



Rapport
d'activité
2021

- 03 préface
- 04 édito
- 05 stratégie
- 06 chiffres clés

axes technologiques

07 technologies plus vertes

- 09 faits marquants
- 10 annuaire projets

11 technologies de fabrication avancées

- 13 faits marquants
- 14 annuaire projets

15 technologies intelligentes

- 17 faits marquants
- 18 annuaire projets

19 méthodes & outils pour le développement de systèmes complexes

- 21 faits marquants
- 22 annuaire projets

nos compétences

- 24 matériaux composites
- 25 surfaces & assemblages
- 26 matériaux métalliques
& procédés
- 27 énergie haute tension
- 28 énergie haute fiabilité
- 29 énergie haute densité
- 30 technologies
d'apprentissage avancées
- 31 IA pour les systèmes critiques
- 32 connectivité & capteurs
- 33 ingénierie des systèmes
- 34 optimisation multidisciplinaire
- 35 systèmes embarqués critiques

- 36 plateformes
- 38 membres
- 39 contact

**Claude Girard**Secrétariat Général
Pour l'Investissement

préface.

Confrontée à une pandémie et une crise économique et sociale d'une ampleur inédite, touchant aussi bien nos entreprises que nos concitoyens, la France a dû faire preuve de résilience et mobiliser ses forces vives pour contenir la crise tout en préparant l'avenir. Dans ce contexte de turbulence et d'urgence, préparer l'avenir était un exercice difficile, mais plus que jamais nécessaire, notamment pour le secteur aéronautique particulièrement touché.

Pour ce faire, la France dispose d'un atout majeur, les investissements d'avenir : les Programmes d'Investissements d'Avenir (PIA) depuis 2010, et aujourd'hui le plan France 2030. Pendant plus de dix ans, le PIA a contribué à l'émergence d'une économie plus verte, plus compétitive, plus technologique et porteuse de nouvelles solidarités. Outil exceptionnel d'investissements dans l'innovation, les PIA et France 2030 sont naturellement mobilisés pendant les crises (sanitaire et géopolitique) pour soutenir notre économie et contribuer à l'émergence de la France de demain.

C'est pendant cette période de crise sanitaire que l'IRT Saint Exupéry s'est transformé pour répondre à la fois à l'adaptation du modèle financier demandé par l'Etat d'ici 2025 et aux enjeux des secteurs aéronautique, spatial et des systèmes embarqués. Les défis de souveraineté et d'impacts environnementaux sont maintenant incontournables et l'IRT Saint Exupéry avec son écosystème s'est organisé pour y répondre. Je tiens d'ailleurs à remercier chaleureusement les membres fondateurs de leur mobilisation pendant la crise, malgré l'arrêt du trafic aérien et le ralentissement brutal de l'économie, ce qui permet aujourd'hui de placer l'IRT Saint Exupéry en capacité d'adresser les challenges de demain.

L'ensemble de ces changements, portés par l'engagement de Magali Vaissière, arrivée en 2021 en tant que Présidente, et le dynamisme insufflé par Denis Descheemaeker, Directeur Général depuis décembre 2019, se traduisent également aujourd'hui par une évolution de l'identité graphique de l'IRT Saint Exupéry – représentant symboliquement ce pont entre la recherche académique et l'industrie.

Je suis donc ravi et honoré de préfacier ce rapport d'activité qui illustre une année riche en réalisations et réaffirme ainsi le soutien indéfectible de l'Etat, piloté par le Secrétariat Général Pour l'Investissement, aux modèles des IRT et ITE, réunis dans le cadre de la FIT.

Claude GirardDirecteur du programme Valorisation de la recherche
Secrétariat général pour l'investissement

édito.

Au sein de nos filières historiques qui vivent un contexte de transformation très importante, notamment influencée par les grands objectifs environnementaux et de souveraineté au niveau national, l'année 2021 s'est inscrite comme une phase de transition pour l'IRT

Saint Exupéry. Nous avons en effet revisité notre stratégie globale, l'organisation associée autour de 4 axes technologiques soutenus par 12 compétences. Ce travail nous a amené à la redéfinition de nos feuilles de route afin de contribuer activement à l'atteinte de ces grands objectifs en collaboration avec nos membres industriels et académiques.

Dans le cadre de la FIT^[1], nous élargissons cette réflexion stratégique afin de poser une vision ambitieuse pour 2030 pour l'ensemble des IRT et ITE qui ont déjà justifié de leur forte valeur ajoutée pour la recherche technologique partenariale française.

Aujourd'hui, de par la maturité et la solidité de notre organisation renouvelée en 2021, nous souhaitons faire de l'IRT Saint Exupéry un acteur indispensable de la filière aérospatiale, en France et à l'international, grâce à nos expertises multidisciplinaires.

C'est dans cet objectif que nous avons amplifié nos activités dans le domaine spatial, au niveau national et européen. Nous avons également contribué à l'ambition de décarbonation de l'aéronautique en ligne avec la démarche structurante du CORAC^[2], mais également auprès de start-ups comme dans le cadre de l'appel à projet MAELE^[3] organisé par la Région Occitanie et le pôle de compétitivité Aerospace Valley.

Nous avons également diversifié nos activités sur de nouveaux secteurs synergiques tels que la santé avec l'IUCT-Oncopole de Toulouse grâce aux résultats très importants de nos travaux en Intelligence Artificielle.

Nous avons accompagné au plus près nos membres industriels, académiques et institutionnels des Régions Occitanie, Nouvelle-Aquitaine et Provence-Alpes-Côte d'Azur, engagés pour l'avenir des filières de l'IRT Saint Exupéry, et les remercions pour leur soutien sans faille et le renouvellement de leur confiance.

Notre ambition pour 2022 est de consolider notre transition en définissant **8 positionnements d'excellence** pour toujours mieux répondre à nos missions, à savoir, créer un lien entre la recherche publique/privée en réalisant des projets de recherche collaboratifs intégrés et promouvoir la recherche technologique française afin de développer les écosystèmes concernés.

Vous souhaitant une très bonne lecture,

Magali Vaissière, Présidente de l'IRT Saint Exupéry
Denis Descheemaeker, Directeur Général de l'IRT Saint Exupéry

[1] French Institute of Technology

[2] Conseil pour la Recherche Aéronautique Civile

[3] Mobilité AErienne Légère et Environnementalement responsable





Laurent Ferres
Responsable du site
de Bordeaux

Aude Battistella
Directrice Juridique

Didier Rigal
Directeur Business
Development & Plateformes

Lionel Bourgeois
Directeur Technologies
Plus Vertes

Denis Descheemaeker
Directeur Général

Emilie Herny
Directrice Technologies
de Fabrication Avancées

Florence Hubert
Directrice des Ressources
Humaines, Communication,
& QSSE

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

Lydie Marty
Directrice Administratif
& Financier, Achats & DSI

Absents :
Lionel Cordesses, Directeur « Technologies Intelligentes »
Christophe Moreno, Responsable du site de Sophia-Antipolis



mission

Depuis bientôt 10 ans, l'IRT Saint Exupéry poursuit ses missions confiées en 2013 par l'Etat français dans le cadre du Programme d'Investissement d'Avenir.

Promouvoir la recherche technologique française au profit de l'industrie implantée sur le territoire national.

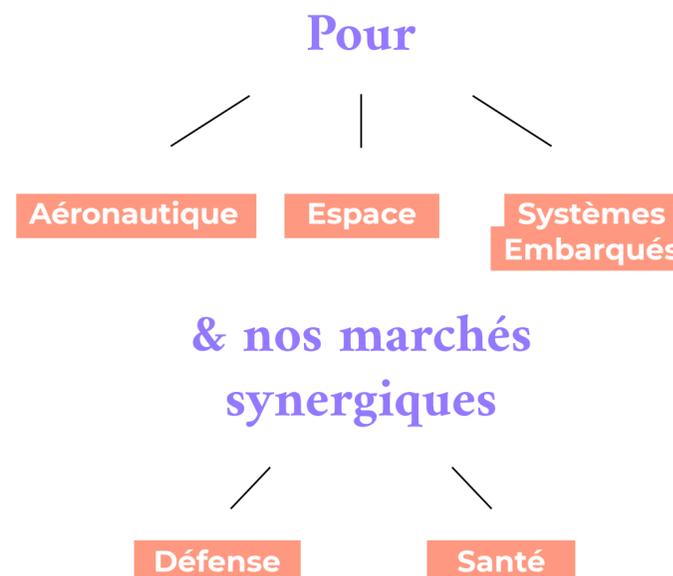
Développer l'écosystème pour les secteurs de l'aéronautique, du spatial et des systèmes critiques en donnant accès à nos projets de recherche, nos plateformes technologiques et notre expertise.

Créer un lien entre la recherche publique et privée afin de faciliter le transfert en mobilisant des ressources issues du monde académique pour la mise en œuvre de la recherche dans l'industrie.

Réaliser des projets de recherche collaboratifs et intégrés à partir des besoins industriels avec une contribution en amont de la communauté académique, soutenus et financés par l'État français et les industriels membres.

L'IRT Saint Exupéry s'engage pour l'avenir de la filière en se structurant autour de 4 axes technologiques majeurs :

- Les technologies plus vertes
- Les technologies de fabrication avancées
- Les technologies intelligentes
- Les méthodes et outils pour le développement des systèmes complexes



€37M

budget annuel

39

projets en cours

367

brevets & transferts
technologiques

3

start-ups créées

11

plateformes
technologiques

348

collaborateurs

382

publications &
communications



131

collaborateurs MAD
(personnel mis à disposition)

217

collaborateurs IRT

dont

36

doctorants



depuis 2013

227

membres



174

industriels

53

académiques

en savoir plus



technologies plus vertes.



Lionel Bourgeois
Directeur Technologique

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 & 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

L'axe **«Technologies Plus Vertes»** relève les défis technologiques dans le but de réduire les émissions de CO₂ sur la base des 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 méthodologies et des recommandations dans le cadre du projet ambitieux de la décarbonation. »

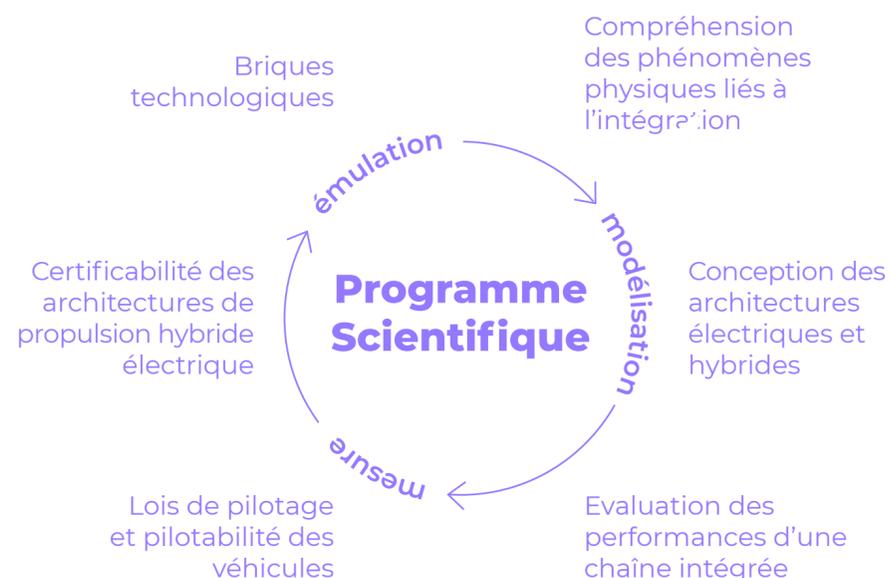
hydrauliques et pneumatiques par de nouvelles solutions à base d'énergie électrique en adressant les grands enjeux dans ce domaine que sont la fiabilité et la masse. Nous préparons aussi les solutions technologiques de demain qui permettront d'électrifier les chaînes propulsives. La montée en tension, 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 électriques, des matériaux, de l'intelligence artificielle et de la modélisation multi-physique.

Retrouvez nos compétences détaillées en cliquant ici

FIL-AE : une démarche structurante pour la filière aéronautique électrique

En 2020, tandis que le secteur aéronautique connaissait une crise sans précédent liée à la pandémie de la COVID-19, l'ISAE-SUPAERO, l'ONERA et l'IRT Saint Exupéry ont initié une réflexion commune avec pour objectif de 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. Ces réflexions ont abouti au lancement de la démarche FIL-AE (FILièrE de l'Aéronautique Electrique). Une étape importante de cette initiative a été franchie en 2021 avec la mise en place d'un programme scientifique avalisé par les membres industriels du CORAC. Par ailleurs, FIL-AE a également vu l'intégration de nouveaux membres incontournables du paysage de la recherche française, comme le CEA et les laboratoires LAPLACE et LAAS-CNRS.



HIGHVOLT

Le projet Highvolt s'est clôturé en novembre 2021 après 4 ans de travaux. Ce projet de 10 millions d'euros, a réuni 15 industriels et 3 laboratoires pour répondre à deux objectifs principaux :

- Améliorer la compréhension des phénomènes physiques présents au sein des chaînes électromécaniques sous haute tension (décharges partielles, charges d'espaces, vieillissement, arcs électriques, etc.)
- Vérifier les performances des systèmes actuels face aux futurs niveaux de tension

Parmi les résultats marquants du projet, nous pouvons citer : la prédiction des décharges partielles^[1], l'étude d'arcs dans des conditions représentatives^[2], le vieillissement avec automatisation de mesure haute tension^[3] et enfin le développement de laboratoires à la pointe de la technologie.

Le projet suite Highvolt 2, démarré en octobre 2021, a pour ambition notamment d'étudier des vieillissements combinés et de développer des solutions matériaux isolants innovants.

[1] « PDIV Numerical And Experimental Estimation In A Needle/Dielectric Film/Plane Configuration » - C. Van de Steen; C. Abadie; G. Belijar

« Partial discharge detection, Experimental-Simulation Comparison and actual limits » - C. Van de Steen; C. Abadie; G. Belijar

[2] « Caractérisation de l'impact sur son environnement d'un arc électrique amorcé entre des câbles en conditions aéronautiques » - T. Vazquez

[3] « Ageing study in aircraft electromechanical chain: systems modeling for property evolution monitoring » - S. Pin; G. Belijar; L. Fetouhi; Leroy Somer; C. Van de Steen; L. Albert

« PD energy as a marker of low-voltage insulation aging » - M. Szczepanski; L. Fetouhi; M. Sabatou; S. Pin; G. Belijar

« Ageing in aircraft electromechanical chain: design of thermal cycling bench for winding elements » - S. Dreuilhe; S. Pin; L. Fetouhi; S. Stemmer; G. Belijar; L. Albert

Le projet SiCRET : au cœur de la transition énergétique

L'équipe du projet SiCRET (SiC (MOSFET) Reliability Evaluation for Transport) poursuit ses études sur la fiabilité des dispositifs électroniques de puissance en Carbure de Silicium. Au cœur de la transition vers la mobilité électrique, ce projet vise à permettre le déploiement d'une technologie MOSFET SiC « fiable » dans le secteur des transports mais également de créer un écosystème de plus en plus autonome au niveau national et européen.

Le projet rassemble les principaux acteurs de la chaîne de valeur de l'électrification dans différents domaines (Supergrid Institute, Safran, Alstom, Vitesco Technologies, Liebherr) partageant les mêmes exigences majeures : fiabilité et coûts.

Le projet s'appuie sur la proximité avec les fournisseurs de dispositifs, notamment grâce à un accord de collaboration majeur avec ST Microelectronics pour la moyenne tension (1200V) et Mitsubishi pour la haute tension (3300V). Les besoins industriels de ces partenaires sont complétés par l'expertise et la recherche technologique des principaux laboratoires publics du domaine : AMPERE à Lyon, IES à Montpellier, LAAS-CNRS et LAPLACE à Toulouse.

Le transfert et la capitalisation du savoir-faire généré par le projet sont assurés par trois centres d'essais industriels : Supergrid Institute à Lyon, Nuclétudes à Paris et Alter Technology à Toulouse. Enfin, le panel d'experts est complété par l'expertise et les capacités d'investigation du Ministère de la Défense français (DGA) et de l'IRT Saint Exupéry hébergeant les infrastructures et le personnel. Cela garantit un cadre de travail qualitatif et collaboratif afin de remplir avec succès les objectifs du projet SiCRET.

lire plus



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

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

EF-MAHPCO

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

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

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]

[1] Etain-Arget-Cuivre

projets européens



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

DCADE

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

RECET4RAIL

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

HYPNOTIC

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

HIVACS

Exploration et optimisation de la conception des futurs systèmes de câbles aérospatiaux afin de permettre à l'industrie aéronautique de répondre aux exigences de conception à haute puissance des futurs programmes d'avions

HIGHVOLT

Etude des phénomènes physiques amplifiés par l'augmentation de la tension et l'utilisation de composants « grand gap »

technologies de fabrication avancées.

VIVONS NOTRE PASSION POUR LA TECHNOLOGIE · VIVONS NOTRE PASSION POUR LA TECHNOLOGIE

technologies de fabrication avancées.



Emilie Herny
Directrice Technologique

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. Dans cette approche, nos activités sont principalement centrées sur le développement de nouvelles techno-

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

logies de fabrication, 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 transverses offertes par l'ensemble des disciplines de l'IRT Saint Exupéry.

Retrouvez nos compétences détaillées en cliquant ici

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

Procédé LMD-poudre : le projet DePÔz franchit un nouveau palier dans la montée en maturité de la technologie à travers la conception et la fabrication d'un démonstrateur unique dans un temps record

Le démonstrateur DePÔz illustre la maturité croissante du procédé LMD-p (Laser Metal Deposition Powder) à travers l'élaboration de règles de conception et de fabrication, faisant de l'IRT Saint Exupéry un acteur majeur dans la démarche d'industrialisation de cette technologie. Il est le fruit d'une collaboration rapprochée avec la société AddUp et permet de mettre en lumière les capacités offertes par ce procédé ainsi que ses limites actuelles liées à son niveau de maturité. De nombreuses complexités inhérentes au procédé LMD ont été intégrées sur cette pièce, telles que des intersections, des changements de section, des parties inclinées, des parties coudées ou encore des ajouts de fonctions sur des surfaces gauches de faible épaisseur.

(lire plus)



Le projet METEOR livre ses résultats

2021 a été marqué par l'aboutissement du projet METEOR qui visait à optimiser la qualité et le coût de production de composites hautes performances à partir de semi-produits thermoplastiques compétitifs issus à 100% de la filière française d'approvisionnement.

L'équipe projet s'est penchée sur l'optimisation de la chaîne de valeur dans son intégralité, des procédés de synthèse et de broyage de la résine jusqu'à l'optimisation de la morphologie des pré-imprégnés utilisés pour la réalisation des pièces composites pour les aérostructures.

Ce projet a permis entre autres à la filière française des pré-imprégnés de faire preuve de ses compétences, de réduire les coûts et de tendre vers une technologie moins énergivore !

(lire plus)

Lancement des projets COBRA & CODEX

Les projets COBRA (COntrolled Bonding for Reliability of Assemblies – sur la robustesse et la performance des assemblages innovants) et CODEX (sur le collage démontable) lancés en 2021 s'inscrivent dans la continuité des projets sur les assemblages innovants précédemment menés.

Lancement du projet OXYGEN

Le projet OXYGEN, lancé en 2021, traite les composites à matrice céramique pour des applications duales aéronautique et défense. Il s'intègre dans la continuité des projets « Oxyde Voie Liquide 1 » et « Oxyde Voie Liquide 2 » menés dans le cadre du développement de matériaux céramiques bas coût. Ce projet marque notre première collaboration avec le CEA DAM (Direction des applications militaires).

Zoom Plateformes : nouvelle machine LMD-W unique en Europe

Un nouvel équipement vient renforcer nos plateformes de fabrication additive métallique. Il s'agit d'une machine de fabrication additive unique en Europe, utilisant des fils métalliques, basés sur la technologie LMD-w (Laser Metal Deposition-Wire). Elle rejoindra très prochainement nos équipements toulousains.



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

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

CMC SiCMI 2

Montée en maturité des matériaux CMC de type SiC-SiC^[1] pour les besoins de l'aéronautique civile

ACDC

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

OXYGEN

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

VITAL

Génération des admissibles de dimensionnement des matériaux composites par virtual testing

ASSEMBLAGES INNOVANTS 2

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

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

SPRINT

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

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

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)

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

MATILD

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

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)

LASER

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

MAMA

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

EF HYDROPLANE

Définition d'un futur projet destiné au développement de solutions matériaux et procédés pour la distribution d'hydrogène dans les futures générations d'aéronefs

projets européens**ReCHycle**

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

DEFLECT

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

projets terminés en 2021**ANDDURO**

Compréhension et amélioration des technologies de fabrication additive métallique sur lit de poudre par fusion laser ou par faisceau d'électrons

DEPOZ

Compréhension et amélioration de la technologie de fabrication additive par projection de poudre métallique LMD (Laser Metal Deposition)

METEOR

Elaboration et étude des semi-produits thermoplastiques compétitifs, compatibles de procédés hors autoclave et issus à 100% d'une filière d'approvisionnement française

OXYMORE

Optimisation du procédé d'oxydation micro-arcs pour des applications aéronautiques (lèvres d'entrée d'air des nacelles, rails de sièges, corps de vannes)

[1] Carbure de silicium

technologies intelligentes.



technologies intelligentes.



Lionel Cordesses

Directeur Technologique & IEEE Senior Member

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

L'axe « **Technologies Intelligentes** » concerne des technologies d'Intelligence Artificielle 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 (5G, IoT).

« **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.** »

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 2022.

Retrouvez nos compétences détaillées en cliquant ici

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

Le projet 5GMED : innovation, connectivité, défis

Le projet européen 5GMED a été lancé en septembre 2020 pour une durée de 3 ans et un budget de 15 millions d'euros. L'objectif du projet est de tester sur un corridor (autoroute + voie ferrée) transfrontalier de 40 km, entre la France et l'Espagne, des services innovants faisant largement appel au réseau de télécom 5G et à l'IA et s'attachant particulièrement à la continuité du service lors de l'itinérance entre les deux pays.

L'IRT Saint Exupéry, responsable de la définition initiale des services et des tests pour chaque cas d'usage, utilise ses compétences sur les réseaux 5G et satellitaires ainsi qu'en IA pour développer des modules IA de détection, d'optimisation, de prédiction et le test d'une « slice » satellite avant son implémentation dans le train.

(lire plus)

Création du Mastère Spécialisé® Artificial Intelligence & Business Transformation

Depuis fin 2017 nous travaillons aux côtés de l'ISAE-SUPAERO et de Toulouse Business School pour la création d'une formation spécialisée sur la compréhension de l'IA, de ses impacts et de ses modes de fonctionnement dans l'entreprise. Le contexte très favorable des instituts 3IA, dont ANITI à Toulouse, et des métiers émergents a conforté la création de ce programme. Les premiers cours de ce mastère spécialisé « Artificial Intelligence & Business Transformation » sont dispensés au sein de l'ISAE-SUPAERO depuis octobre 2021. L'IRT Saint Exupéry contribue principalement sur 2 sujets : l'application des connaissances acquises dans le cadre de cas d'usages concrets et les sujets de certification et de robustesse d'intelligence artificielle. Ces séances sont encadrées par des collaborateurs de l'IRT Saint Exupéry (projet DEEL). Ce partenariat fort avec l'ISAE-SUPAERO témoigne de la complémentarité de nos deux établissements et de notre capacité à former des experts qui répondent aux besoins de l'industrie face aux défis internationaux.

(lire plus)



Projet CIAR : deux premières en intelligence artificielle embarquée à bord de satellites

Le projet « Chaîne Image Autonome et Réactive » (CIAR) étudie les technologies permettant de déployer de l'Intelligence Artificielle (IA) pour le traitement de l'image sur des systèmes embarqués (satellites, drones de livraison, etc.). Pour cela, trois défis interdépendants sont relevés :

- La définition du cas d'utilisation et la constitution de bases de données image.
- La conception d'IA performantes et adaptées aux contraintes des systèmes embarqués.
- L'optimisation et l'implémentation matérielle des algorithmes sélectionnés.

Depuis plusieurs années, l'équipe CIAR collabore avec l'Agence Spatiale Européenne (ESA) sur la mission OPS-SAT. Le 22 mars 2021, l'équipe a réussi à télécharger un réseau de neurones sur le FPGA (field-programmable gate array) embarqué dans ce satellite. L'IRT Saint Exupéry illustre ainsi sa capacité à traiter l'ensemble de ces défis techniques.

(lire plus)

Programme DEEL : Toulouse et Montréal s'associent pour développer l'IA pour les systèmes critiques

Issu d'une riche collaboration entre partenaires académiques et industriels, le projet DEEL vise le développement d'une Intelligence Artificielle (IA) qui serait interprétable, robuste, sécuritaire et certifiable, appliquée aux systèmes critiques dans le domaine de l'aérospatial et des transports.

Une nouvelle étape dans la collaboration entre les volets français et québécois du projet DEEL (DEpendable and EXplainable Learning) s'est concrétisée avec la signature d'une entente de collaboration internationale entre les divers acteurs du projet. Cette signature permettra de continuer à développer et amplifier les collaborations déjà en place entre les organisations.

Au Québec, le projet DEEL est porté par le Consortium de recherche et d'innovation en aérospatiale au Québec (CRFAQ) et l'Institut intelligence et données (IID) de l'Université Laval, avec la collaboration de l'Institut de valorisation des données (IVADO). En France, le projet DEEL est porté par l'IRT Saint Exupéry et ANITI, l'Institut interdisciplinaire d'Intelligence Artificielle de Toulouse.



Lancé en 2018, le projet DEEL (Dependable and Explainable Learning) répond aux défis scientifiques et technologiques qui visent à sécuriser l'utilisation du Machine Learning dans les systèmes critiques. Dans ce cadre, une équipe de 30 experts travaille sur les défis de la certification des systèmes avec l'IA. Retrouvez leur livre blanc.

projets en cours

31 décembre 2021



PEP_hITE

Mise en place d'une plateforme d'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

SODA2 *(en cours de montage)*

Continuation des travaux sur la préparation des futurs systèmes de défense impliquant des intelligences artificielles pour l'optimisation de la stratégie de défense sol-air

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 et maquetages, scientifiques et technologiques d'un concept innovant d'imageur à grand pouvoir de résolution et de petite taille pour applications mobiles, aéroportées et spatiales

ELLIOT

Définition d'un protocole de communication et levée des verrous technologiques qui permettent un service d'IoT à large couverture géographique à partir de nanosatellites low cost en orbite basse

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

PHOEBUS

Méthodes et équipements pour la vérification des charges utiles de satellites de communication de forte capacité (VHTS^[1]) exploitant les technologies photoniques et dépassant les limitations des solutions uniquement électriques

[1] Very High Throughput Satellite

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

SUPERG

Étude de l'intégration 5G/satellite. Réalisation d'une plateforme d'orchestration et d'accélération de fonctions réseau virtuelles pour les Satcom et la 5G pour les réseaux pilotés par logiciel

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

RAPTOR

Définition d'un sous-système embarqué pour mener une mission de rendez-vous avec des cibles spatiales plus ou moins collaboratives, ainsi qu'un outil de planification d'optimisation multiobjectif

APISS *(en cours de montage)*

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

ENVIA *(en cours de montage)*

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.

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.

projets terminés

en 2021

EF-SUCRE

Évaluation et quantification par IA de la compréhensibilité des requêtes textuelles issues d'un utilisateur, sous les angles de l'analyse sémantique et de l'analyse pragmatique

NEWCAST

Montée en maturité des technologies qui accroissent l'efficacité énergétique et spectrale des liens pour satellites, jusqu'à un niveau de démonstrateur

méthodes & outils pour le développement de systèmes complexes.

DÉVELOPPONS NOTRE ESPRIT D'ÉQUIPE & NOTRE ESPRIT PIONNIER . DÉVELOPPONS NOTRE ESPRIT D'ÉQUIPE

méthodes & outils pour le développement de systèmes complexes.



Christophe Lemort
Directeur Technologique

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 complémentaires pour l'atteinte de leurs objectifs.

Retrouvez nos compétences détaillées en cliquant [ici](#)

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

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

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

2 compétences de l'axe au service du projet R-EVOL

Depuis plusieurs années, la numérisation des processus et des systèmes est devenue un enjeu stratégique. Cette transformation vise à créer des synergies entre les différents acteurs, à améliorer la robustesse des processus de conception et à tirer le meilleur parti des systèmes en opérations. Au sein de cette démarche globale, le projet R-EVOL développe des méthodologies d'analyse et d'optimisation multidisciplinaires avancées (MDAO) pour la phase de conception, en étudiant les avantages de l'utilisation des modèles d'ingénierie système comme support pour la définition des processus MDAO .

Le projet, démarré en 2020, est un exemple de la cohérence de la démarche portée au sein de l'axe « Méthodes et outils pour le développement de systèmes complexes ». Il tire profit des compétences de l'équipe « Optimisation Multi Disciplinaire » et de l'équipe « Ingénierie des Systèmes ».

C'est également un projet d'intérêt transverse fort au sein de l'IRT Saint Exupéry, ces techniques MDAO étant appliquées dans les domaines applicatifs de l'optimisation des systèmes électriques, de la conception d'échangeurs thermiques, et du « virtual testing » pour les matériaux.



GEMSEO : un outil disruptif au service du concepteur multidisciplinaire

Le logiciel GEMSEO développé par l'IRT depuis 2015 est devenu « open source » en mai 2021. Grâce à une approche disruptive basée sur les formulations MDO (optimisation multidisciplinaire), ce logiciel facilite l'utilisation d'algorithmes avancés développés par la communauté de recherche dans la résolution de problèmes de conception industriels.

Parmi les différents exemples d'utilisation, Airbus a présenté en novembre 2021 lors de la COP26, sa plateforme SoS Trades, dont le cœur numérique est GEMSEO. Cette plateforme est destinée à évaluer différents scénarios en intégrant et couplant des modèles biophysiques (énergie - économie - climat - ressources naturelles). Ces scénarios visent à trouver des solutions de compromis pour la transition énergétique et les enjeux climatiques. Les problèmes complexes et de haute dimension à résoudre ont mis à l'épreuve les limites des algorithmes numériques de GEMSEO et ont conduit nos chercheurs à optimiser l'utilisation d'algorithmes de graphes, de solveurs linéaires et non linéaires, de techniques d'adjoint couplé et les performances globales du logiciel GEMSEO.

lire plus

Le projet S2C

L'utilisation croissante des modèles en phase de développement de systèmes complexes est une opportunité d'élargir la continuité numérique à de nouvelles disciplines. Le projet S2C travaille ainsi à caractériser les échanges nécessaires entre les modèles d'ingénierie système MBSE et les modèles d'analyse de sûreté de fonctionnement MBSA . Pour cela, l'équipe travaille avec les auteurs de l'annexe « Model Based Safety Assessment » de la future ARP4761A^[1], utilisée dans l'aéronautique civile. Un guide méthodologique complémentaire est en cours de rédaction afin d'accompagner les industriels dans leur transition depuis des approches plus classiques comme les arbres de pannes (FTA). Le MBSA permet également de faciliter le rapprochement avec le MBSE. Pour aligner les pratiques, le projet échange avec le programme ATLAS qui vise à favoriser l'émergence de standards pour l'interopérabilité des modèles.

[1] Lignes directrices et méthodes pour la conduite du processus d'évaluation de la sécurité des systèmes et équipements aéroportés civils

Le projet ATIPPIC

L'émergence du « NewSpace » et des constellations de satellites amène l'industrie vers de nouveaux concepts de satellites à taille, masse et consommation réduites. Des coûts de production moindres et des délais d'intégration réduits créent un double challenge : éviter des développements coûteux de composants spécifiques et maximiser l'intégration des fonctions sur une seule carte.

Le projet ATIPPIC a permis d'étudier une architecture avionique générique basée sur des COTS (composants sur étagère) applicable au domaine des micro satellites.

Le projet s'est intéressé à l'utilisation de COTS pour le calculateur bord, les différents capteurs (senseur stellaire), actuateurs (roue à inertie), GPS, etc. La centralisation des fonctions avioniques et le respect des contraintes temporelles ont été détaillées afin de garantir le fonctionnement du système. La capacité à détecter, isoler, et à se reconfigurer en cas de panne a été traitée aux différents niveaux de l'architecture.

projets en cours

31 décembre 2021



ARCHEOCS

Conception et optimisation de systèmes logiciels critiques déployés sur des architectures mono et multi-cartes 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

SPOC

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

VITAL (contribution)

Contribution via GEMSEO à la quantification et à la propagation d'incertitudes afin d'étudier l'impact des variabilités des propriétés matériaux composites pour les structures aéronautiques

TeePee4Space (projet ESA)

Evaluation d'analyses de budgets de masse et de puissance sur un ensemble de modèles MBSE distribués et hétérogènes permettant de tirer profit de la continuité numérique dans un environnement spatial d'entreprises étendues

ELSAMAT (projet ESA)

Approche d'ingénierie basée sur les modèles pour l'évaluation de la disponibilité de systèmes satellitaires embarquant des composants électroniques sur étagère

projets européens



MADELEINE

Optimisation multidisciplinaire (réduction des délais et des coûts de fabrication) haute-fidélité appliquée au domaine de la conception de structures aéronautiques. Notre méthodologie basée sur des modèles « scalable » basés sur les données permet à l'utilisateur de choisir une formulation MDO pertinente pour son problème de conception. Des capacités HPC (high power computing) ont également été ajoutées à GEMSEO, permettant une rapidité de 20 fois supérieure

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 global, en interfaçant à GEMSEO différents modèles basés sur la physique

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)

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

projets terminés

en 2021

ATIPPIC

Définition d'une architecture avionique très intégrée basée sur des composants sur étagère (COTS) pour le marché des petites plateformes satellitaires

nos compétences.

matériaux composites.

équipe
de Toulouse



équipe
de Bordeaux

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 compétence « **Matériaux composites et procédés** » répond aux besoins de compétitivité industrielle en participant au développement de structures aéronautiques et spatiales plus légères, à la fois résistantes et multifonctionnelles grâce à l'utilisation de matériaux composites hautes performances. Nous nous concentrons sur le développement de matériaux à matrices organiques thermostables (PEEK, PEKK, PAEK, et polymères hautes températures), thermoplastiques ou thermodurcissables, et à matrices céramiques (oxyde d'aluminium Al₂O₃, carbure de silicium, vitrocéramique, etc.) résistants à très hautes températures. Les applications visées sont les éléments de structures critiques des avions, lanceurs, satellites et moteurs dont la fiabilité doit être garantie. 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 afin de concevoir et de fabriquer ces matériaux et structures à haute valeur ajoutée. Cela nous permet par exemple de réduire les phases de conception et de qualification pour les industriels (essais virtuels); de comprendre l'influence des paramètres procédés de nos équipements de fabrication sur la microstructure et les propriétés des matériaux fabriqués (modélisation des procédés).

Webinaire « Composites Vitrimères »

Le 22 juin 2021, les équipes du centre de compétence composite ont organisé en collaboration avec Ad'Occ et Aerospace Valley un webinaire sur la thématique des composites vitrimères*. Nos membres académiques et industriels ont pu échanger autour de cette thématique d'intérêt avec notamment des interventions du CNES, acteur incontournable du secteur spatial, et SOLVAY, leader de la filière des matériaux avancés et de la chimie. Patricia Sandré et Mathias Destarac ont conclu cette session par une présentation du projet EVERGREEN mené au sein de l'IRT Saint Exupéry et axé sur cette thématique.

* Polymère réticulé qui, à froid, présente les caractéristiques d'un polymère thermodurcissable mais qui, à chaud, peut être mis en forme comme un polymère thermoplastique

Création d'un Groupement de Recherche sur les Composites à Matrice Céramique (CMC)

Le GDR (Groupement de recherche) a été mis en place par le LCTS (Université de Bordeaux/CNRS) en 2019. Dans ce cadre, le comité de pilotage de ce GDR a décidé de définir une stratégie française commune sur les CMC, en copilotage entre le laboratoire du LCTS et l'IRT Saint Exupéry fin 2021.

Composé des principaux contributeurs / utilisateurs dans le domaine des CMC (laboratoire universitaires, donneurs d'ordre, fabricants et élaborateurs) cette communauté a pour objectif de bâtir une stratégie commune à l'échelle nationale.

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.

équipe de Toulouse



équipe de Bordeaux

Domaines R&T

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

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.

Le 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.

Journée technique «Surfaces & Assemblages»

Le 23 septembre 2021 avait lieu notre «Journée Surfaces & Assemblages» organisée par nos équipes toulousaines et bordelaises. Au programme : des ateliers thématiques animés par nos équipes de recherche ainsi que nos partenaires académiques, et destinés à croiser les besoins et attentes des industriels avec les axes de recherche actuels et futurs de l'IRT Saint Exupéry. Avec la participation de l'ensemble des acteurs majeurs de l'Aéronautique et du Spatial (Airbus, Airbus Hélicoptère, Thales Alenia Space, Safran, Ariane Group, Liebherr, CNES, Socomore, Stelia) et avec le support de nos partenaires académiques (LGC, I2M, CIRIMAT, LAPLACE, ICA, ISAE SUPAERO, ENIT) cette rencontre fut un succès.

Collaboration avec l'ITE NOBATEK/INEF4

L'Institut pour la Transition Énergétique (ITE) NOBATEK/INEF4 et l'IRT Saint Exupéry ont collaboré sur le prototypage et la fabrication d'une première série de panneaux solaires thermiques intégrés en façade. L'ITE NOBATEK a en effet développé une technologie innovante de capteur solaire thermique intégré dans un bardage métallique nommé BATISOL®.

Dans le cadre du projet PLATSOLAR pour l'optimisation de ce système, l'ITE NOBATEK et l'IRT Saint Exupéry ont collaboré afin d'effectuer la dépose de colle sur les panneaux d'aluminium à l'aide d'un pistolet pneumatique. L'objectif étant de montrer l'aptitude à réaliser de façon maîtrisée le collage de ces pièces par l'utilisation de techniques automatisables. Il permet également d'adapter ou de mettre au point les paramètres de dépose de colle avec l'adhésif utilisé par NOBATEK sur une cinquantaine de capteurs. Ce collage a été réalisé avec le robot (KUKA) 6 axes de l'IRT Saint Exupéry.

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.

Lancement d'une thèse sur le développement de matériaux à gradient

2021 a été l'année du lancement d'un travail de thèse en collaboration avec le laboratoire Interdisciplinaire Carnot de Bourgogne (ICB) sur le développement de matériaux à gradient résistant à la corrosion haute température pour le domaine de la production d'énergie.

Les premiers travaux menés ont permis d'identifier des paramètres procédés optimaux pour la fabrication par LMD (Laser Metal Deposition) de systèmes multi-matériaux, composés d'acier faiblement allié et d'alliages à base de nickel. Les premiers résultats de comportement à la corrosion de ces systèmes ont aussi été obtenus.

Ces travaux s'inscrivent dans la stratégie de développement de matériaux sur mesure du centre de compétences.



Exemple de matériaux à gradient développés par LMD (LaserMetalDeposition) et caractérisés dans le cadre de la thèse d'Agathe Curnis (encadrement Aurélien Prillieux - IRT, Ioana Popa - ICB, Sébastien Chevalier- ICB)

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

Evaluation 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 par 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 afin de 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 leurs recherches sur les conducteurs électriques innovants.

Le projet HIVACS

Le projet européen HIVACS, dont la coordination a été menée par l'IRT Saint Exupéry, a été officiellement clôturé en juillet 2021.

Le projet HIVACS s'est concentré sur le développement de systèmes de câbles permettant un transfert de puissance sûr et efficace pour la propulsion électrique des avions. Le projet a également développé une série d'outils de simulation et de bancs d'essai expérimentaux qui peuvent être utilisés pour le développement futur des câbles.

Le projet, mené aux côtés de Nexans, l'Université de Manchester et l'Université de Toulouse, a donné des résultats pertinents sur les domaines suivants :

- Amélioration des modèles électro-thermiques pour prédire le courant maximal qu'un câble est capable de transporter avec des capacités de modélisation démontrées pour les câbles non blindés et la prochaine génération de câbles blindés qui devraient être utilisés dans les futurs avions.
- Essais de décharge partielle et modélisation montrant les difficultés à fournir des résultats PDIV (partial discharges inception voltage) cohérents d'une manière qui pourrait conduire à des changements dans les normes futures.
- Meilleure compréhension des mécanismes de vieillissement, notamment en ce qui concerne la dégradation thermique de l'isolation et les implications pour les futurs systèmes aérospatiaux.
- Nouvelles perspectives dans la conception et la fabrication des câbles.

(lire plus)

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 fiabilité.



Domaines R&T

Fiabilité (support à la qualification, robustesse, durabilité) des composants de puissance, composants numériques, des sources d'énergie et de stockage, des assemblages et interconnexion électronique/électrique

CEM : comportement prédictif d'une carte électronique (émission et immunité)

Immunité aux radiations naturelles (neutrons, protons, ions lourds, total ionizing dose, etc.)

Notre compétence « **Energie haute fiabilité** » répond aux défis de l'électrification des transports et, plus généralement, à l'augmentation de la densité énergétique et à la miniaturisation des fonctions électroniques. Cela se traduit par l'insertion massive de composants sur étagère (COTS) et des technologies sous-jacentes dans la chaîne d'approvisionnement pour des secteurs d'applications tels que l'automobile, l'aéronautique et l'espace. Le principal défi qui entrave leur déploiement dans ces environnements sévères est l'évaluation de leur fiabilité, ou plus exactement de leur «sûreté de fonctionnement».

Notre objectif est de mettre en place des approches innovantes (outils et méthodologies) et des expertises spécifiques (moyens expérimentaux et numériques) pour relever les défis de ce changement de paradigme. Le cœur de nos activités est représenté par la connaissance et la compréhension fondamentales de la physique de la défaillance (PoF) ou/et de la physique des pannes.

Les composants COTS basés sur des technologies émergentes peuvent être dédiés à différentes fonctions : énergie électrique (non propulsive et propulsive), numérique (calcul et mémoire), analogique (communications radio et détection radar) et optique (communications et détection), ou encore stockage et sources d'énergie (batteries, piles à combustible et supercondensateurs). Notre approche repose essentiellement sur l'analyse, la compréhension et la modélisation des mécanismes de défaillance, des pannes et des défauts induits par la combinaison des conditions d'utilisation (stimulus) et des paramètres environnementaux liés à leurs usages (profil d'usage).

NRTW : la fiabilité au coeur des dispositifs électroniques embarqués

Depuis 2019, l'IRT Saint Exupéry est ambassadeur du Centre Français de Fiabilité, regroupement national des experts en fiabilité des systèmes électriques et électronique). Dans ce cadre, le symposium NRTW (National Reliability Technology Workshop) 2021 s'est déroulé les 13 et 14 octobre derniers à Toulouse au sein du bâtiment B612, en association avec le CFF (Centre Français de Fiabilité) et la NAE (Normandie AeroEspace). Cet événement annuel regroupe les acteurs nationaux de la Fiabilité des systèmes et des composants : une occasion unique de renforcer les synergies et le rayonnement européen de ce réseau autour d'échanges techniques sur la fiabilité dans le contexte de la miniaturisation de l'électronique.

Deux collaborateurs récompensés lors d'événements internationaux

Catherine Ngom, doctorante, a obtenu 2 prix lors de l'événement RADECS2020, ceux du Meilleur Article et de la Meilleure Présentation, pour son travail relatif à la « caractérisation de la sensibilité aux effets singuliers dus aux radiations de composants de puissance GaN (Nitrure de Gallium) commerciaux par injection de charge avec des impulsions laser ».

Pierre Roumanille, ingénieur de recherche, a quant à lui obtenu le prix du « Best Paper Award » lors de l'évènement ESREF2021 pour son article scientifique traitant le sujet de « L'analyse de fiabilité et de défaillance du packaging et de l'assemblage sans plomb », étudié au sein du projet FELINE de l'IRT Saint Exupéry.

(lire plus)

Analyse des modes de défaillance et de leurs effets

Caractérisation adaptée aux technologies émergentes (e.g. SiC (carbure de silicium) ou GaN (nitrure de gallium))

Modélisation fine de la fiabilité du composant au module/carte

Méthodologie de « deriskage » pour profil d'usage donnés (Failure Risk Assessment Methodology - FRAME)



Qualification, robustesse et durabilité des systèmes électriques embarqués

énergie haute densité.



Domaines
R&T

Démonstrateurs intégrés
Briques technologiques
Outils & méthodes

Le centre de compétences « **Energie haute densité** » a pour objectif de répondre aux défis du passage aux véhicules électriques qui, pour être compétitifs doivent considérablement augmenter la densité de puissance de leurs systèmes électriques.

De plus, l'ensemble des technologies et des méthodes de conception doit être revu pour :

- Augmenter la tension afin de réduire la masse des câbles,
- Utiliser des composants électroniques plus performants (composants à grand écartement) pour réduire les pertes,
- Améliorer l'intégration des composants et équipements afin de maîtriser les contraintes de masse, la compatibilité électromagnétique, la qualité du circuit, la fiabilité, la maîtrise thermique et les coûts.

Nous nous concentrons sur l'étude des chaînes de conversion électromécanique, les convertisseurs électroniques de puissance et les moteurs électriques, en développant des technologies (modules de puissance, filtres, inducteurs, circuits imprimés, drivers, thermiques, matériaux, etc.) et les méthodologies nécessaires à leur optimisation (MDO/MDA) sur différents critères (masse, contrôle thermique, CEM, etc.). Notre but est de contribuer à augmenter la densité de puissance des circuits électroniques de 2 à 10 kilowatts/kg ou plus et des machines électriques de 5 à 15 kilowatts/kg ou plus.

Nous traitons des tensions inférieures à un kilovolt pour des applications de quelques centaines de kilowatts (petits porteurs) jusqu'aux tensions comprises entre 1 et 3 kilovolts pour des applications de plus d'un million de watts (propulsion, gros porteurs).

Le projet EpowerDrive

Le projet Epowerdrive a été officiellement clôturé en décembre 2021. Nous avons transféré vers nos membres l'ensemble des briques méthodologiques et technologiques qui ont été développés grâce aux différents travaux de recherche menés durant ces 4 années :

- Outils d'optimisation de la chaîne de puissance convertisseurs, câbles, moteur grâce à la plateforme Gemseo
- Conception de convertisseurs grand gap SiC et GaN à très haut rendement comportant de nombreuses briques technologiques innovantes
- Caractérisation de matériaux ferromagnétiques utilisés à haute fréquence



connectivité & capteurs autonomes.

équipe de Toulouse



équipe de Sophia Antipolis

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** » travaille au développement de technologies de détection et de communication, en vue d'offrir ces services au travers de relais aériens ou spatiaux. Il cible également le déploiement de l'usage des capteurs intelligents embarqués pour fournir des services de surveillance avancés d'environnements industriels ou naturels. Côté connectivité, l'objectif global est d'augmenter la capacité et la portée des réseaux tout en cherchant à optimiser la disponibilité et la sécurité.

Nous contribuons au développement de la chaîne de la valeur des industries de l'aéronautique, de l'espace et des transports en réduisant les risques liés à l'introduction de nouvelles technologies, tout en favorisant les initiatives de standardisation. Nos activités principales concernent le développement et l'utilisation des technologies numériques dans les télécommunications, et le traitement intelligent embarqué à proximité du capteur. Elles s'appliquent aux systèmes à architecture distribuée, reliant des dispositifs intelligents distants à des infrastructures centralisées ou des clouds.

Pour les activités de télécommunications, les marchés visés sont des marchés verticaux (transport, industrie 4.0, défense et sécurité civile, etc.). L'objectif principal est de contribuer à l'essor des réseaux non terrestres (NTN : satellites, HAPs^[1], drones^[2]) introduits dans les activités de normalisation 5G/6G. Afin de répondre aux exigences de la 5G ou de l'Internet des objets (IoT), nos travaux visent à concevoir et optimiser l'architecture des systèmes de bout en bout avec un segment NTN, par l'utilisation de la virtualisation des fonctions réseaux (NFV^[3]) de la programmation de réseau (SDN^[4]) et de l'orchestration de services.

Concernant les activités de détection, les marchés visés sont le « New Space » et l'aéronautique pour lesquels l'objectif est d'améliorer l'autonomie, la compacité, la consommation et les performances de mesure des systèmes de surveillance embarqués pour délivrer des services de détection avancés et fiables.

Les applications de la connectivité sont le « backhauling » des réseaux 5G, l'accès direct au satellite pour le mobile, le support universel de l'Internet des objets avec une couverture mondiale.

Les applications de la télédétection sont le guidage autonome des satellites, la surveillance de l'environnement (concentration de gaz), et la surveillance de l'intégrité des avions par exemple.

Workshop 5G-NTN

Le 30 septembre 2021, l'équipe du projet Super-G a réuni plus de 50 participants autour d'un workshop dédié aux potentielles applications de la 5G « Non-Terrestrial Networks ».

L'IRT Saint Exupéry a mis en place le projet Super-G qui travaille sur l'intégration des satellites dans le cadre de la 5G avec 4 partenaires industriels : Airbus Defence and Space, QoS Design, Thales Alenia Space et Viveris. Le projet a été lancé en février 2019 et s'achèvera en juin 2022. Ce projet traite de l'architecture et des solutions pour supporter le backhaul satellite dans un contexte conforme à la 5G et mène le développement de la plateforme dédiée à la virtualisation des fonctions réseau « Satcom ».

[1] High Altitude Platforms
 [2] Unmanned Aircraft Vehicles
 [3] Network Function Virtualization
 [4] Software-Defined Network

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.



équipe de Toulouse



équipe de Bordeaux



équipe de Sophia Antipolis

Domaines R&T

IA frugale et gestion du cycle de vie
Optimisation et prise de décision
Interactions homme-machine

Planification de satellites, cockpit environnemental

Imagerie satellite (apprentissage supervisé), IA embarquée

Aide à la conduite d'opérations, planification multi-missions

Imagerie (apprentissage frugal, representation learning), IA embarquée

Apprentissage collaboratif, planification réactive, missions autonomes
IA multimodale, lifelong learning, autonomie bord



Assistants robustes
One shot learning

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.

Confiance.AI

Pilier technologique du Grand Défi « sécuriser, certifier et fiabiliser les systèmes basés sur l'intelligence artificielle », le programme Confiance.ai, lancé en janvier 2021 et porté par l'IRT SystemX, a dévoilé ses premiers résultats lors de la 1ère journée annuelle qui s'est tenue à Toulouse le 6 octobre 2021 dans nos locaux.

Ce programme qui réunit entre autres Airbus, Air Liquide, Atos, le CEA, EDF, l'Inria, Renault, Safran, Sopra Steria, l'IRT Saint Exupéry, Thales, l'IRT SystemX et Valeo, se structure autour de 5 axes : la caractérisation de l'IA, l'IA de confiance by design, l'ingénierie de la donnée et des connaissances, la maîtrise de l'ingénierie système fondée sur l'IA et l'IA de confiance pour l'embarqué. Il implique plus de 400 personnes sur 4 ans sur les sites de Paris Saclay (site de l'IRT SystemX) et de Toulouse (site de l'IRT Saint Exupéry) pour un budget de 45M€.

Avec plus de 400 participants, cet événement a réuni des intervenants de renommée mondiale tels que Yoshua Bengio (Directeur scientifique, Institut Mila) et Maximilian Poretschkin (Directeur du projet de certification en IA, Fraunhofer IAIS) autour de workshop et interventions sur les thématiques clés du programme.

(lire plus)

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

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 la 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.

Mobilit.AI : les défis de l'Intelligence Artificielle dans les systèmes critiques

La 2ème édition du Forum Mobilit.AI, événement international organisée par IVADO, l'IRT Saint Exupéry, l'IID, le CRIAQ & Aniti, a eu lieu du 10 au 12 mai 2021 sous un format 100% virtuel entre la France et le Québec. Il a réuni 450 participants autour de 13 conférences, 3 tables rondes, 4 tutoriels, des stands virtuels et des posters scientifiques.

L'édition 2022 se tiendra dans la ville de Québec (Canada) les 17, 18 et 19 mai prochains. Cette 3ème édition du forum réunira une trentaine de conférenciers sur divers sujets, allant des enjeux de certification de l'IA, à son implantation dans les systèmes embarqués ou encore aux défis liés à son explicabilité.

(lire plus)

Le projet DEEL @NeurIPS 2021 !

5 publications scientifiques de l'IRT Saint Exupéry, d'ANITI et de l'Université de Toulouse, publiées dans le cadre du projet DEEL, ont été sélectionnées pour la prestigieuse conférence NeurIPS^[1] 2021, preuve de la qualité des travaux en intelligence artificielle menées par les équipes !

[1] Neural Information Processing Systems est une conférence scientifique en intelligence artificielle et neurosciences computationnelles qui se tient chaque année aux Etats-Unis

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).

Présentation des résultats du projet S2C au Groupe de travail SdF Occitanie

Le 1er octobre 2021, le projet S2C (System & Safety Continuity) a présenté ses premiers résultats au Groupe de travail Sûreté de Fonctionnement (SdF) Occitanie, composé d'industriels et d'académiques intéressés par cette thématique. Cette action est en ligne avec les objectifs de dissémination à large échelle du projet.

Ce fût également l'occasion de présenter les méthodes de maîtrise des risques développées par 3 autres centres de compétences (Energie Haute Fiabilité, IA pour les systèmes critiques, Systèmes Embarqués Critiques).



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.

Le projet R-EVOL

Proposant une méthodologie permettant de faire un lien entre l'ingénierie des systèmes basés sur les modèles et le domaine de l'optimisation multidisciplinaire, ce projet contribue pleinement à la continuité numérique.

Il contribue également à l'amélioration de l'efficacité, la robustesse et la fiabilité des processus d'optimisation multidisciplinaire grâce au développement de techniques innovantes, et permet d'étendre les capacités MDO au multi-mission et à la propagation d'incertitudes dans les processus ; toutes ces améliorations permettront la mise en place d'une utilisation industrielle élargie et routinière de la MDO.

Formulations MDO &
exploration automa-
tique 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 embarqués critiques.



Domaines R&T

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

Quel que soit le domaine industriel, la plupart des fonctions assurées par les systèmes embarqués dépendent d'architectures de calcul et de communication complexes exploitant les dernières technologies en matière de composants électroniques et de protocoles de communication. Dans ce contexte, le centre de compétences « **Systèmes embarqués critiques** » relève le défi sans cesse renouvelé d'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.

Dans ce but, nous menons nos recherches selon trois axes principaux :

- le temps réel, pour garantir que les services seront fournis 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 (SoCs^[1], FPGAs^[2], GPUs^[3], 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.).

Embarquabilité & vérification des applications de machine learning

Sur la base de nos activités de recherche concernant les architectures matérielles pour le calcul "temps réel", et s'appuyant sur le centre de compétence « Intelligence Artificielle pour les systèmes critiques », notre objectif est d'aider les industriels à trouver des solutions appropriées et sûres pour le déploiement d'algorithmes d'apprentissage automatique sur des plateformes embarquées. Cette activité repose sur notre expertise en matière d'algorithmes d'apprentissage automatique, de chaînes d'outils de déploiement (par exemple TFlite^[4], TVM^[5], etc.) et de plateformes matérielles. Au-delà des questions de déploiement, nos activités de recherche portent également sur la définition et la formalisation des activités de vérification et de validation des systèmes intégrant des algorithmes d'apprentissage automatique en combinant les techniques d'ingénierie système basée sur les modèles et la formalisation du raisonnement à l'aide des « *assurance cases* ».

[1] Systems on Chips
 [2] Field-programmable gate arrays
 [3] Graphics Processing Units
 [4] [5] TensorFlow Lite & TVM : frameworks open source de deep learning

Méthodes formelles pour les hardware & software critiques embarqués

Hardware & software déterministes & prévisibles

Hardware, software & communications déterministes & prévisibles

Systèmes distribués déterministes & prévisibles

Systèmes embarqués fiables basés sur l'intelligence artificielle



Systèmes embarqués distribués de haute performance, déterministes & prévisibles

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



ZOOM

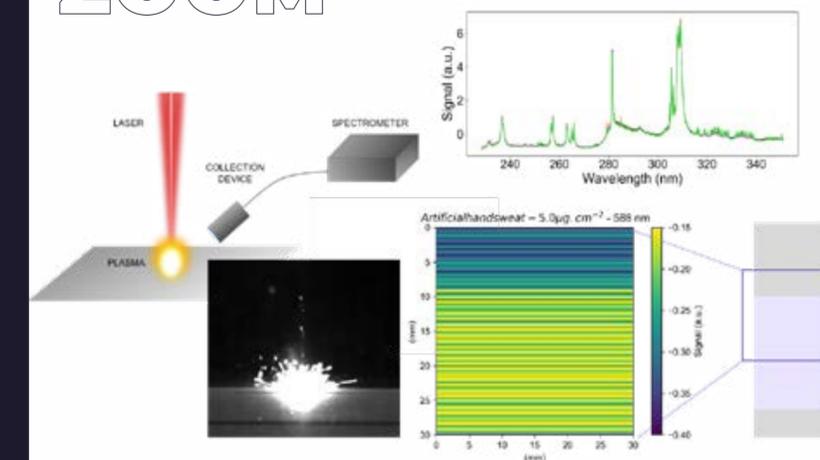
Évolution du pilote d'ensimage

Une DSC (Differential Scanning Calorimetry) et un Rhéomètre-DMA (Dynamic Mechanical Analysis) ont été acquis via le projet COMPINNOVHT pour des analyses thermiques, rhéologiques et mécaniques de polymères rentrant dans la fabrication de préimprégnés sur notre chaîne pilote, améliorée pour pouvoir transformer des résines thermoplastique, thermodurcissable et vitrimères.

LIBS in-situ

Le LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) in situ développé par et à l'IRT Saint Exupéry est un moyen de contrôle non destructif basé sur l'analyse spectroscopique du plasma généré lors d'une préparation de surface par laser. Complémentaire au monitoring vidéo du traitement laser, il permet de combiner la préparation et le suivi en ligne de la contamination de surface avant collage, fiabilisant ainsi le procédé.

ZOOM



ZOOM

Nouveau Datacenter

Nous proposons des machines de calcul équipées de GPU (Graphics Processing Unit) récents (environ 600 cœurs CPU + 38 GPU), une gestion centralisée des utilisateurs et projets, des espaces de stockage à accès contrôlés, et des capacités de virtualisation. Nous accueillons les développements autour du cœur 5G des projets SuperG et 5GMed, les développements OpenCloud (projet SB), ainsi que la majorité des activités autour de l'IA (projets DEEL, Confiance.ai, Minds, Dcade, Amimaia, et Raptor).

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.

Services R&T

Consulting & Expertise
Étude de faisabilité
Ingénierie :
guidelines, modèles,
bases de données, standards
& évaluation de la maturité
technologique

Services plateformes

Caractérisation
Modèles & simulation
Optimisation
Accès aux plateformes &
équipements
Formation sur moyens

lire plus

visites virtuelles

consultez nos
plateformes
technologiques
à **Toulouse**



consultez nos
plateformes
technologiques
à **Bordeaux**



merci à **nos** membres & partenaires.



Membres et partenaires industriels – PME, ETI et Grands Groupes

ACTIVEEON – ACXYS – ADDUP - ADVANS GROUP – AEROCONSEIL - AIRBUS DEFENSE & SPACE
 - AIR LIQUIDE – ALSTOM - ALTER TECHNOLOGY FRANCE ALTRAN – ANDRA - APSI3D – APSYS -
 ARIANE GROUP - ARKEMA FRANCE – ASTC – ATOS - AUBERT & DUVAL – AVIACOMP - CAPAERO
 - CAPGEMINI DEMS FRANCE - CENAERO FRANCE SAS – CERFACS – CETIM – CHOMARAT –
 CIMULEC – COMAT - CONTINENTAL AUTOMOTIVE FRANCE - CONTINENTAL DIGITAL SERVICES
 - CS GROUP FRANCE – DASSAULT AVIATION – EIKOSIM – ELEMCA - ELEMENT MATERIALS
 TECHNOLOGY – ELLIDISS - ELVIA PCB - EPSILON INGENIERIE – ERNEO - ESSEX-IVA - EXPLEO –
 FUSIA - GEO4I - GIT SAS - HEXCEL COMPOSITES - HEXCEL REINFORCEMENTS – HUTCHINSON
 – ICAM – INATYSO – INS - INSIDE TOULOUSE - INVENTEC PERFORMANCE CHEMICALS - IREPA
 LASER - ISP SYSTEM - KRONO-SAFE – LAAM – LATECOERE – LATELEC – LGM – MAGELLIUM –
 MBDA - MECAPROTEC INDUSTRIES - MITSUBISHI ELECTRIC EUROPE B.V. - MOTEURS LEROY
 SOMER SAS - MY DATA MODELS - NAWA TECHNOLOGIES – NEXANS - NEXIO TECHNOLOGIES
 - NIDEC MOTEURS LEROY SOMER SAS – NUCLETUDES - OERLIKON AM GMBH - OERLIKON
 BALZERS FRANCE - OPT’ALM - PFW AEROSPACE GMBH - PORCHER INDUSTRIES – PROTECNO
 - QOS DESIGN – RADIAL – RECAERO - RENAULT SOFTWARE LABS - SAMARES ENGINEERING
 - SCALIAN DCP – SCIAKY - SD TECH MICRO - SEG DIELECTRIQUES - SERMA INGENIERIE – SII –
 SNCF – SOBEN – SOCOMORE – SOURIAU - SPACE CO DESIGN EUROPE – SPASCIA - SPECIFIC
 POLYMERS - STEEL ELECTRONIQUE - STELIA AEROSPACE - STTS GROUP - SUEZ EAU FRANCE
 - SUPERGRID INSTITUTE - SYNOPSIS – SYRLINKS – TEAMCAST – TECHFORM – TELESPIAZIO
 - TFE ELECTRONICS - THALES CANADA INC. - THALES DMS FRANCE - THALES SERVICES
 NUMERIQUES – TRAD - VITESCO TECHNOLOGIES - VIVERIS TECHNOLOGIES – VOXAYA

Membres & partenaires académiques, publics et institutionnels

AEROSPACE VALLEY – CEA - CPES (VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE
 UNIVERSITY) – CRIAQ – DGA - GEORGIA TECH UNIVERSITY – INEGI - INP BORDEAUX - INP
 TOULOUSE – INRIA - INSA LYON - INSA TOULOUSE - IRT JULES VERNE - IRT M2P - IRT SYSTEM X
 - ISAE-SUPAERO - IUTC-ONCOPOLE (INSTITUT CLAUDIUS REGAUD) – IVADO – ONERA –
 SAFE CLUSTER - UNIVERSITE BRETAGNE SUD - UNIVERSITE D’ARTOIS - UNIVERSITE DE
 BOURGOGNE - UNIVERSITE DE GERONE - UNIVERSITE DE HAUTE-ALSACE - UNIVERSITE DE
 LAVAL - UNIVERSITE DE MONTPELLIER - UNIVERSITE DE PORTO - UNIVERSITE LORRAINE -
 UNIVERSITE PAUL SABATIER - UNIVERSITE TECHNOLOGIQUE DE BELFORT-MONTBELIARD -
 UNIVERSITY OF MICHIGAN



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)