

CNRS x Safran Tech

Matière à voler

À l'heure où l'aéronautique doit répondre à des défis technologiques majeurs liés aux impératifs environnementaux, l'innovation s'impose comme un enjeu central. Dans ce contexte, accompagner l'aviation de demain implique de faire dialoguer recherche fondamentale et réalités industrielles dans une logique de co-construction.

L'électrification de l'aéronautique illustre pleinement cette réalité. Porteuse de nouvelles perspectives, elle soulève également d'importants défis scientifiques et technologiques, au premier rang desquels figurent les matériaux. C'est précisément dans cette dynamique qu'est née la collaboration entre Safran Tech, le centre de recherche technologique de Safran, et le laboratoire Softmat¹, notamment spécialisé en chimie des polymères. Au cœur du projet : les vitrimères, une nouvelle génération de matériaux capables de réorganiser leur structure sous l'effet de la chaleur. Ils pourraient permettre de limiter l'apparition de fissures dans les résines d'isolation des moteurs électriques, tout en améliorant la réparabilité et le recyclage de composants stratégiques comme le cuivre. Une piste encore exploratoire, mais qui ouvre des perspectives prometteuses pour l'aviation de demain.

Dans l'entretien qui suit, Marc Guerre, chimiste CNRS au laboratoire Softmat¹, et Gérard Lopez, ingénieur R&T chez Safran Tech, reviennent, sur l'origine de ce partenariat, les complémentarités qui en font la force, les défis scientifiques et industriels rencontrés, et les ambitions qu'il nourrit.

▼ L'avion d'entraînement de Diamond Aircraft, l'eDA40, est propulsé par le moteur électrique intelligent ENGINeUS™ 100 et équipé d'un système de protection électrique de Safran
© Diamond Aircraft Industries GmbH



Gérald, pouvez-vous nous expliquer le problème que Safran Tech cherche à résoudre et qui vous a amené à contacter Marc ?

Gérald Lopez : Les moteurs électriques destinés au domaine aéronautique contiennent des fils de cuivre qui doivent être parfaitement isolés électriquement. Pour assurer cette protection, ils sont encapsulés dans une résine. Or, en fonctionnement, cette résine est soumise à des contraintes extrêmes, notamment thermiques, mécaniques et électriques.

A l'intérieur du moteur coexiste en effet des matériaux de nature très différente : du cuivre, de l'aluminium, des résines, entre autres. Sous l'effet de la chaleur, tous se dilatent selon le même principe physique, mais pas avec la même intensité ni à la même vitesse. Or, en service, un moteur peut atteindre jusqu'à 180 °C.

Ces différences de dilatation génèrent des contraintes mécaniques importantes, et la résine, qui constitue le maillon le plus fragile du système, finit par se fissurer.

Safran Tech travaille pour différentes sociétés du Groupe sur cette problématique des résines d'isolation destinées aux nouvelles générations de machines électriques.

J'ai rapidement pensé aux résines vitrimères. Elles me semblaient particulièrement adaptées pour répondre aux contraintes de performance et de durabilité de ces nouvelles architectures électriques. C'est alors que j'ai contacté Marc dont je connaissais l'expertise dans le domaine.

Marc, pourriez-vous nous éclairer sur les vitrimères ?

Marc Guerre : Les vitrimères, sont des résines dont le réseau interne est dynamique. Contrairement aux résines classiques, comme celles utilisées dans les pales d'éoliennes, les avions ou certaines colles, qui deviennent irréversiblement rigides une fois fabriquées, les résines vitrimères gardent une sorte de mobilité interne.

On peut considérer que ce sont des matériaux « vivants » : solides comme une résine thermodurcissable classique, mais capables de s'écouler à nouveau quand on leur apporte de la chaleur.

Quelle est la propriété clé des vitrimères pour l'isolation des moteurs électriques ?

Marc Guerre : On a identifié trois effets utiles !

La réparation des fissures tout d'abord qui était notre idée de départ : en chauffant la résine vitrimère, sa mobilité lui permet de refermer les fissures existantes.

Puis on a découvert un effet encore plus intéressant : la prévention de la formation des fissures. Grâce aux échanges dynamiques permanents dans le réseau, les contraintes générées par les dilatations différentielles sont naturellement dissipées, la fissure ne se forme pas.

Et enfin, la dégradabilité : avec les résines classiques,

Le principal atout d'un partenariat entre la recherche et l'industrie réside dans la complémentarité des approches.

recupérer le cuivre des moteurs en fin de vie est très difficile. Avec les vitrimères, on peut dégrader la résine facilement et récupérer les métaux intacts, notamment le cuivre, qui peut ainsi être revalorisé. C'est là que se situe l'essentiel de l'intérêt économique : un moteur contient quelques kilos de résine, mais également beaucoup de cuivre.

Comment s'est formalisée cette collaboration ?

Marc Guerre : La collaboration s'est structurée sous forme d'une thèse Cifre² (cf. encart, page 5) qui a été essentiellement exploratoire. Des petits prototypes reproduisant de manière très simplifiée le comportement d'un moteur réel, ont été fabriqués.

Ces travaux ont permis de démontrer que les vitrimères avaient un réel potentiel pour cette application ainsi que leur capacité de dégradabilité. Ils ont également conduit au dépôt d'un brevet³ en 2025 . Deux autres brevets ont également été déposés en 2026.

Pourquoi recourir à un partenariat avec un laboratoire de recherche publique ?

Gérald Lopez : Le partenariat répondait à un besoin clairement identifié : bénéficier d'une expertise scientifique de haut niveau en chimie et physico-chimie des matériaux, ainsi que d'une capacité d'investigation fondamentale et exploratoire que l'industrie ne peut généralement pas conduire seule dans ses cycles de développement.

L'enjeu n'était pas seulement d'améliorer une formulation existante. Il s'agit d'approfondir notre compréhension des mécanismes fondamentaux : vieillissement des résines, recyclabilité, relations entre structure moléculaire, procédés de mise en œuvre et propriétés fonctionnelles.

Ce type de questionnement fondamental appelle une autre temporalité et d'autres outils que celui du monde industriel.



▼ Echantillons de vitrimères, résines dont le réseau interne est dynamique
© Mélina Le Corre

Quelles retombées concrètes observez-vous aujourd'hui pour chacune des parties ?

Gérald Lopez : Le principal atout d'un partenariat entre la recherche et l'industrie réside dans la complémentarité des approches.

Du côté académique, les partenaires apportent une expertise scientifique approfondie, des outils de caractérisation avancés, une capacité à investiguer les phénomènes fondamentaux avec du recul.

Du côté industriel l'apport se situe dans la connaissance des contraintes applicatives réelles, les exigences de certification et de robustesse, la vision système, et la culture du passage à l'échelle industrielle.

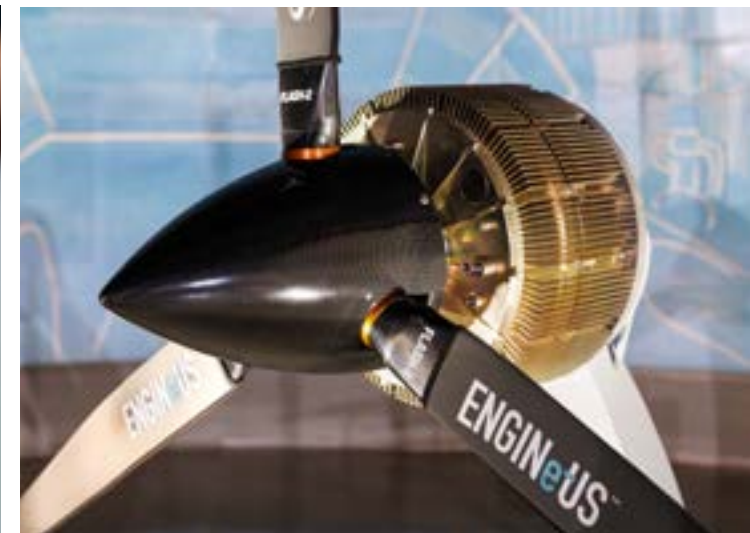
Cette interaction permet d'éviter deux écueils symétriques : développer des matériaux très performants mais non industrialisables, ou rester enfermé dans des optimisations incrémentales sans rupture technologique. Concrètement, si je constate que les recherches s'orientent vers des chimies trop complexes, impliquant une multitude d'étapes de synthèse et difficiles à industrialiser, je les réoriente. C'est la co-construction qui rend tout cela possible.

Avez-vous l'ambition de donner une nouvelle ampleur à cette dynamique ?

Marc Guerre : La réponse est oui. Les défis technologiques à venir vont être encore plus complexes : électrification des systèmes, augmentation des densités de puissance, nouvelles contraintes thermiques, durabilité, réduction de l'empreinte environnementale. Aucun acteur, qu'il soit académique ou industriel, ne pourra répondre seul à l'ensemble de ces enjeux.

L'ambition serait désormais de structurer cette dynamique à l'échelle nationale à travers la création d'un laboratoire commun (cf. encart, page 5). Le sujet des vitrimères appliqués au domaine électrique offre un potentiel de recherche considérable. Les perspectives sont suffisamment riches pour alimenter plusieurs axes de recherche en parallèle pendant de nombreuses années.

À plus long terme, cette collaboration pourrait ouvrir la



▼ Moteur électrique ENGINEUS™ développé par Safran dédié à l'aéronautique
© Claire-Lise Havet

voie à une nouvelle génération de matériaux d'isolation mieux adaptés aux architectures électriques de demain et aux exigences croissantes de l'électrification aéronautique.

Pour terminer, quelles sont désormais les prochaines étapes ?

Marc Guerre : Une nouvelle thèse Cifre va être engagée.

Elle s'articulera autour de trois nouveaux axes de recherche, avec de nouveaux partenaires académiques. Avec le laboratoire PIMM⁴, les résines seront évaluées en conditions de vieillissement accéléré (cycles thermiques représentatifs des vraies conditions d'utilisation en vol) afin de vérifier la stabilité des « propriétés vitrimères » dans le temps. En partenariat avec le CIRIMAT⁵, les travaux porteront sur les charges minérales. Celles-ci permettent d'apporter une conductivité thermique aux résines vitrimères : ça leur permet d'évacuer la chaleur tout en isolant le moteur. L'objectif sera d'identifier des particules présentant les meilleures performances thermiques afin de limiter leur taux de charge massique, et ainsi obtenir un matériau plus homogène et plus facile à mettre en œuvre.

L'objectif final reste d'encapsuler un vrai moteur électrique sur un site industriel de Safran.¹

[1] Softmat : Chimie des colloïdes, polymères & assemblages complexes (CNRS - Université de Toulouse)

[2] « Résines époxy thermoconductrices, autoréparantes et recyclables pour l'isolation de moteurs électriques destinés à l'aéronautique » - Théo Vialon

[3] « Matériau composite vitrimère thermoconducteur » - FR3153825A1

[4] Procédés et ingénierie en mécanique et matériaux du Centre national des arts et métiers

[5] Centre interuniversitaire de recherche et d'ingénierie des matériaux (CNRS - Université de Toulouse)

Public x privé

Focus sur deux modes de partenariats structurants



► Marc Guerre, chercheur CNRS au Softmat (à gauche sur la photo), est engagé dans une collaboration avec Gerald Lopez, ingénieur R&T chez Safran Tech, autour de l'utilisation d'une nouvelle génération de matériaux pour l'aviation électrique : les vitrimères.

En Occitanie Ouest

Prés de

60

thèses Cifre en cours

16

laboratoires communs avec des industriels

Le dispositif des Conventions industrielles de formation par la recherche (Cifre)

« Ce dispositif permet à l'entreprise de bénéficier d'une aide financière pour recruter un jeune doctorant dont les travaux de recherche, encadrés par un laboratoire public de recherche, conduiront à la soutenance d'une thèse.

Plébiscité aussi bien par les entreprises que par les laboratoires et les doctorants, ce dispositif phare de la recherche partenariale constitue un levier pour initier et renforcer les coopérations public-privé en R&D et favoriser l'emploi des docteurs. Il concourt au processus d'innovation des entreprises françaises et à leur compétitivité. »

Source : Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche

Les laboratoires communs : une recherche partenariale durable

Un laboratoire commun est une structure de recherche créée conjointement par un ou plusieurs acteurs académiques (universités, organismes de recherche, laboratoires publics) et une entreprise privée afin de mener des travaux de R&D sur le long terme.

Contrairement à une collaboration ponctuelle autour d'un projet ou d'une thèse Cifre, le laboratoire commun vise à installer une coopération durable, avec :

- une feuille de route scientifique partagée
- des équipes qui travaillent ensemble de manière continue
- parfois des équipements mutualisés
- et une gouvernance commune autour des objectifs de recherche et d'innovation.

Pour aller plus loin

En savoir plus sur les travaux de recherche menés au laboratoire Softmat sur les vitrimères

Visionnez la vidéo FACE CAM - « Vers les matériaux du futur » Marc Guerre y explique l'approche inédite qui utilise la chimie radicale pour générer de nouveaux vitrimères à la fois résistants, réparables et recyclables à chaud.



En savoir plus sur les formats de partenariat public x privé avec le CNRS

Consultez le site du CNRS, rubrique « Nos innovations »



Contact en Occitanie-Ouest

Service partenariat et valorisation : spv@dr14.cnrs.fr

