



Dossier de presse

Jeudi 21 avril 2022

Projet MAMA

Metallic Advanced Materials for Aeronautics

Un ensemble d'innovations technologiques
au service de la construction aéronautique

AIRBUS



IRT Saint Exupéry

www.irt-saintexupery.com

Sommaire.

I- Le projet MAMA	3
1. Description du projet.....	3
2. Objectifs du projet.....	4
3. La feuille de route du projet	4
II- Un projet au rayonnement régional	5
1. Un ancrage territorial	5
2. Les partenaires du projet	6
III- Les leviers technologiques éprouvés	12
IV- Démonstrateurs technologiques réalisés	13
1. Démonstrateurs TRL4 de matriçage à très haute température	13
2. Démonstrateurs TRL6 de matriçage à très haute température	14
3. Démonstrateurs TRL4 de réparation de pièce d'avion en titane.....	15
4. Démonstrateurs TRL4 de réparation d'outillages de matriçage.....	15
5. Démonstrateurs TRL4 de rechange de pièces aéronautiques par fabrication additive	16

I- Le projet MAMA

1. Description du projet

Depuis plusieurs années, l'IRT Saint Exupéry¹ s'est engagé dans le développement de technologies de transformation à chaud d'alliages métalliques auprès d'acteurs industriels aéronautiques nationaux, dans le but d'accroître leur compétitivité technico économique à l'échelle internationale. Le projet MAMA (**M**etallic **A**dvanced **M**aterials for **A**eronautics) s'inscrit dans cet objectif à travers le renforcement et la modernisation du secteur industriel français de la construction aéronautique et de sa chaîne d'approvisionnement fortement concurrencé par des acteurs étrangers (Europe, Asie, Etats-Unis, Russie). Les enjeux de souveraineté nationale sont majeurs dans ce domaine, renforcés par le contexte géopolitique international actuel.

Ce projet de recherche s'intéresse prioritairement au développement de briques technologiques et connaissances scientifiques dans le domaine de la fabrication, de la réparation et de la fonctionnalisation de pièces mécaniques critiques² d'aéronefs à très forte valeur ajoutée (éléments de trains d'atterrissage, de systèmes propulsifs, de fuselage). L'usage de matériaux métalliques reste privilégié pour ces éléments et les choix de conception dans les dernières (et futures) générations d'avions ont conduit à une utilisation élargie des alliages de titane au détriment des aciers ou des alliages d'aluminium (à titre d'exemple, la proportion en masse d'alliages de titane utilisés dans les avions est passée de 8% pour le programme A320 dans les années 1980 à presque 15% pour le programme A350), entraînant une augmentation significative des coûts de fabrication.

Les objectifs de réduction de coûts, et de compétitivité économique de l'industrie française dans le domaine de la construction aéronautique, associés au fait que le titane a été placé récemment dans la liste des « substances critiques pour l'Union Européenne »³, ont motivé le lancement de ce projet de recherche en 2018.

Le projet, piloté par l'IRT Saint Exupéry et financé à 50% par le PIA (Programme d'Investissements d'Avenir), 25% par la Région Occitanie et 25% par des fonds privés, regroupe aujourd'hui huit acteurs industriels et académiques de la filière aéronautique (Airbus, Aubert & Duval, CIRIMAT, ENIT, OPT'ALM, MECAPREC, RECAERO et Sciaky). Son budget est d'environ 10 millions d'Euros.

¹ L'Institut de Recherche Technologique (IRT) Saint Exupéry est un accélérateur de science, de recherche technologique et de transfert vers les industries de l'aéronautique et du spatial pour le développement de solutions innovantes sûres, robustes, certifiables et durables.

² Dans le domaine de l'aéronautique, on entend par « pièce critique » un élément de structure de l'aéronef dont la fiabilité doit être garantie en toutes circonstances, la défaillance de ce dernier pouvant remettre en cause la sécurité d'un vol ou les fonctions principales de l'appareil

³ <https://www.mineralinfo.fr/fr/actualite/actualite/actualisation-de-liste-des-substances-critiques-pour-lue>

2. Objectifs du projet

L'objectif principal du projet MAMA réside dans la réduction significative des coûts de fabrication des pièces de structure primaire aéronautiques en alliage de titane TA6V, de l'ordre de 30 à 40% par rapport à la situation industrielle actuelle.

Pour remplir cet objectif, le projet s'appuie sur plusieurs leviers techniques. Le premier d'entre eux concerne le matriçage à très hautes températures permettant la production de pièces à la géométrie très proche de la pièce finale souhaitée, entraînant par la même une réduction de la quantité de matière première utilisée ainsi qu'une baisse des coûts des opérations d'usinage ultérieures. Le projet développe d'autre part une approche originale d'hybridation entre les procédés de matriçage et de fabrication additive visant là encore à réduire les coûts de fabrication mais aussi à intégrer de nouvelles fonctions. Enfin, le projet vise à valider une utilisation élargie de matière première issue de la filière de recyclage ou de gammes de transformation moins énergivores.

Au-delà des développements scientifiques et technologiques menés au cours de ces travaux de recherche, le projet vise à renforcer la filière industrielle française du titane sur l'ensemble de la chaîne de valeur, depuis l'élaboration jusqu'à l'utilisation en service dans le domaine du transport aérien.

3. La feuille de route du projet

Le projet a démarré en 2018 et se terminera à l'été 2023. Grâce notamment à la mise en place d'une plateforme de recherche commune entre l'IRT Saint Exupéry et Aubert & Duval, entre 2018 et 2019, et qui constitue désormais un outil unique en Europe, des étapes majeures ont été franchies récemment dans la réduction des coûts, d'énergie et de matière première engagée. L'échelle semi-industrielle à laquelle les travaux de recherche ont été menés, les outils numériques développés et les niveaux de maturité atteints permettent d'afficher des économies de matière première engagée de l'ordre de 30 à 40% par rapport à la situation industrielle actuelle. Ces gains ont pu être consolidés du fait de l'implication forte des acteurs industriels et académiques du projet (avionneur, élaborateur et producteur de pièces matriçées, usineurs, acteurs de la fabrication additive). L'objectif à terme du projet MAMA à l'été 2023 est de valider un niveau de TRL6⁴ dans le domaine du matriçage à très haute température. Le niveau TRL6 constitue en effet un jalon essentiel entre la phase de recherche et le déploiement industriel de la solution.

Les autres voies de réduction des coûts et de quantité de matière première engagée dans la fabrication de pièces à très forte valeur ajoutée (hybridation avec la fabrication additive, filière du recyclage, procédés de réparation et de fonctionnalisation par fabrication additive) ont également connu des avancées majeures ces derniers mois et l'atteinte d'un niveau de maturité TRL4 est attendue d'ici à la fin du projet.

⁴ L'échelle TRL (en anglais Technology Readiness Level, qui peut se traduire par niveau de maturité technologique) est un système de mesure développé par la NASA dans les années 1970 et depuis largement employé dans différents secteurs industriels pour évaluer le niveau de maturité d'une technologie (matériel, composants, périphériques, etc.), notamment en vue de financer la recherche ou dans la perspective d'intégrer cette technologie dans un système ou un sous-système opérationnel. Dans l'adaptation de l'échelle TRL retenue pour le projet MAMA, le niveau TRL6 valide la robustesse du procédé de fabrication et la reproductibilité des propriétés d'emploi des démonstrateurs produits ; ces démonstrateurs doivent être représentatifs de pièces d'aérostructure, en morphologie comme en dimensions, et produits dans un environnement représentatif de l'environnement de production industriel (ou dans l'environnement industriel lui-même).

II- Un projet au rayonnement régional

Ce projet présente un ancrage régional très fort en Occitanie.

Les avancées récentes du projet ont ainsi permis à la société Aubert & Duval (site de Pamiers) de proposer une industrialisation des résultats obtenus auprès de son client Airbus pour plusieurs références de produits à très forte valeur ajoutée, conduisant à terme à un renforcement de la filière française de la construction aéronautique, et s'inscrivant dans des objectifs de souveraineté de cette dernière. Ce renforcement trouve tout son sens dans le contexte géopolitique international actuel.

D'autre part les fournisseurs MECAPREC, RECAERO et OPT'ALM, grâce au soutien de la Région Occitanie, bénéficient des travaux de ce programme de recherche dans le domaine de l'usinage, de la réparation d'outillages ou de la maintenance aéronautique (marché MRO – Maintenance, Repair and Overhaul), leur permettant d'élargir leur offre technique et commerciale.

Enfin, le projet s'appuie sur les compétences reconnues à l'échelle internationale des laboratoires CIRIMAT (Toulouse) et ENIT (Tarbes) dans le domaine de l'oxydation à hautes températures des alliages métalliques et de la mise en forme à chaud de ces derniers.

1. Un ancrage territorial



« Malgré la crise sanitaire et économique à laquelle a été confronté le secteur aéronautique, je salue l'avancement du projet MAMA porté par l'IRT Saint Exupéry et soutenu par de nombreux partenaires. La Région mobilise une enveloppe de 2,5 M€ pour ce projet collaboratif qui vise à développer de nouveaux procédés industriels dans le domaine de la forge.

Dans un contexte international marqué par un risque de pénurie du titane, détenir ce savoir-faire et ces compétences technologiques en Occitanie revêt d'un enjeu de souveraineté nationale. Ce projet répond à des enjeux technologiques, économiques et environnementaux pour optimiser les procédés industriels, réduire les coûts et décarboner l'industrie.

*Le projet MAMA c'est aussi un lien qui m'est cher entre l'entreprise et le monde académique. C'est grâce à la mutualisation des forces de chacun (laboratoires de recherche, grands groupes et PME) que notre région restera à la pointe dans le secteur aéronautique et spatial. Pour cela nous devons notamment miser sur la R&D et accompagner la naissance de projets structurants pour la filière sur notre territoire », a déclaré **Carole Delga, présidente de la Région Occitanie.***



AIRBUS



OPTALM
Association Manufacturiers Occitans



2. Les partenaires du projet

IRT Saint Exupéry



« La mission de l'IRT Saint Exupéry est de faire le lien entre les acteurs académiques et industriels autour de projets de recherche collaboratifs. La capacité de l'IRT à traiter les verrous technologiques sur l'ensemble de la chaîne de valeur, depuis l'élaboration de pièces de titane à hautes valeurs ajoutées jusqu'à leurs utilisations en service, démontre une fois de plus la force de ce modèle.

Le budget très conséquent de 10 millions d'euros, soutenu par la Région Occitanie et le Plan d'Investissement d'Avenir, témoigne d'une stratégie régionale visionnaire afin de promouvoir la recherche et son application dans le monde industriel à échelle nationale. Au regard du niveau d'excellence requis pour ces matériaux, notamment pour des structures et systèmes complexes, les résultats, obtenus en quelques années, sont remarquables. C'est une avancée conséquente pour la souveraineté de la filière

», déclare **Denis Descheemaeker, Directeur Général de l'IRT Saint Exupéry.**

« Par ce modèle et les résultats remarquables (de 30 % à 40% de gain de matière engagée), il s'agit d'un projet extrêmement structurant et valorisant. Il fédère à la fois des partenaires publics (la Région Occitanie et Secrétariat Général pour l'Investissement), des établissements dédiés à la recherche publique (l'ENIT et le CIRIMAT), des industriels de premier ordre (Airbus et Aubert & Duval) et des PME locales et internationales aux savoir-faire spécifiques (MECAPREC, OPT'ALM, RECAERO et Sciaky) », conclut Denis Descheemaeker.

Airbus

Airbus a un rôle déterminant dans le projet MAMA : l'avionneur apporte à chaque étape du projet une dimension industrielle pour garantir une exécution concrète. « Le projet MAMA est une aventure technologique avec l'objectif d'un meilleur usage de la matière première », commente **Damien Proust, VP Airframe Propulsion Engineering, Airbus.**



La problématique de l'utilisation frugale de cette matière est essentielle, le titane peut représenter en effet jusqu'à 15% de la masse totale d'un avion aujourd'hui, une augmentation nette (on parlait de 8% il y a une vingtaine d'années).

La particularité du projet réside dans l'alignement des porteurs du projet dès le début : l'intégrateur (Airbus), l'industriel (Aubert & Duval) et le partenaire académique et scientifique (IRT Saint Exupéry). La force de cette collaboration garantit la qualification industrielle des différentes pistes de recherches étudiées.



AIRBUS



OPTALM



CIRIMAT
Toulouse



« Evidemment, la dimension scientifique est fondamentale sur ce projet mais elle est doublée d'une dimension industrielle pour valider chaque nouvelle étape d'avancement et s'assurer de l'adéquation au besoin de production en série à grande échelle. En notre qualité d'intégrateur, nous posons des attentes ambitieuses en termes d'échéance et d'économie de matière qui sont essentiels pour embarquer rapidement sur nos avions cette technologie », poursuit Damien Proust.

Aubert & Duval



Filiale du groupe Eramet spécialisée dans la métallurgie haut de gamme, Aubert & Duval est l'un des leaders mondiaux des aciers de hautes performances, des superalliages, du titane et de l'aluminium.

L'usine Aubert et Duval Pamiers est spécialisée dans la fabrication de grandes pièces matricées pour les marchés de l'aéronautique et de l'énergie, des pièces pouvant peser jusqu'à 13 tonnes et atteindre plus de 2 mètres de diamètre.

L'usine est dotée d'un Atelier de Recherche et Développement en Matriçage (ARDEM) qui, dans le cadre du projet MAMA, travaille avec l'IRT à l'élaboration de nouveaux procédés de fabrication de pièces aéronautiques en titane. Une de contributions majeures d'Aubert et Duval est la mise à disposition d'outils industriels. D'une part, une presse pilote de 1000 tonnes, entièrement renouvelée grâce au projet, et largement sollicitée pour des études TRL4 ; et une presse de production de 22 000 tonnes, utilisée

pour industrialiser des études à des niveaux TRL supérieurs.

« Dans le cadre du projet MAMA, nous mutualisons les ressources autour d'un objectif de recherche commun. Aubert et Duval bénéficie de l'excellence de l'IRT dans la fabrication additive et la métallurgie et met à disposition des outils qui permettent de faire avancer de concert les avancées scientifiques et industrielles. Une approche qui limite fortement les effets d'échelle que l'on peut observer lorsqu'on industrialise des résultats obtenus en laboratoire », commente **Pierre Réga, Directeur Général Adjoint Pièces Matricées, Aubert & Duval.**

« Le projet MAMA nous apporte de l'agilité et de la souplesse pour aborder la construction industrielle de façon innovante. Cette collaboration unique de R&D, soutenue par le PIA et la Région Occitanie, délivre des résultats tangibles face à des défis économiques, environnementaux et stratégiques », ajoute Pierre Réga.

Au-delà d'exploiter commercialement et industriellement les résultats du projet, Aubert & Duval et l'IRT veulent capitaliser sur l'ensemble de la recherche avec notamment l'ouverture du champ d'applications du matriçage à des pièces plus complexes.

MECAPREC

La PME MECAPREC (75 salariés) est spécialiste en usinage de métaux durs (tels que le titane). Le projet MAMA permet à la PME ariégeoise de participer, pour la première fois, à un projet de recherche.

« Nous avons été tout de suite séduits par l'ambition d'avoir des pièces matricées à fine épaisseur grâce au matriçage à haute température. Les gains pour l'usinage sont multiples : on diminue le temps d'usinage et la quantité de copeaux. Cet engagement écoresponsable et économique est une vraie promesse d'avenir et relever un défi est toujours intéressant », commente **Jean-Marc Gomez, Président de MECAPREC.**

Une équipe de 6 personnes de MECAPREC était dédiée au projet, son travail consistait à étudier la déformation des différentes éprouvettes envoyées par l'IRT Saint Exupéry.

« Nous avons apporté notre expertise industrielle nos connaissances d'usineur sur le risque de rupture des outils ou la déformation de pièce à l'IRT Saint Exupéry. Nous n'avons habituellement pas ce temps pour modéliser ces phénomènes ; avec MAMA, nous pouvons faire des retours sur la déformation mais aussi sur la stratégie de découpe de la pièce ou sa réaction », poursuit Jean-Marc Gomez.

« Les résultats sont d'ores-et-déjà très encourageants, nous avons pu constater un gain de 15 à 20% en terme de conformité d'usinage. Nous sommes heureux d'être reconnu par nos pairs et de faire partie des premiers à savoir usiner cette nouvelle typologie de pièces. Ce projet est aussi l'occasion de rapprocher des PME de grands industriels en repensant la place et la valeur des plus petites entreprises. Ces partenariats transversaux et coopératifs permettent de proposer des solutions 4.0 pour l'industrie », conclut Jean-Marc Gomez.



RECAERO

Spécialiste dans le domaine des pièces de rechange pour l'aéronautique, l'entreprise RECAERO participe au projet MAMA sur le volet de réparation via la fabrication additive.

Le travail avec l'IRT Saint Exupéry concerne précisément la recharge en apport de matière de fabrication additive sur des pièces endommagées. Au-delà d'élargir le spectre sur l'utilisation de la fabrication additive dans le domaine aéronautique, le but de cette recherche est de rendre, à terme, cette solution industrielle et avionnable. Concrètement, RECAERO a nommé un membre de son équipe au sur ce projet dont l'une des missions était de superviser l'usinage des éprouvettes développées et réalisées par impression 3D par l'IRT Saint Exupéry.

« L'intérêt d'intégrer la technologie de fabrication additive est importante et pertinente pour permettre la réparation rapide sur des pièces en opération. Nous avons l'intuition que nous devons être prêts quand la technologie sera validée industriellement par les autorités de surveillance », commente **Nicolas Pobeau, Président de RECAERO.**



Par la technologie de dépôt de fil sur pièce, RECAERO et l'IRT Saint Exupéry proposent également de reconstruire des ébauches de pièces à très forte valeur ajoutée. Etant donné que les contraintes mécaniques exercées sur ces pièces sont extrêmement fortes, les nouveaux éléments

issus de cette technologie doivent être capables de supporter ces mêmes contraintes pour répondre aux spécifications de l'avionneur (Airbus dans ce cas précis) pour être validés.

« Les travaux réalisés avec l'IRT Saint Exupéry sont tout à fait alignés avec notre cœur de métier, c'est un transfert de connaissance et d'expertise nécessaire », ajoute Nicolas Pobeau.

OPT'ALM

Société créée en mars 2015, OPT'ALM est spécialisée dans la fabrication additive pour fabriquer, réparer des pièces mécaniques et ajouter des formes et des fonctions sur des pièces existantes.

L'entreprise toulousaine utilise la technologie de DED (Directed Energy Deposition) poudre métallique. Ce procédé consiste à faire fondre de la poudre d'alliages métalliques à l'aide d'un rayon laser, et ensuite de déposer ce métal en fusion sur des pièces pouvant aller jusqu'à 1 mètre de long. OPT'ALM développe des projets autour des matériaux, dans le but d'apporter des nuances différentes et de nouveaux matériaux sur des pièces mécaniques : une approche multi-matériaux qui rejoint les travaux de l'IRT Saint Exupéry.

6 personnes travaillent sur ces sujets dans les domaines de la défense, l'aéronautique, les transports, les énergies avec un souci d'utiliser le juste besoin de la matière première. Une problématique qui rejoint celle induite par le caractère coûteux et stratégique des alliages de titane.



« Nous étions exactement dans le scope du projet MAMA, et déjà en relation avec Aubert & Duval sur des sujets de réparations d'outillages en apportant un nouvel alliage de matériaux par fabrication additive, qui améliorerait les performances de l'objet initial, avec un objectif plus durable », déclare **Alain Toufine, Président d'OPT'ALM.**

OPT'ALM exploitant une machine identique à celle l'IRT Saint Exupéry, il est aisé de faire un transfert technologique et de données pour partager efficacement les connaissances.

OPT'ALM intervient dans le projet MAMA sur le levier n°2 (cf. III).

OPT'ALM est la seule PME locale exploitant déjà « l'impression 3D » dans le projet. La compétence et le savoir-faire de l'entreprise réside dans ses nombreuses applications clients et sa vision industrielle : cette compétence et capacité machine ont été mises à disposition du projet.

Grâce à cette expertise et à cette utilisation distincte de la technologie, ils apportent l'utilisation industrielle de la Fabrication Additive DED avec parachèvement et finitions inclus, ils embrassent l'ensemble du spectre de la production : OPT'ALM travaille en co-ingénierie avec ses clients en définissant des pièces fabricables par la technologie DED en se projetant sur la réalisation de petite série test.

« Nous avons une relation historique avec l'IRT Saint Exupéry, ce projet collaboratif a énormément de sens, MAMA est une excellente occasion pour développer cette technologie additive en rupture avec ce qui se fait dans l'industrie. C'est un vrai projet pilote, qui s'appuie sur le transfert technologique et de compétences : tous les acteurs de ce projet contribuent à atteindre de nouveaux paliers innovants qui déboucheront sur de nouvelles affaires, étape après étape », conclut Alain Toufine.

SCIAKY

La société américaine Sciaky travaille avec l'IRT Saint Exupéry sur la fabrication additive et en particulier sur une technique unique : la technologie EBAM® (Electron Beam Additive Manufacturing). Leur technique unique de fabrication additive par faisceau d'électrons est spécialisée dans la production de pièces métalliques de grande taille, réalisées dans des métaux coûteux, et qui garantissent la solidité des pièces finales. Cette technologie peut produire de grandes structures métalliques (jusqu'à 5,8 m de long), fabriquées à partir de matériaux à haute performance (tels que le titane, le tantale et les alliages à base de nickel), en quelques heures ou quelques jours et avec très peu de déchets.



« Nous avons déjà travaillé dans le passé avec Aubert & Duval et Airbus, mais ce projet mené par l'IRT Saint Exupéry était particulièrement intéressant et passionnant. Nous avons pu mettre à profit notre technologie EBAM en la combinant avec des procédés de forgeage. Le forgeage des métaux est une activité à laquelle nous n'avons pas accès, et explorer les possibilités de cette hybridation ouvre un certain nombre de possibilités pour optimiser la supply chain et fournir des économies au client final », commente **John O'Hara, Global Sales Manager chez Sciaky.**

« La raison de notre participation au projet MAMA est de développer notre technologie dans l'intérêt général de Sciaky, d'Aubert & Duval et d'Airbus. Ce projet donnera certainement lieu à de nouvelles idées et, au-delà de ce que nous avons réalisé, de nouvelles initiatives d'hybridation technologique découleront de ce que nous faisons avec MAMA », conclut John O'Hara.

CIRIMAT



L'équipe MEMO (Mécanique, microstructure, oxydation, corrosion) du Centre Interuniversitaire de Recherche et d'Ingénierie des Matériaux (CIRIMAT – UMR 5485 CNRS-INP-UPS) a été associée à ce projet par l'IRT Saint Exupéry pour son expertise sur l'oxydation à haute température des alliages de titane, des alliages métalliques issus de la fabrication additive et des revêtements de protection.

« *Le rôle de l'équipe du CIRIMAT (le post-doctorant Clément Cizak et les chercheurs CNRS Daniel Monceau, Enrica Epifano et Damien Connétable) était d'analyser la réactivité entre le verre lubrifiant utilisé pour le forgeage et le substrat en alliage de titane* », commente **Daniel Monceau, Directeur de Recherches au CNRS au Laboratoire CIRIMAT à l'ENSIACET.**

« *L'étude nous a permis de mieux comprendre l'interaction entre le verre et l'alliage de titane et d'avancer sur la compréhension du mécanisme de protection apportée par le verre. Une publication scientifique qui allie des résultats expérimentaux et de la modélisation thermodynamique et à l'échelle atomique est en finalisation de rédaction* », poursuit Daniel Monceau.

« *Ce projet parfaitement conduit par l'IRT Saint Exupéry disposait de toutes les conditions matérielles adaptées. Nous avons trouvé cette expérience enrichissante* », conclut Daniel Monceau.

ENIT

L'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes a été sollicitée par Aubert & Duval et l'IRT Saint Exupéry dans la phase préparatoire du projet et plus particulièrement pour l'étude du comportement rhéologique de matériaux métalliques. Rompus à l'étude du titane et disposant d'un simulateur adéquat, l'ENIT devait étudier le comportement thermomécanique de ce métal lors du matriçage.

Les porteurs du projet voulaient savoir dans quelles nouvelles conditions pouvait être matriçé cet alliage avec la presse d'Aubert & Duval. Ces conditions ont été reproduites à Tarbes avec une machine qui simule des processus thermomécaniques : la Gleeble 3500. Celle-ci peut contraindre des échantillons de titane en compression à haute température et reproduire ce qui sera appliqué par la presse. A la différence d'une machine industrielle, toutes les données sont connues, tous les paramètres sont maîtrisés. En prenant en compte les données issues du savoir-faire de l'industriel (les contraintes techniques de matriçage), l'ENIT a établi, avec les partenaires du projet, un panel de traitements thermomécaniques à simuler. Ces résultats ont été ensuite récupérés par Aubert & Duval et implémentés dans leur logiciel de simulation du matriçage.



Pour mener à bien tous ces travaux, une post-doctorante de l'IRT Saint Exupéry était délocalisée pendant deux ans à Tarbes et deux enseignants chercheurs accompagnaient cette dernière. Deux personnels techniques complétaient l'équipe.

« *C'est un des meilleurs projets de recherche vus au sein de notre laboratoire, nous avons pu en apprendre plus sur le comportement de l'alliage de titane, notamment en lien avec le matriçage* », déclare **Joël Alexis, Enseignant-chercheur à l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tarbes.**



AIRBUS



OPTALM



III- Les leviers technologiques éprouvés

Dès 2018, l'équipe projet MAMA s'est engagée dans la recherche de leviers technologiques permettant de réduire significativement (30 à 40%) les quantités de matière première et d'énergie consommée sur l'ensemble de la gamme de fabrication de pièces élémentaires aéronautiques en alliage de titane TA6V. Trois pistes ont ainsi été identifiées très tôt dans le projet et ont conduit à un effort de recherche soutenu qui se poursuit toujours :

- **Le matriçage à très haute température** permettant un écoulement facilité du métal lors de sa mise en forme, une réduction des efforts de matriçage et l'obtention d'une pièce brute de matriçage (ébauche) plus proche des cotes finales désirées.
L'obtention d'une telle ébauche, si elle offre l'intérêt de réduire significativement le volume de matière éliminé par les opérations d'usinage ultérieures (fraisage), rend ces dernières très délicates. En effet, étant donnée la très forte réduction des surépaisseurs entre la pièce ébauche et la pièce finie, la maîtrise des déformations générées lors de ces opérations est un sujet du premier ordre afin de garantir in fine les tolérances dimensionnelles des pièces élémentaires usinées et leur assemblage ultérieur.
Cette maîtrise passe par la mise en place d'outils de simulation, validés par une démarche expérimentale et qui permettent d'identifier les stratégies d'usinage les plus pertinentes.
- **La combinaison ou l'hybridation du matriçage avec des technologies de fabrication additive** permettant d'améliorer la performance technico-économique du matriçage. L'opération consiste à « déposer » la matière localement à l'aide d'un procédé additif sur une ébauche issue de matriçage, afin de reconstituer une pièce unique.
Cette combinaison de procédés permet à la fois de réduire globalement la quantité de matière première utilisée ainsi que les efforts de presse nécessaires pour ce qui concerne la partie matricée de l'ébauche.
- **La simplification de la gamme de fabrication du demi-produit.** Le demi-produit ou lopin désigne la matière engagée lors du matriçage. Il se présente généralement sous la forme de cylindres issus de barres forgées.
Les opérations de forgeage, réalisées aux alentours de 1000°C en ce qui concerne l'alliage de titane TA6V, sont très coûteuses et énergivores. Les travaux menés dans le cadre du projet consistent à revisiter ces opérations et les simplifier.

Les développements menés dans le cadre des deux premiers volets ci-dessus ont conduit à identifier des débouchés industriels potentiels de procédés de fabrication additive dans le domaine de la réparation d'outillages et de pièces avions ainsi que dans le marché de la pièce de rechange. Cela a conduit à une extension du programme de travail de recherche en 2020.

IV- Démonstrateurs technologiques réalisés

Pour valider les concepts technologiques étudiés, des démonstrateurs physiques sont produits tout au long du projet, dans une logique de progression graduelle de la taille et de la représentativité aux pièces industrielles cibles, et dans des environnements de production eux-mêmes de plus en plus représentatifs de ceux envisagés au stade industriel.

1. Démonstrateurs TRL4 de matriçage à très haute température

Les démonstrateurs retenus pour valider le niveau de maturité technologique TRL4 sur le matriçage à très haute température sont des pièces de 174 mm de longueur après usinage final, constituées d'une toile de base horizontale plane renforcée par des nervures verticales croisées et de hauteurs variables, sur le modèle de pièces de structure d'avion. Après un matriçage à très haute température sur la presse pilote de 1000 tonnes, outil R&D mutualisé entre l'IRT Saint Exupéry et Aubert & Duval, ces démonstrateurs subissent diverses étapes de traitement thermique, un usinage chimique puis un usinage mécanique par le partenaire du projet MECAPREC.



Plateforme commune de recherche dédiée au forgeage/matriçage – Presse de 1000 tonnes et manipulateur de pièces chaudes – (Aubert & Duval et IRT Saint Exupéry)



Démonstrateurs TA6V matriçés sur la plateforme de recherche (avant et après usinage)

2. Démonstrateurs TRL6 de matriçage à très haute température

Un changement d'échelle majeur est opéré dans la perspective de valider le niveau TRL5 puis le niveau TRL6, sur des démonstrateurs de 800 mm de long correspondant à un tronçon échelle 1 d'un cadre de fuselage de l'Airbus A350.

Le réalisme de la fabrication a également considérablement progressé, grâce notamment à l'introduction d'un forgeage de répartition préalable au matriçage et au matriçage sur une presse industrielle – la presse 22 000 tonnes de Aubert & Duval. Les autres étapes de transformation à chaud (traitements thermiques) et à froid (usinage chimique, contrôles non destructifs, et usinage mécanique) sont également réalisés sur les installations industrielles, dont celle du partenaire MECAPREC pour l'usinage final.



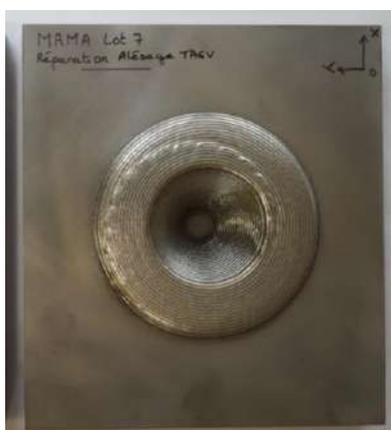
Démonstrateur en alliage de titane TA6V en fin de gamme de transformation à chaud, après ébavurage – L = 800mm, masse : 32kg

Ces démonstrateurs ont permis de démontrer un gain de poids engagé en matriçage de 30 à 40% par rapport à la même pièce de fuselage A350 entière, matriçée de façon conventionnelle par Aubert & Duval pour son client Airbus.

3. Démonstrateurs TRL4 de réparation de pièce d'avion en titane

Pour valider le niveau TRL4 sur la réparation par fabrication additive de pièces d'avion endommagées, un démonstrateur en titane (TA6V), représentatif d'un alésage de pièce de fixation de mât réacteur, a été retenu.

Après une préparation de surface par usinage chez le partenaire RECAERO, un rechargement de l'alésage est réalisé par la technologie LMD-poudre (Laser Metal Deposition par voie poudre) maîtrisée par l'IRT Saint Exupéry. RECAERO opère alors une mise aux cotes finales par usinage. La santé interne du dépôt LMD est contrôlée par tomographie par rayons X.



Démonstrateur TA6V après rechargement par LMD-poudre par l'IRT Saint Exupéry



Même démonstrateur après alésage par RECAERO

4. Démonstrateurs TRL4 de réparation d'outillages de matriçage

La réparation des outillages de matriçage par fabrication additive est abordée dans MAMA au niveau TRL4 par des démonstrateurs qui s'inspirent des formes de centrage d'ébauches utilisées par Aubert & Duval.

Des dépôts par la technologie LMD-poudre sont réalisés conjointement par l'IRT Saint Exupéry et le partenaire OPT'ALM du projet MAMA, sur des substrats en tôle laminée dans différentes nuances, parmi celles employées par Aubert & Duval pour ses outillages de production série. Il est prévu de valider la tenue en service des réparations par dépôt LMD par des essais de matriçage ciblés sur les presses d'Aubert & Duval.



Reconstitution de la forme de centrage d'outillages de matriçage (aciers et superalliages à base de nickel) par LMD-poudre par l'IRT Saint Exupéry & OPT'ALM

5. Démonstrateurs TRL4 de rechange de pièces aéronautiques par fabrication additive

Le projet MAMA cible également le marché de la recharge de pièces aéronautiques usagées, *i.e.* des productions en très petites séries, par une approche de fabrication additive selon la technologie LMD-poudre. Les démonstrateurs TRL4 retenus sont des portions de ferrures de l'Airbus BELUGA en acier 15-5PH.

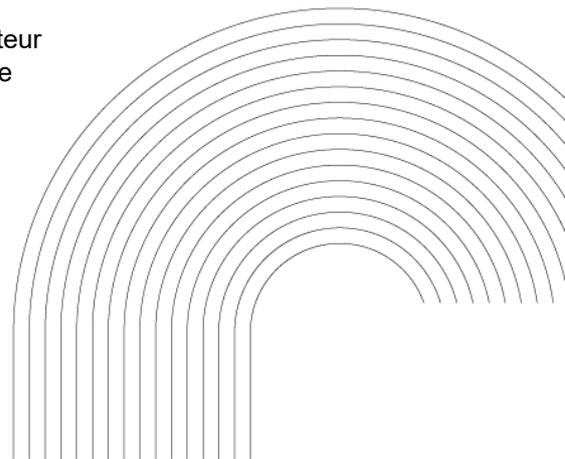


Démonstrateur de ferrure 15-5PH après dépôt LMD-poudre par l'IRT Saint Exupéry

À propos de l'IRT Saint Exupéry

L'Institut de Recherche Technologique (IRT) Saint Exupéry est un accélérateur de science, de recherche technologique et de transfert vers les industries de l'aéronautique et du spatial pour le développement de solutions innovantes sûres, robustes, certifiables et durables.

Nous proposons sur nos sites de Toulouse, Bordeaux, Montpellier, Sophia Antipolis et Montréal un environnement collaboratif intégré composé d'ingénieurs, chercheurs, experts et doctorants issus des milieux industriels et académiques pour des projets de recherche et des prestations de R&T adossés à des plateformes technologiques autour de 4 axes : les technologies de fabrication avancées, les technologies plus vertes, les méthodes & outils pour le développement des systèmes complexes et les technologies intelligentes.



L'IRT Saint Exupéry est un institut de recherche technologique labellisé par l'État dans le cadre du programme d'investissements d'avenir (PIA).



Contact presse

Maxime Forgues

06 66 65 04 91

m.forgues@giesbert-mandin.fr

www.irt-saintexupery.com