications pour englober l'industrie aérospatiale et des transports, mais également de la santé.

L'IA au service des patients atteints d'un glioblastome

En collaboration avec les équipes de l'Oncopole nous menons des travaux dont l'objectif est de développer un modèle de prédiction afin d'évaluer l'efficacité d'un traitement chez les patients atteints de glioblastome (forme de cancer du cerveau très agressive). Le traitement par combinaison de radiothérapie et immunothérapie est une option prometteuse, mais il est difficile de prédire à quel point l'approche portera ses fruits en fonction des patients.

Plus de 100 patients sont actuellement traités dans le cadre d'une étude clinique nationale, ce qui nous permet d'avoir accès à une base de données (imagerie, génétique et biologie) très riche. Nous avons développé des algorithmes d'apprentissage multi-modaux basés sur des réseaux de neurones multi-têtes intégrant un mécanisme d'attention croisée. Ils ont aidé à identifier des souches très agressives de cellules cancéreuses de glioblastome. De plus en combinant des images de microscope de cerveaux de souris envahis et des séquences d'ARN, nous avons pu identifier les gènes clés impliqués dans le glioblastome (certains déjà identifiés dans la littérature, d'autres nouveaux).

Détection de feux de forêts à bord de satellites

L'été 2022 a été le théâtre d'une combinaison d'évènements climatiques inédite en Europe de l'ouest. En France, la plus grande partie du pays a étouffé durant trois vagues de chaleur successives qui ont battu tous les records.

Déficit de précipitations et chaleur ont rendu les végétaux particulièrement inflammables. Le pays a été victime de feux exceptionnels, comme ceux survenus dans le sud de la Gironde, qui ont brûlés plus de 20.000 hectares.

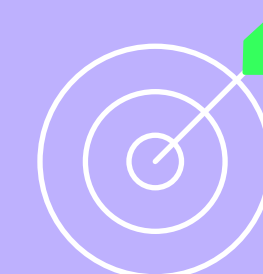
En réponse au dérèglement climatique et ses conséquences, l'IRT Saint Exupéry étudie des solutions technologiques basées sur des réseaux de neurones artificiels intégrés directement à bord des satellites pour détecter les feux de forêt et avoir des capacités d'alerte au plus tôt. Dans ce contexte, notre équipe du projet CIAR a exceptionnellement décidé de publier l'ensemble de ses jeux de données de travail, afin de les rendre disponibles à la communauté scientifique.

en savoir plus

Optimisation et Planification des missions satellites, Apprentissage non supervisé et génératif, IA embarquée

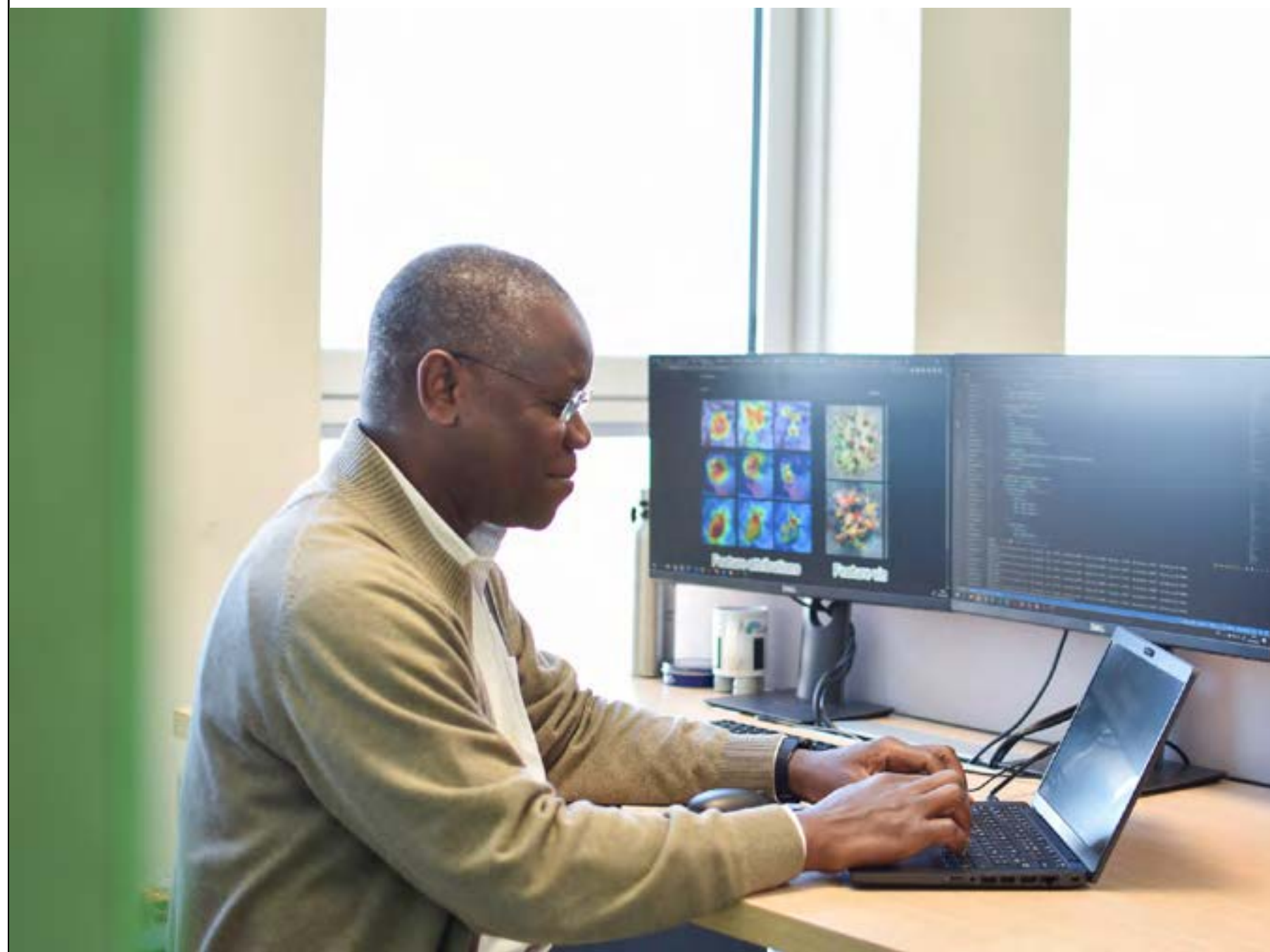
Planification multi-missions, aide à la décision Apprentissage frugal et apprentissage de representation IA embarquée

Planification réactive de constellations Allocation de ressources Apprentissage multimodal, lifelong learning, Autonomie à bord



Apprentissage collaboratif, Federated Learning, One shot learning Onboard learning

IA pour les systèmes critiques.



Domaines R&T

Élimination des biais et des informations sensibles dans les données d'apprentissage

Garanties théoriques pour la généralisation

Robustesse par la détection et l'adaptation aux données inconnues

Apprentissage par renforcement robuste

Explicabilité

Les récents progrès en Intelligence Artificielle, notamment en termes de machine learning, ont suscité un intérêt sans précédent de la part des industriels. Cependant, des obstacles scientifiques persistent encore. Le machine learning, et plus particulièrement les réseaux de neurones profonds, peuvent prétendre à des applications critiques telles que les véhicules autonomes ou le diagnostic médical, mais leurs propriétés théoriques ne sont pas encore bien connues. Il est donc difficile de répondre aux contraintes industrielles requises pour une application critique, telles que la certification, la qualification, et l'explicabilité des algorithmes.

L'objectif de notre compétence « IA pour les systèmes critiques » est de créer des connaissances autour de différents sujets :

- Les normes, les réglementations : comment déterminer de nouvelles directives de certification qui augmenteront la confiance dans les systèmes complexes et adaptatifs.
- La définition des défis algorithmiques et mathématiques de l'intégration des algorithmes d'apprentissage automatique (y compris les réseaux neuronaux) dans les systèmes critiques.
- Le développement de nouveaux algorithmes et cadres mathématiques présentant des propriétés améliorées en matière de certification et de qualification.
- Les processus de développement (modèle de conception) et de maintenance/correction incrémentale des systèmes basés sur l'IA.
- L'intégration de l'IA : quantification/réduction de la mise en œuvre des réseaux neuronaux, évaluation des performances, concernant des infrastructures/cibles matérielles spécifiques.

1^{er} papier en Machine Learning Quantique

Acceptation du premier article en Machine Learning Quantique : « Implémentation de circuits efficaces pour les marches quantiques monnayées sur l'arbre binaire et application à l'apprentissage par renforcement » qui a été présenté à l'ACM, Association for Computing Machinery / IEEE Workshop on Quantum Computing.

en savoir plus

Plusieurs bibliothèques développées pour les industriels

Six bibliothèques ont été développées par l'équipe DEEL. Elles rassemblent l'essentiel de la création de connaissance dans le domaine et permettent aux industriels d'améliorer leur confiance dans les algorithmes qu'ils développent.

XPLIQUE : Explicabilité des réseaux de Neurones. Et métriques associées

DEEL-LIP : implémentation de réseaux Lipchitz ayant des propriétés de robustesse démontrées.

INFLUENCIAE: Une bibliothèque tensorflow pour le calcul des fonctions d'influence.

OODEEL : Détection des données hors distribution.

PUNCC : quantification d'incertitude par prédiction conforme.

FairSense : calcul des indices de sensibilité globaux dans le contexte des mesures d'équité

GITHUB du Projet DEEL : <https://github.com/deel-ai>

Machine learning et certification

Boîtes à outil Biais, Explicabilité et Robustesse
Métriques
Livre blanc Enjeux de l'IA certifiable

Environnement de qualification

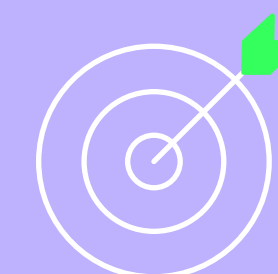
Environnement de simulation

Machine learning et certification

Garanties théoriques

Environnement de qualification

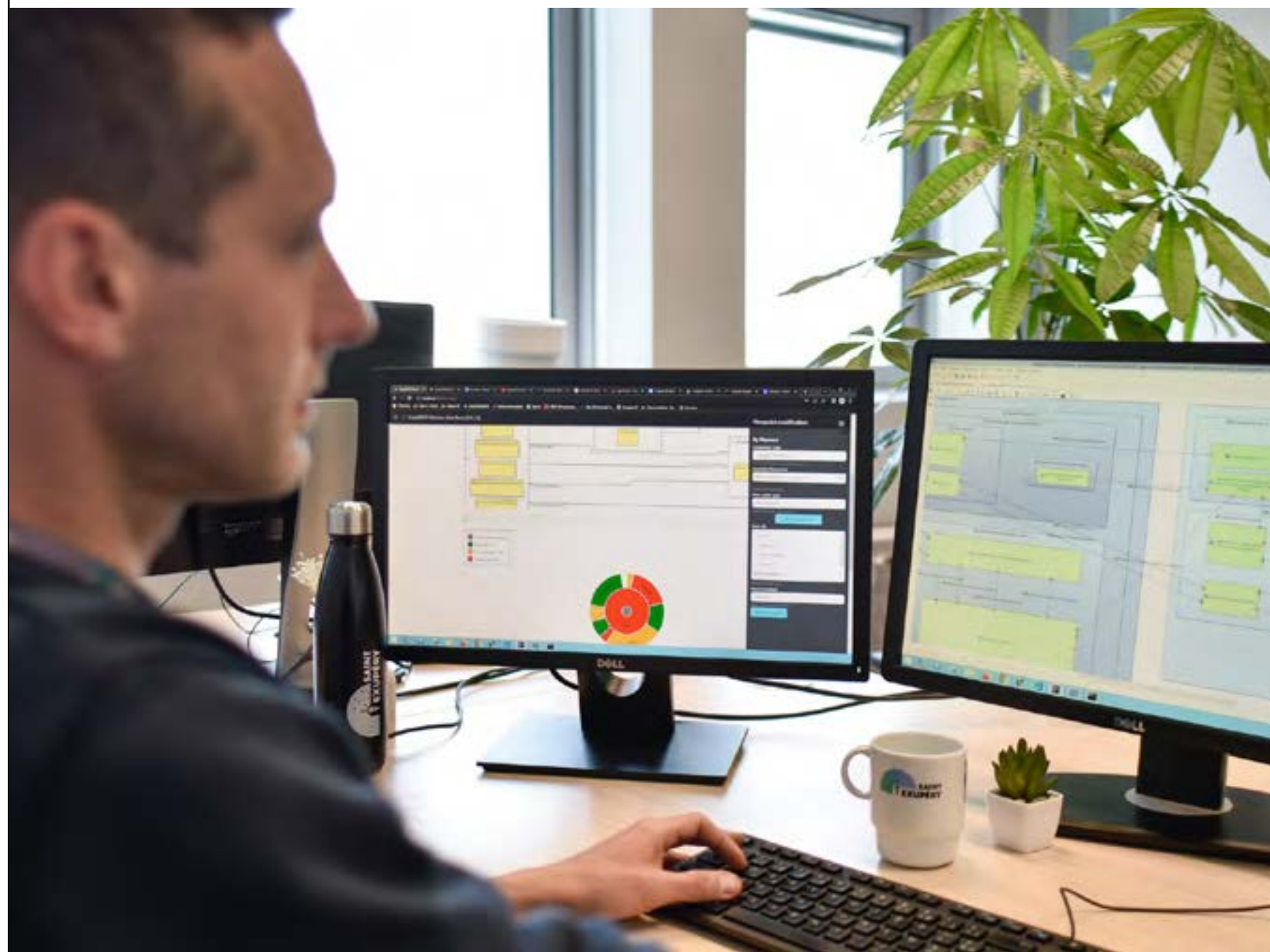
Sim to Real
Transfert learning



Machine learning et certification

Causalité
RL & automatique
Commande robuste en environnement incertain
Embarcabilité du RL

ingénierie des systèmes.



Domaines R&T

Continuité numérique
Ingénierie collaborative
Interfaces intelligentes
Ingénierie dirigée par les modèles

Notre compétence « Ingénierie des systèmes » répond aux défis de la compétitivité des industries aéronautique, spatiale et automobile en termes de réduction des coûts de développement, de fabrication et de maintenance des produits. Afin de relever ces challenges, nous devons maîtriser des technologies de plus en plus complexes qui confèrent au produit un haut niveau d'autonomie, tout en assurant sa fiabilité et sécurité de fonctionnement.

Nos recherches se concentrent sur les processus, méthodes et outils d'ingénierie qui favorisent la collaboration entre l'équipe d'ingénierie des systèmes et d'autres disciplines telles que la sûreté de fonctionnement, le logiciel, le matériel, la simulation, la vérification et la validation (V&V), et la fabrication, dans le cadre de l'entreprise étendue. Notre travail consiste à fournir aux ingénieurs systèmes de nouvelles façons de travailler grâce à l'utilisation de nouvelles technologies (par exemple l'Intelligence Artificielle, l'écran tactile) ou en contribuant à la continuité numérique globale.

Cependant, comme ces collaborations sont essentiellement basées sur l'humain, l'analyse du comportement lors de ces interactions est obligatoire pour leur amélioration. La spécificité et la différenciation du centre de compétences concernent deux points: l'intégration de la pluridisciplinarité du métier et de l'organisation en entreprise étendue, et la compatibilité avec les aspects réglementaires en vigueur, comme la certification. L'objectif est également de développer les compétences des industriels dans le domaine de l'ingénierie des systèmes basée sur le modèle (MBSE – model based system engineering).

MBSE 2022

Participation à la conférence MBSE2022 organisée par l'ESA, Airbus et le CNES qui a eu lieu du 23 au 25 novembre à Airbus Leadership University (Toulouse). Un très bel évènement de 300 participants de 28 pays réunis autour de cette thématique.

Les équipes des projets TeePee4Space et EasyMOD ont présenté en collaboration avec l'ESA les résultats des projets ainsi que la thèse S2C sur l'utilisation des modèles de conception pour améliorer la maintenabilité des systèmes.

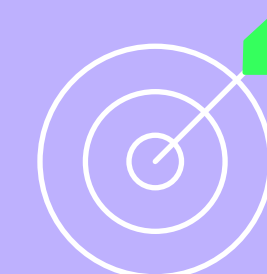
De nombreuses discussions avec des partenaires potentiels pour de futurs projets ont également eu lieu vu le positionnement avancé de l'IRT Saint Exupéry sur l'échange de modèles en Entreprise Etendue (exploitation et supply chain).

IMBSA 2022

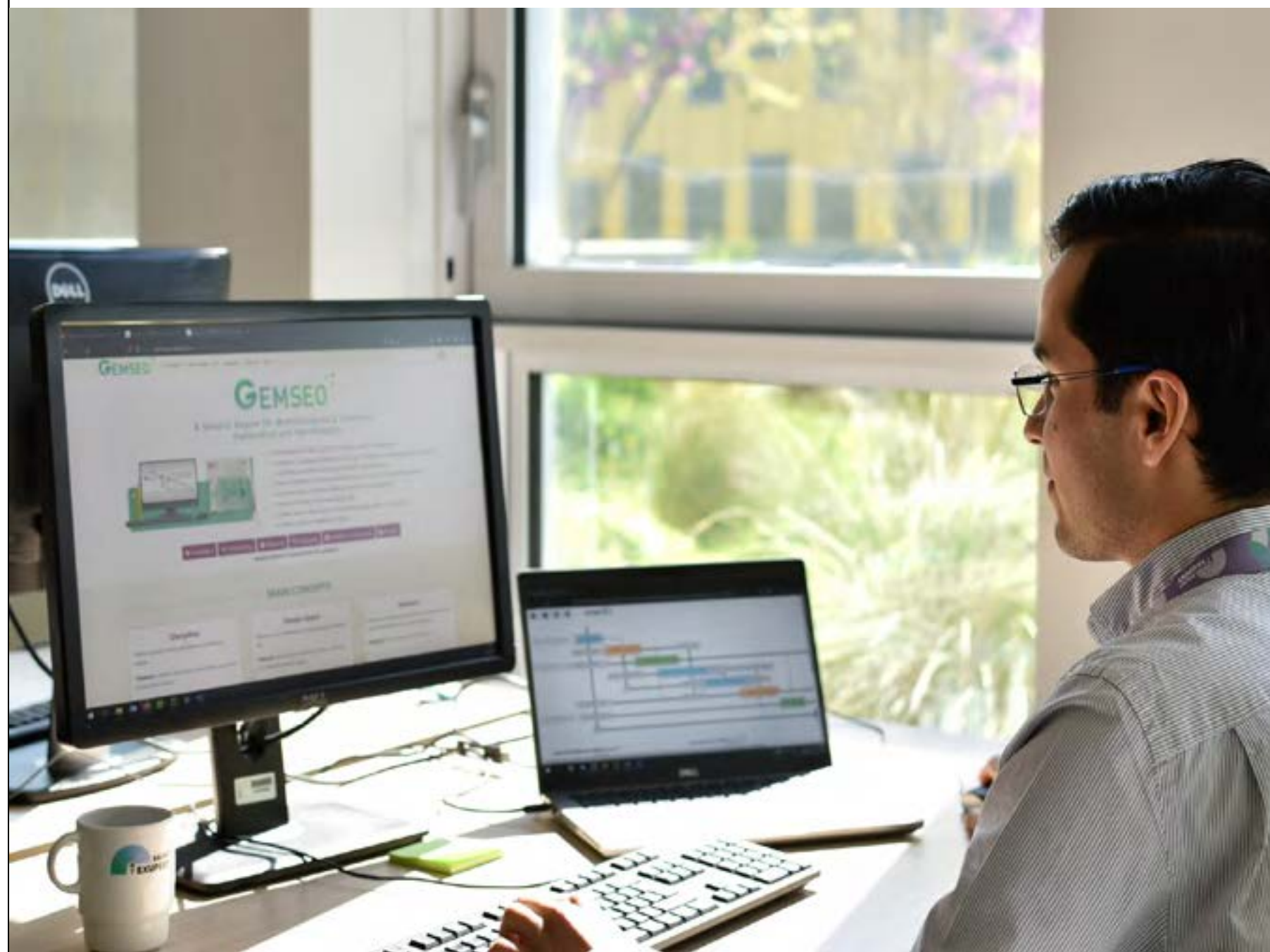
Participation à la 8^e conférence International Symposium on Model-Based Safety Assessment (IMBSA), du 5 au 7 septembre 2022 qui a eu lieu à Munich.

Les équipes ont présenté le papier « Strategies for modelling failure propagation in dynamics systems with AltaRica », en plus du papier du centre de compétence Systèmes Embarqués Critique « Usage des techniques de modélisation pour l'évaluation de la disponibilité de plateformes satellitaires ».

Ces sujets présentés montrent l'intérêt croissant pour cette approche pour l'appliquer aux Systèmes de Systèmes et aux systèmes critiques autonomes, intégrant de l'IA.



optimisation multidisciplinaire.



Domaines R&T

Développements méthodologiques en optimisation multidisciplinaire et quantification d'incertitudes

Développement du logiciel open source GEMSEO

Applications

L'objectif du centre de compétences « Optimisation Multidisciplinaire (MDO) » est de répondre à quatre défis industriels majeurs : raccourcir le cycle de conception et de développement, maîtriser les produits sur l'ensemble de leur cycle de vie par l'interconnexion des systèmes et la continuité numérique, assurer la flexibilité et l'adaptabilité des processus de conception nécessaires face aux évolutions du marché, et enfin, accélérer l'introduction de nouvelles technologies dans les produits. Pour cela, il est nécessaire de développer un programme ambitieux de conception et de simulation.

Nos activités sont consacrées au développement de technologies d'automatisation des processus, englobant un large éventail de disciplines et de paramètres, permettant et facilitant la reconfiguration de ces processus. Notre compétence contribue également pleinement à la continuité numérique, grâce à la mise en place méthodologique d'une passerelle entre l'ingénierie des systèmes basée sur les modèles et le domaine MDO. Enfin, nous développons des méthodologies et des outils d'optimisation multidisciplinaires robustes et efficaces, tenant compte de paramètres incertains et de leur propagation, et répondant aux besoins des applications industrielles.

Si notre champ d'application principal est celui de la conception d'avions, nos développements génériques permettent la mise en place d'applications dans d'autres domaines - spatial, automobile, ferroviaire, naval, énergie - ou même dans des domaines plus lointains tels que la santé, le climat ou les moyens de production.

ECCOMAS 2022

L'équipe MDO était présente à la conférence ECCOMAS 2022, du 5 au 9 juin 2022 à Oslo. Elle y a présenté « Extension of the GEMSEO MDO library to a MPI parallel coupled adjoint capability ». Ces travaux se sont attachés à développer de nouvelles fonctionnalités dans GEMSEO pour le calcul haute-performance (HPC), permettant de considérer des problèmes de dimensions plus importantes, mais aussi de s'interfacer de façon plus efficace avec des logiciels HPC (High Performance Computing) de partenaires. Ce travail aux résultats prometteurs a été réalisé dans le cadre du projet européen H2020 MADELEINE (2019 - 2021), et est poursuivi dans le cadre des projets européens Clean Aviation ACAP et UPWING.

Présentation de GEMSEO au Capitole du Libre

L'équipe MDO a présenté la librairie GEMSEO au Capitole du Libre 2022, événement toulousain dédié au logiciel libre à travers 100 conférences et 25 ateliers, et accueillant au total environ 1000 participants. Dans le cadre de cet événement, une présentation générale de GEMSEO ainsi que des travaux pratiques ont été réalisés. Ces derniers ont rencontré un réel succès, et ont suscité des discussions et un intérêt des participants pour GEMSEO.

[en savoir plus](#)

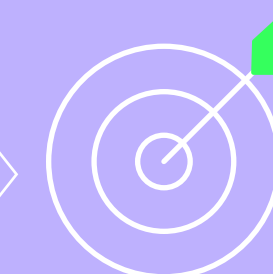
Formulations MDO & exploration automatique de l'espace de conception

GEMSEO
Open Source

Optimisation à variables mixtes discrètes - continues pour la résolution de problèmes de choix d'architecture et de prise de décision

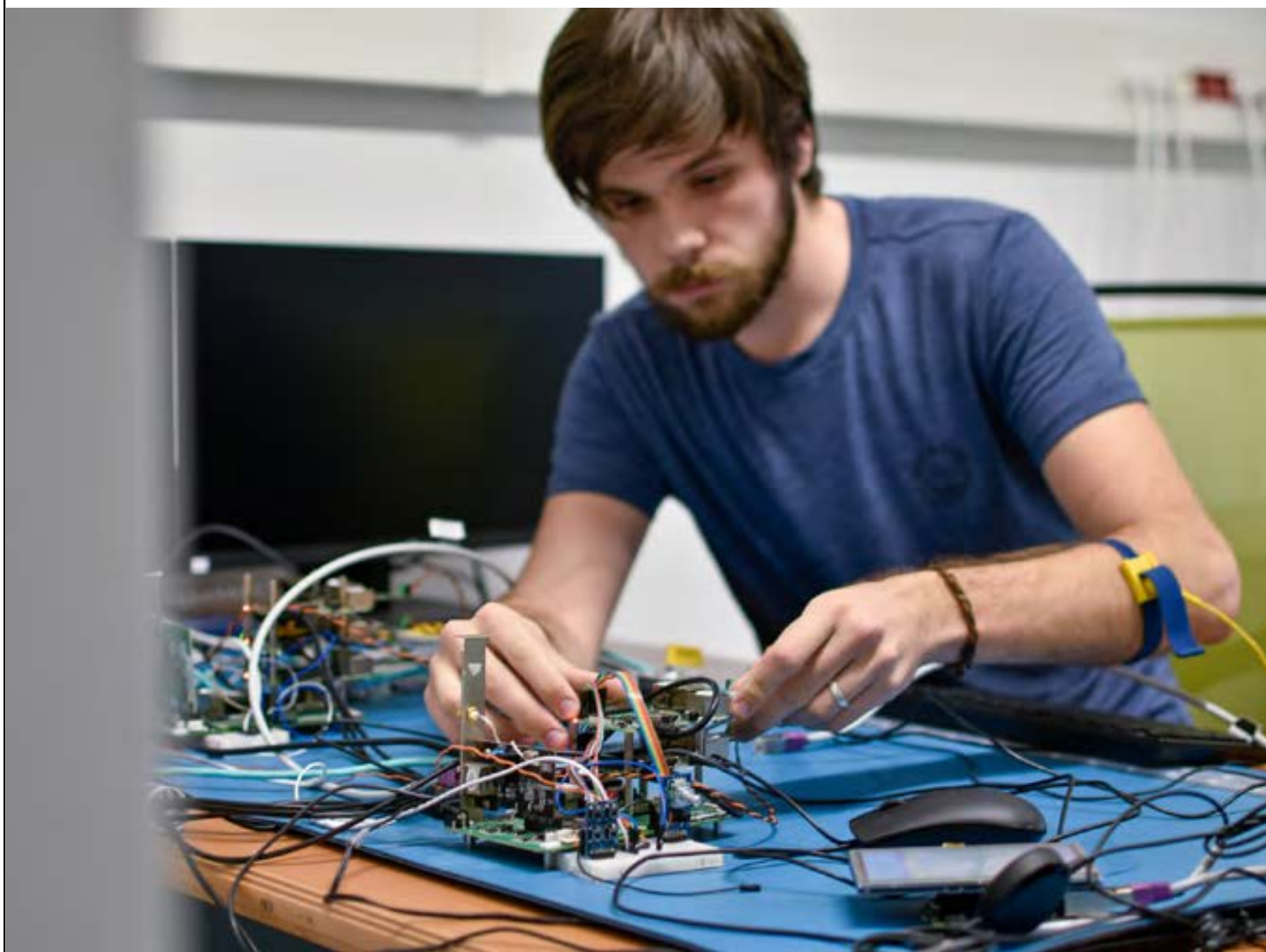
MDO
sous
incertitude

Jumeau
numérique



Continuité numérique du cycle de vie complet pour les systèmes complexes

systemes embarques critiques.



Domaines R&T

- Architectures informatiques fiables
- Calculs et communications en temps réel
- Embarquabilité et vérification des applications de machine learning
- Certification

Les systèmes embarqués mettent en œuvre des architectures de calcul et de communication complexes exploitant les dernières technologies en matière de composants électroniques, de logiciel et de moyens de communication. Exploiter ces technologies de manière efficace et sûre, c'est-à-dire en maximisant l'usage des ressources disponibles, en minimisant l'effort de développement et en assurant le niveau de sûreté requis, est un défi sans cesse renouvelé. Dans ce contexte, notre centre de compétences « Systèmes embarqués critiques » mène ses recherches selon trois axes principaux :

- le temps réel, pour garantir que les services seront délivrés dans un délai maîtrisé ;
- la co-conception matériel/logiciel, la concurrence et la distribution, pour garantir que les capacités de traitement du matériel seront exploitées efficacement ;
- la sûreté de fonctionnement, pour garantir que le système se comportera comme prévu, avec le niveau approprié de fiabilité et de disponibilité en présence de défaillances physiques ou intentionnelles.

Nous proposons notre expertise sur les différents éléments impliqués dans une architecture de calcul, incluant les unités de traitement (SoCs¹, FPGAs², GPUs³, accélérateurs de réseaux neuronaux, etc.), les systèmes d'exploitation temps réel et les hyperviseurs, les réseaux de communication et les outils et technologies utilisés pour construire un code exécutable à partir d'un modèle (un programme C, un modèle d'apprentissage automatique, etc.).

1 Systems on Chips
2 Field-programmable gate array
3 Graphics Processing Units

Installation d'un banc d'exploration et d'évaluation de structures de réseaux TSN¹ sur le site de Talence

Développé avec le support financier de la Région Aquitaine dans le cadre du projet EDEN, ce banc permet de valider la conformité d'équipements réseau au standard TSN, d'explorer différentes topologies réseau et d'en évaluer les performances. Il comporte l'ensemble des équipements nécessaires à la construction d'une architecture réseau et à la mesure de ses caractéristiques : commutateurs réseau compatibles TSN (switches), générateur d'horloge de référence, dispositif de génération de trafic, moyens de mesure des latences et gigues, etc. Cette plateforme sera utilisée pour les futurs projets TSN et pour offrir des services aux partenaires industriels.

¹ Time Sensitive Networking

Développement du banc d'évaluation d'Intelligence Artificielle embarqué « Brain »

Ce banc, conçu en collaboration avec l'IRT SystemX dans le cadre du projet Confiance.ai, permet l'évaluation de solutions de déploiement de réseaux de neurones artificiels sur des cibles matérielles embarquées. Il donne accès à un ensemble de cibles matérielles incluant microcontrôleurs et processeurs mono- et multi-cœurs, accélérateurs ML, GPU, FPGA, etc.

Le banc met à disposition des outils logiciels et des cibles matérielles pré-intégrées ainsi qu'une infrastructure d'orchestration des expérimentations qui facilitent l'exploration et l'évaluation des solutions d'implémentation et de déploiement. À terme, cette automatisation devrait être étendue à l'exploration architecturale et à la recherche de configurations logicielles et matérielles optimales pour un modèle de réseau de neurones et des objectifs de performance donnés.

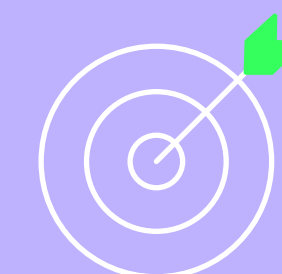
Méthodes formelles pour les systèmes critiques embarqués

Processeurs & logiciels déterministes et prévisibles

Réseaux de communication déterministes et prévisibles. IA embarquée

Systèmes distribués déterministes & prévisibles

Systèmes embarqués déterministes et prévisibles incluant des composants d'intelligence artificielle



Systèmes embarqués distribués fiables de haute performance



**nos plateformes
technologiques.**

nos plateformes technologiques.

Nos plateformes technologiques, principalement basées sur nos sites de Toulouse et Bordeaux offrent une gamme complète d'équipements différenciants et multidisciplinaires adressant nos 4 axes technologiques.

Physiques ou virtuelles, nos plateformes sont développées et utilisées dans le cadre de nos projets de recherche pour répondre aux besoins actuels et futurs des industriels et académiques. Nos équipes de recherche bénéficient donc d'un environnement complet et in-situ pour le développement de nos travaux de R&T.

Nos plateformes expérimentales

- Plateforme composites
- Plateforme matériaux métalliques
- Plateforme surfaces & assemblages
- Plateforme caractérisation, contrôle & essais
- Plateforme conducteurs & diélectriques
- Plateforme composants
- Plateforme convertisseurs & modules de puissance

Nos plateformes numériques

- Plateforme ingénierie systèmes & modélisation
- Plateforme communications



Évolution du Compacteur Isostatique à Chaud

Le Compacteur Isostatique à Chaud ($T_{max}=1400^{\circ}C$, $P_{max}=2000$ bar, refroidissement rapide URQ®) a été doté d'un analyseur de gaz, développé au sein du projet HIPPOME, permettant de quantifier des concentrations d'impuretés (oxygène, hydrogène, azote, etc.) et ainsi de maîtriser l'état de surface des pièces traitées. L'IRT Saint Exupéry est le seul institut de recherche à disposer de cette technique d'analyse directe du gaz sur ce type d'équipement.

Robot de collage 6 axes

Notre robot 6 axes permet d'adresser la montée en TRL des traitements de surface avant collage en voie sèche. Cette plateforme est instrumentée avec des dispositifs de traitement on-line via :

- Algorithmes d'analyse d'images pour la détection de défauts de traitement
- Des instruments d'analyse détectant la présence de polluants sur le substrat
- Un système innovant en cours de brevetage régulant la position de la lentille par rapport à la pièce

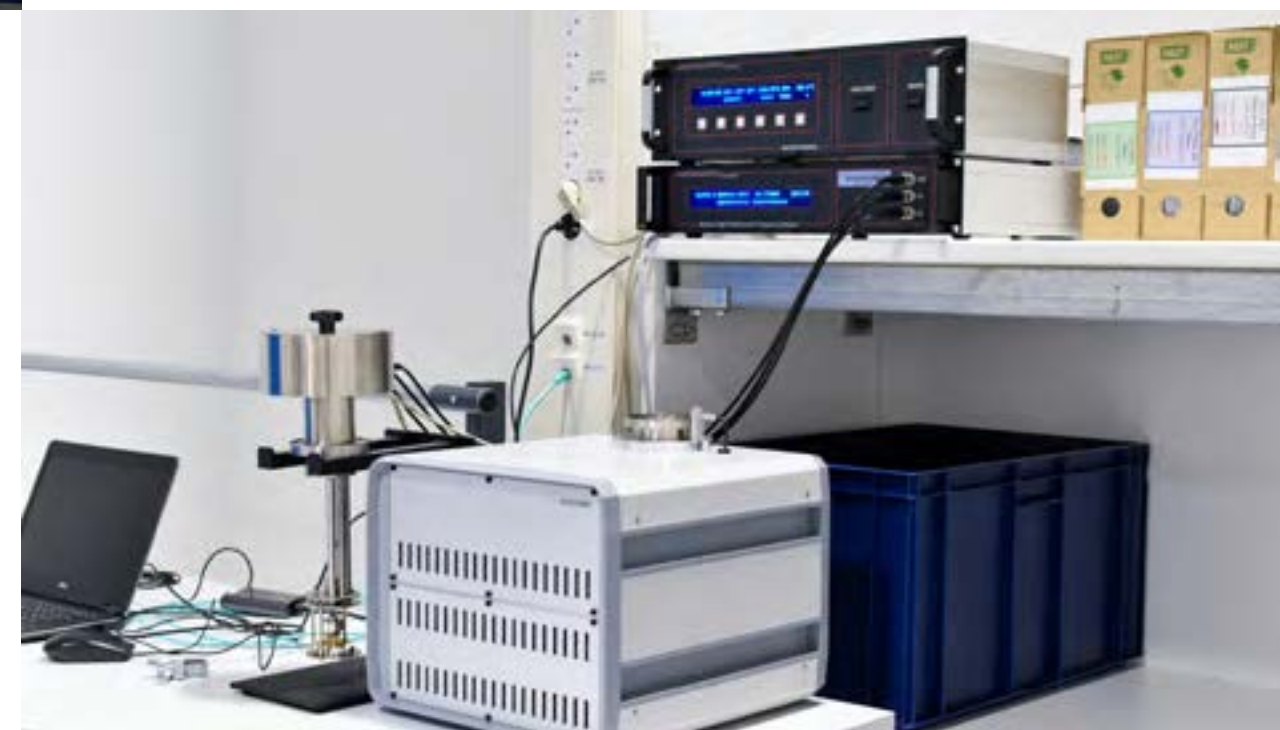


Hystérésigraphe

Notre hystérésigraphe (bande passante de 20kHz avec possibilité de générer des formes d'excitation arbitraires) sert à la mesure des pertes magnétiques des matériaux utilisés dans les machines électriques. Il permet des mesures standards sur cadre d'Epstein, des mesures de champ unidirectionnel ou des mesures 2D pour l'étude des propriétés électromagnétiques en condition de champs tournants.

Diélectrimètre Novocontrol

Notre spectromètre diélectrique à large bande permet la caractérisation diélectrique des matériaux isolants électriques en fréquence $[10^{-3} - 10^6]$ Hz et en température $[20 - 400]$ °C. Cette mesure permet notamment d'accéder à la constante diélectrique et au facteur de pertes des matériaux, dans les conditions de fonctionnement de leurs systèmes.

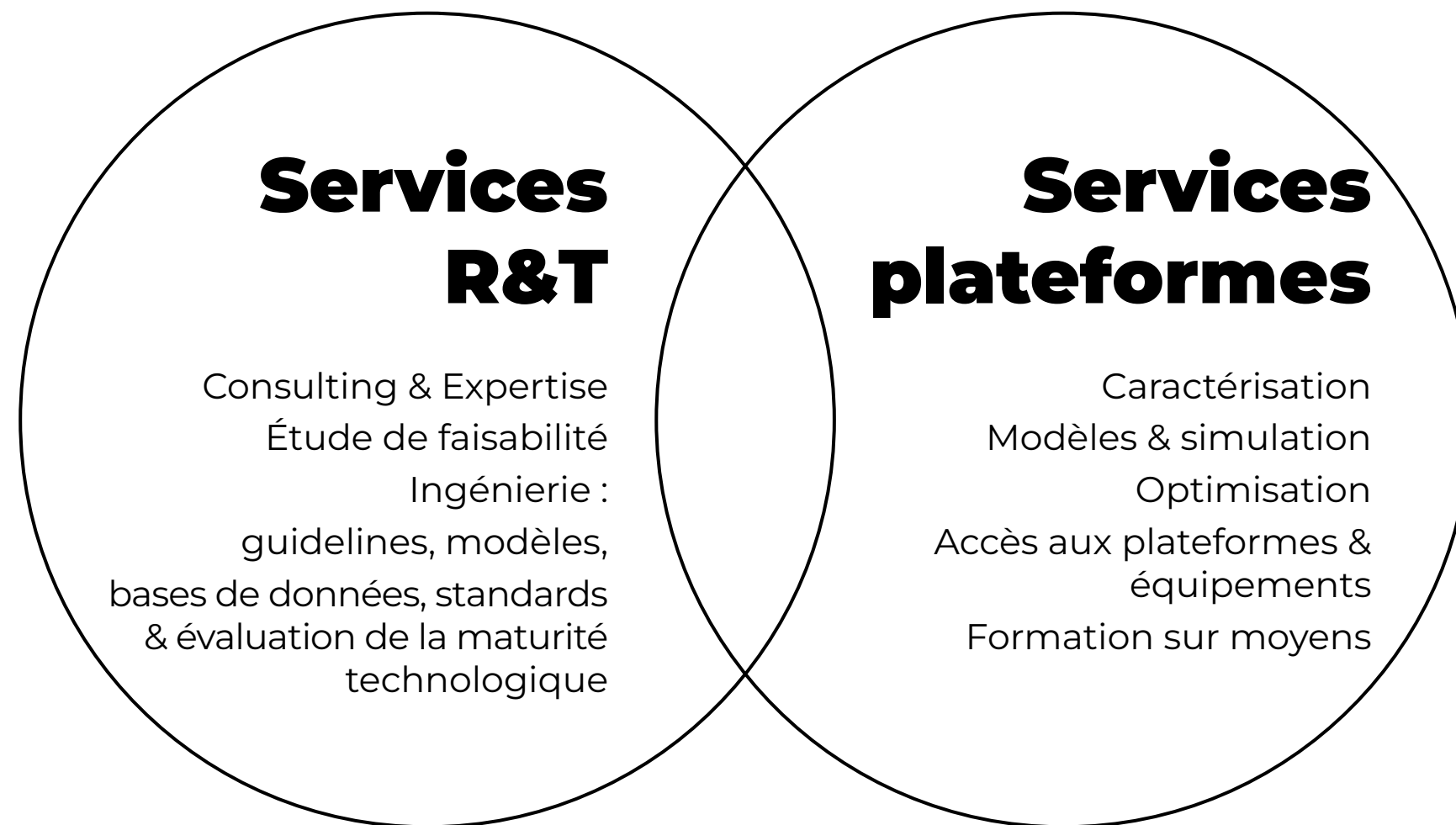


Notre offre et expertise

Nos équipements s'ouvrent également à une utilisation dans le cadre de prestations de recherche. Couplées à l'expertise de nos ingénieurs, experts et techniciens, nos plateformes permettent de répondre aux besoins de recherche et développement, mais également de formation sur des équipements de pointe.

Notre force réside dans l'environnement collaboratif intégré et la synergie du traitement des problématiques : cette multidisciplinarité nous permet de tester les procédés et technologies sur des équipements et de comprendre leurs interactions, garantissant l'optimisation des projets de nos partenaires.

Nos plateformes technologiques permettent de réaliser des travaux de recherche sur mesure, en respectant les besoins spécifiques de chacun de nos partenaires. Nous nous adaptons aux attentes de chaque client, au niveau de maturité de sa technologie mais aussi à sa taille, permettant ainsi aux start-ups, TPE et PME d'accéder à des ressources de développement uniques.



en savoir plus

visites virtuelles



Visitez nos plateformes technologiques à Toulouse



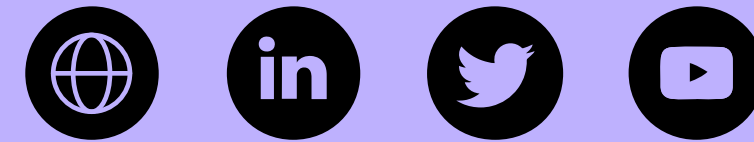
Visitez nos plateformes technologiques à Bordeaux



nos membres fondateurs.



Suivez toutes nos actualités sur notre site web et nos réseaux sociaux



Rejoignez l'aventure IRT Saint Exupéry

nos offres d'emploi



Site de Toulouse

Bâtiment B612

3 rue Tarfaya, CS 34436
31405 Toulouse cedex 4 (France)
Tél.+33 (0) 5 61 00 67 50



Site de Bordeaux

Arts et Métiers ParisTech

Campus de Bordeaux-Talence
Esplanade des Arts et Métiers
33405 Talence cedex (France)



Site de Sophia Antipolis

IRT Saint Exupery - Garden Space

Bât. B - 240 Rue Evariste Galois,
06410 Biot (France)



Site de Montréal

Institut Mila

6666 Rue Saint-Urbain,
Montréal, QC H2S 3H1 (Canada)