



advanced aluminium
alloys partnership

Dossier de presse

Vers l'**aluminium de demain**

Le SIMAP et Constellium
créent
le laboratoire commun **3ALP**

© AdobeStock : Mareen Baur / phonlamaipphoto / ZETHA_WORK



Constellium

SOMMAIRE

Programme de la matinée inaugurale.....	p. 3
Communiqué de presse national	p. 4
Les partenaires du labcom 3ALP.....	p. 5
Partie 1 - La « success story » SIMAP – Constellium : l'exemple de l'allègement en aéronautique	p. 7
Partie 2 - Un enjeu sociétal partagé : la recyclabilité de l'aluminium.....	p. 8
Partie 3 - Prospector sur des procédés et matériaux émergents : les horizons ouverts par la fabrication additive et l'intelligence artificielle.....	p.12
En savoir plus : ressources et contacts.....	p.15

Vendredi 6 mai 2022

Inauguration du laboratoire commun 3ALP

PROGRAMME

9h30 : accueil - café

10h - 10h20 :

Introduction par Yannick Champion, directeur du laboratoire SIMAP (CNRS / UGA)
Valérie Perrier, vice-présidente recherche de Grenoble-INP - UGA
Marjorie Fraisse, déléguée régionale du CNRS Alpes

Interventions officielles et institutionnelles

- CNRS : Jean-Luc Moullet, directeur général délégué à l'innovation
- Constellium : Ludovic Piquier, vice-président senior, excellence opérationnelle et directeur technique

10h20 - 10h50 : Interventions scientifiques

Alexandre Legris, directeur adjoint scientifique de l'Institut de chimie du CNRS
Fanny Mas, ingénieure R&D au C-TEC Constellium et directrice adjointe du labcom 3ALP
Frédéric De Geuser, chercheur CNRS à SIMAP et directeur du labcom 3ALP

- *La « Success story » SIMAP – Constellium : l'exemple de l'allègement en aéronautique*
- *Un enjeu sociétal partagé : la recyclabilité de l'aluminium*
- *Procédés et matériaux émergents : la fabrication additive et l'intelligence artificielle*

10h50 - 11h : déplacement vers le bâtiment SIMAP - Ecomarch

11h - 11h30 : Visite du laboratoire accompagnée par

Yannick Champion, chercheur CNRS, directeur de SIMAP
Frédéric De Geuser, chercheur CNRS à SIMAP, directeur du labcom 3ALP
Guilhem Martin, enseignant-chercheur UGA à SIMAP
Luc Salvo, enseignant-chercheur à SIMAP, directeur scientifique Grenoble INP – UGA

11h45 : échanges et moment convivial autour d'une collation

Lancement de 3ALP, un laboratoire public/privé dédié à l'aluminium de demain

- Pour s'adapter aux enjeux de développement durable notamment, le secteur de la métallurgie mise sur l'innovation dans les alliages et dans les procédés de fabrication.
- Le CNRS, l'Université Grenoble Alpes et Constellium, groupe leader de produits aluminium, s'associent pour répondre à ces enjeux d'envergure.

Le groupe Constellium, un des principaux fournisseurs mondiaux de produits aluminium, le CNRS et l'Université Grenoble Alpes unissent leurs expertises en créant le laboratoire commun 3ALP pour « *Advanced aluminium alloys partnership* ». L'objectif est de développer, ensemble, la recherche sur la recyclabilité et la durabilité de l'aluminium et de travailler sur de nouvelles méthodologies de recherche innovantes et de nouveaux matériaux à base d'aluminium.



Pièces toujours plus résistantes, procédés à la fois plus économiques et avec moins d'impact sur l'environnement... tels sont les enjeux de la métallurgie dans tous ses secteurs d'application et en particulier, dans le cas des produits aluminium pour l'automobile, l'emballage et l'aéronautique dont le groupe industriel Constellium est l'un des principaux fournisseurs mondiaux.

Dans l'objectif d'imaginer et de concevoir les nouvelles générations d'alliages d'aluminium, Constellium et le CNRS associés à l'Université Grenoble Alpes ont choisi de créer un laboratoire commun, qui est la forme de collaboration la plus ambitieuse entre le monde économique et le monde académique.

Ce laboratoire commun 3ALP s'appuiera sur l'expertise reconnue du laboratoire de recherche Science et ingénierie des matériaux et procédés (SIMAP - CNRS/UGA) en matière de conception d'alliages métalliques et de procédés innovants comme la fabrication additive¹. Sa création fait suite à une collaboration de plus de 40 ans entre SIMAP et C-TEC, le centre R&D de Constellium implanté à Voreppe près de Grenoble.

Pour les scientifiques, la coopération avec C-TEC est une opportunité de participer à lever les freins auxquels est confronté le secteur métallurgique, de développer les axes sur lesquels recherche fondamentale et problématiques industrielles se rencontrent, mais aussi d'orienter certains programmes de recherche vers des développements appliqués. Par ailleurs, au travers de 3ALP, Constellium disposera d'un accès aux outils de modélisation et de caractérisation de pointe, notamment en lien avec le rayonnement synchrotron et bénéficiera de l'expérience des scientifiques du SIMAP dans divers domaines : étude des caractéristiques structurelles et mécaniques des matériaux, conception et mise en œuvre instrumentale, développement d'outils d'intelligence artificielle pour les matériaux.

Forts de cette complémentarité et de collaborations fructueuses par le passé, le CNRS, Constellium et l'UGA espèrent avec 3ALP explorer ensemble la recherche, la mise au point et l'application de méthodologies innovantes pour développer de nouveaux produits à base d'aluminium, répondant aux enjeux de la métallurgie et de la société de demain. Se dessinent plus particulièrement deux objectifs ambitieux et complémentaires : le développement durable et notamment l'extension de la recyclabilité de l'aluminium à toutes ses applications, ainsi que le développement de nouvelles méthodes de design d'alliages assistées par l'intelligence artificielle.

¹ présentée en page 11

Les partenaires du labcom 3ALP



Constellium

Le CNRS

Souple dans son fonctionnement, inscrit dans la durée, co-construit entre une unité mixte de recherche et une entreprise partenaire, le laboratoire commun représente un investissement conjoint dans un véritable programme d'intérêt commun.

« Je me réjouis de ce rapprochement avec Constellium qui s'inscrit dans un long historique de coopérations. Nous poursuivons une politique constante de développement des laboratoires communs avec les entreprises de toutes tailles, comme le confirment les plus de 200 laboratoires communs déjà existant. Cette forme ambitieuse de collaboration entre le monde économique et le monde académique s'appuie sur la recherche fondamentale pour apporter une réponse à des défis industriels majeurs. Notre ambition est d'atteindre 400 laboratoires communs en activité d'ici quatre ans », souligne Antoine Petit, président-directeur général du CNRS.

Avec plus de 40 laboratoires communs actifs, la région Auvergne-Rhône-Alpes est en tête des régions françaises en ce qui concerne cette forme de collaboration renforcée entre recherche et entreprise. Près d'un quart de ces laboratoires communs sont suivis et animés par la délégation Alpes du CNRS.

Constellium

« Je suis très fier de soutenir l'ouverture de ce laboratoire commun, et je remercie tous ceux qui ont rendu cette réalisation possible, et en premier lieu nos partenaires, l'UGA et le CNRS », commente Ludovic Piquier, vice-président senior, excellence opérationnelle et directeur technique. *« Ce laboratoire nous permettra de continuer à explorer le potentiel de l'aluminium, un matériau d'avenir pour l'économie circulaire de demain. »*

Constellium est un leader mondial dans le développement et la fabrication de produits et de solutions aluminium à forte valeur ajoutée. Des tôles minces pour canettes aux tôles fortes pour les avions en passant par des solutions en aluminium extrudé pour les voitures, ce fournisseur conçoit, développe et fabrique des produits et solutions en partenariat avec ses clients. Ses innovations apportent aux clients de meilleures performances, améliorent les processus de fabrication et conjuguent efficacité et développement durable.

Implanté en France, et plus particulièrement à Voreppe en Isère, son centre technologique (C-TEC) est le berceau de certaines des technologies de l'aluminium les plus avancées au monde. En mettant des ressources de pointe à la disposition de son équipe d'ingénieurs et de techniciens, et en collaborant avec des clients, des universités et des centres de recherche, Constellium a découvert des solutions révolutionnaires pour relever des défis dans de nombreux secteurs.



Constellium

L'Université Grenoble Alpes et sa composante Grenoble INP – UGA

Forte de sa diversité et de son esprit pionnier, l'Université Grenoble Alpes (UGA) est moteur d'innovation technologique, sociétale et culturelle. Sa politique de recherche et d'innovation concilie excellence académique, ouverture de la science et transfert aux organisations pour le progrès de la société. Dans son plan stratégique, l'UGA a inscrit le développement de la culture de l'innovation avec sa diversité de typologie, d'intensité et de voies de transfert, ceci avec l'objectif d'amplifier la valorisation, vecteur d'impact de ses créations intellectuelles et d'insertion professionnelle de ses jeunes diplômées et diplômés. Intégratrice de capacités en recherche, formation, innovation et technologie, l'UGA construit et offre des parcours d'innovation pour des collaborations circonstanciées, progressives et durables. Elle place la qualité de ses collaborations au cœur de sa politique partenariale. Ainsi, les laboratoires communs sont le prolongement de collaborations réussies avec des entreprises. 3ALP s'inscrit dans ce cadre pour sceller et intensifier la collaboration entre le SIMAP et Constellium en science des matériaux.

Les collaborations industrielles font partie de l'ADN de Grenoble INP – UGA, institut d'ingénierie et de management de l'Université Grenoble Alpes. SIMAP, laboratoire de Science et Ingénierie des Matériaux et Procédés, est un laboratoire emblématique de Grenoble INP – UGA. C'est un laboratoire exemplaire dans l'articulation formation/recherche/valorisation, qui s'appuie sur l'école Grenoble INP - Phelma, UGA, sur des plateformes technologiques comme notre plateforme de caractérisation des matériaux CMTC (Consortium des moyens techniques communs), et des équipements scientifiques de pointe dont la plupart se retrouvent dans le centre d'Ecoconception des matériaux architecturés (Ecomarch) de Grenoble INP - UGA. Ce tout nouveau bâtiment a été construit (Cabinet Totem - Tullins) dans le cadre du dernier CPER. La création de ce laboratoire commun 3ALP vient concrétiser une collaboration industrielle durable, avec un partenaire stratégique du domaine de la métallurgie, pour relever les nouveaux défis scientifiques et technologiques de ce domaine.

Le projet 3ALP

1/ La « success story » SIMAP-Constellium : l'exemple de l'allègement en aéronautique

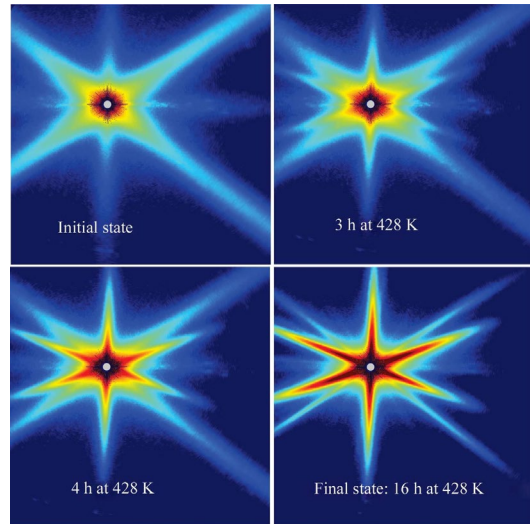
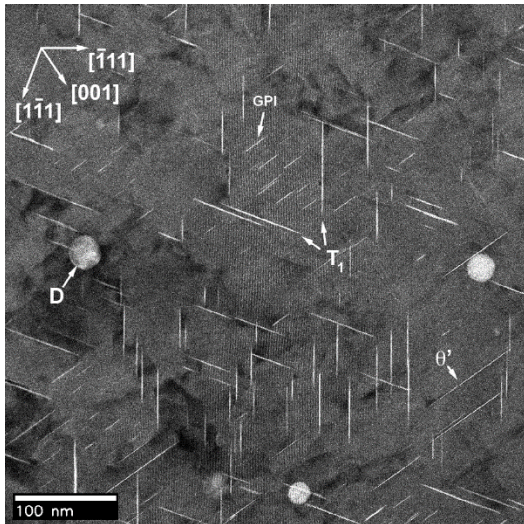
Laboratoire sous la tutelle du CNRS et de l'UGA, le SIMAP développe depuis de nombreuses années des recherches sur la conception d'alliages métalliques et les procédés innovants. Le laboratoire « Science et ingénierie des matériaux et procédés » possède par ailleurs une expérience significative dans la caractérisation microstructurale, notamment aux grands instruments, et la caractérisation multiphysique, la modélisation et la simulation, la conception instrumentale et la mise en œuvre d'expériences et de procédés, le développement d'outils de l'intelligence artificielle pour les matériaux.

La collaboration entre le SIMAP et le centre de recherche C-TEC de Constellium trouve ses origines il y a plus de 40 ans. La métallurgie des alliages d'aluminium est en effet l'un de ces domaines où la recherche fondamentale rencontre les problématiques industrielles, rendant possibles les collaborations les plus fructueuses entre R&D industrielle et recherche académique.

Un exemple emblématique est donné par les recherches menées conjointement par SIMAP et C-TEC sur les alliages d'aluminium destinés à l'aéronautique. Dans ce domaine, la force motrice de la conception de matériaux est l'allègement, avec un double objectif : économique (réduction de la consommation de carburant) et environnemental (baisse des émissions de CO₂). Malgré la concurrence d'autres types de matériaux, les alliages d'aluminium ont su apporter des solutions compétitives pour lesquelles les collaborations avec les laboratoires académiques comme le SIMAP ont été déterminantes.

L'un des potentiels d'allègement est l'augmentation de la résistance mécanique des alliages permettant des pièces plus légères mais tout aussi résistantes. Dans le cas des alliages aluminium-lithium (Al-Li), cette amélioration des propriétés mécaniques est notamment due à l'addition de lithium, un élément léger, ce qui allège d'autant plus le produit final. Ces alliages tirent leur haute résistance mécanique du phénomène de durcissement structural. Celui-ci consiste à créer, grâce aux éléments ajoutés dans l'alliage (Li, Cu, Mg, Ag...), un très grand nombre de très petits objets (~1 nanomètre) dispersés partout dans le matériau. C'est cette structure « composite » à échelle extrêmement fine qui rend ces alliages aussi résistants.

Or, la « précipitation » de ces petits objets, ainsi que les mécanismes par lesquels ceux-ci durcissent l'alliage sont encore insuffisamment compris pour pouvoir réellement disposer d'outils prédictifs. Un point essentiel est la caractérisation, puisque l'observation d'objets si fins nécessite, par un apparent paradoxe, de très grands instruments, comme des microscopes très avancés ou l'utilisation de rayonnement synchrotron, techniques qui font partie de l'arsenal habituel du SIMAP.



« Précipités » durcissant dans un alliage Al-Li-Cu observés en microscopie électronique en transmission (à gauche) et en diffusion des rayons X aux petits angles, obtenue au synchrotron ESRF (à droite).

Ces objets sont des plaquettes d'environ 1 nanomètre d'épaisseur et 100 nanomètres de diamètre.

© Deschamps et al., *The influence of precipitation on plastic deformation of Al-Cu-Li alloys*, *Acta Materialia*, 2013 ;

De Geuser et al., *A new method for evaluating the size of plate-like precipitates by small-angle scattering*, *Journal of Applied Crystallography*, 2012.

Ces alliages ont fait l'objet dans les 15 dernières années de collaborations continues entre le SIMAP et C-TEC, sous la forme de nombreuses thèses CIFRE (financées industriellement), de postdocs et de participations à des projets ANR multipartenaires. D'un point de vue académique, ces collaborations ont donné lieu à de nombreuses publications scientifiques, ce qui est une caractéristique essentielle de la recherche scientifique ; au-delà des avancées exploitables sur les problématiques industrielles, les projets sont toujours conçus pour pouvoir produire des connaissances publiables, ce qui reste l'objectif d'un laboratoire académique.

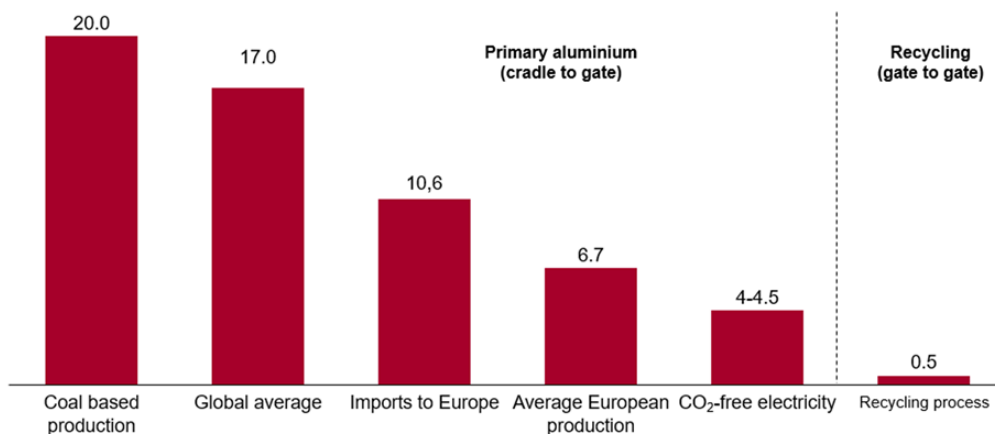
2/ Un enjeu sociétal partagé : la recyclabilité de l'aluminium

La protection de l'environnement, la santé et la sécurité sont les premières priorités de Constellium². En 2021, une contribution du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a mis encore davantage en évidence le lien entre les activités humaines et le changement climatique. Sachant que le secteur de l'industrie représente 40% des émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le monde (20% en France), la lutte contre le dérèglement climatique est un défi considérable pour les entreprises, dans lequel Constellium compte bien faire sa part. Constellium a ainsi annoncé en avril 2022 ses objectifs en termes de réduction des GES et en termes de recyclage :

- réduire l'intensité des émissions de GES de type 3 (liés notamment au taux de recyclage) de 30 % en 2030, en réduisant également de 30% ses émissions de GES de types 1 et 2 (directement liées à son activité) ;
- augmenter la consommation d'aluminium recyclé à un niveau égal ou supérieur à 750 000 tonnes en 2025.

Pour atteindre ces deux objectifs, le processus de recyclage de l'aluminium est donc indispensable. Il consiste simplement à refondre le métal, ce qui est beaucoup moins énergivore que la production d'aluminium primaire à partir du minerai. Le recyclage ne nécessite que 5% de l'énergie nécessaire à la production d'aluminium primaire. De plus, il évite la constitution de déchets, contribue à préserver les ressources et diminue fortement les émissions de GES. Comme le montre le graphique ci-après, le recyclage de l'aluminium permet de passer d'environ 17t CO₂eq/t au niveau mondial à 0.5t CO₂eq/t.

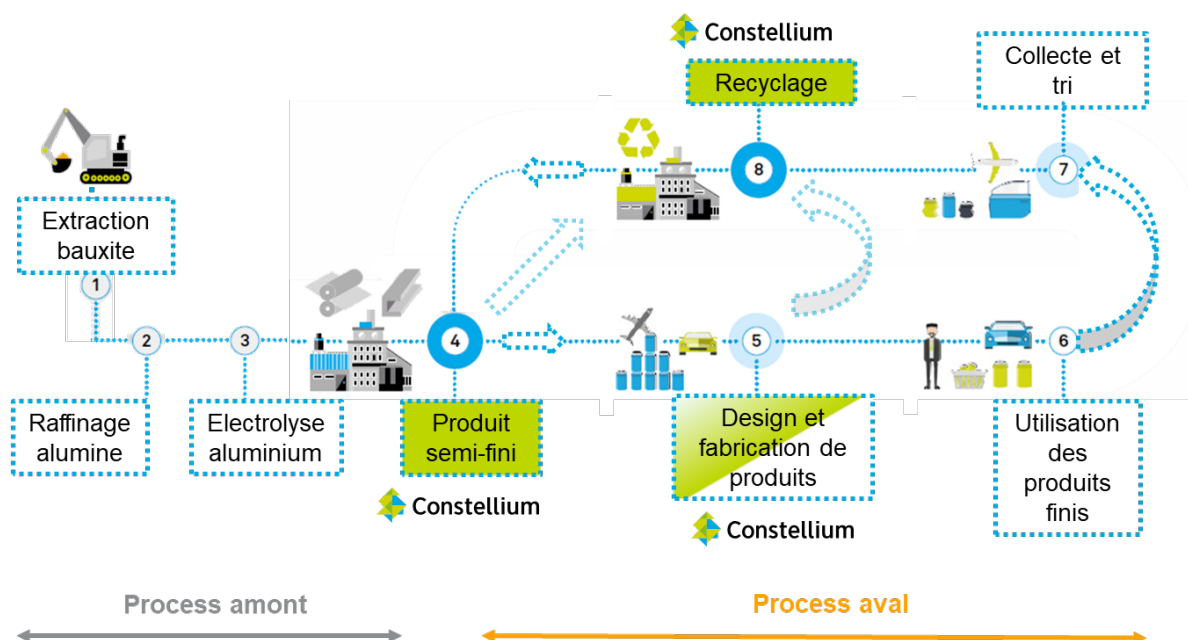
² Source : Constellium business sustainability report 2021



Source: Coal based production and global average: Life cycle inventory data and environmental metrics for the primary aluminium industry, World Aluminium, 2015. Addendum, August 2018.
Other: Environmental profile report 2018, European Aluminium

Emissions de gaz à effet de serre de la production d'aluminium primaire (électrolyse) et secondaire (recyclage), en tonne de CO₂ équivalent par tonne d'aluminium produite.

Constellium utilise une part importante d'aluminium recyclé pour fabriquer ses produits. En moyenne, 41 % des approvisionnements en aluminium en 2021 provenaient du recyclage. La canette en aluminium est un parfait exemple de l'économie circulaire : elle se recycle très bien et retrouve sa place dans les rayons en seulement 60 jours, avec un taux de recyclage des canettes de boisson de l'ordre de 80% en Europe. Quel que soit le produit final, le recyclage est extrêmement important pour la chaîne de valeur de l'aluminium : il comprend les déchets post-consommation générés en phase de fin de vie des produits finis (cf. flèches 6 → 7 → 8 sur le schéma ci-dessous) mais aussi les déchets de production pré-consommation générés au sein de Constellium (cf. flèches 4 → 8) et chez les clients (cf. flèches 5 → 8).



Place du recyclage dans la chaîne de valeur de l'aluminium

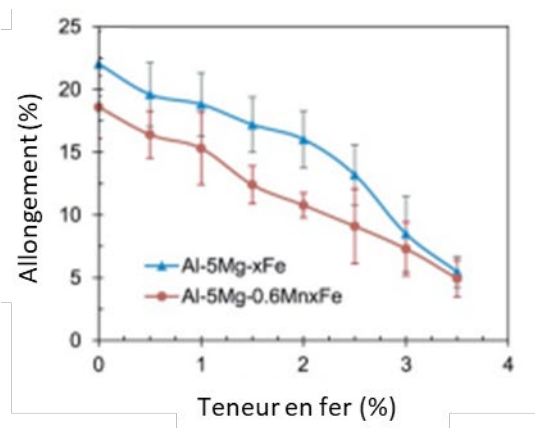
Source : O. NEEL / C-TEC / CONSTELLIUM

Les usines de Constellium disposent d'importantes capacités de recyclage. Pour ne citer que deux exemples, le site de Muscle Shoals (Alabama, Etats-Unis) exploite l'une des installations de recyclage de canettes usagées les plus grandes et les plus efficaces au monde, tandis que le coup d'envoi d'un projet permettant d'augmenter de 130 000 tonnes la capacité de recyclage de produits d'automobiles et d'emballages vient d'être donné dans l'usine française de Neuf-Brisach (Alsace).

Constellium cherche à stimuler le recyclage de quatre manières distinctes :

- en travaillant avec les parties prenantes pour améliorer les taux de collecte des déchets
- en s'appuyant sur des partenariats pour améliorer l'efficacité de la collecte et du tri des déchets,
- en créant avec les clients des boucles fermées de recyclage plus efficaces et plus performantes,
- en améliorant ses propres processus de recyclage, notamment en développant des alliages plus tolérants à la matière recyclée.

C'est sur ce dernier point que la collaboration avec le SIMAP dans le cadre du laboratoire commun 3ALP prend tout son sens. Constellium et le SIMAP ont conjointement initié en octobre 2021 une thèse (cofinancée dans le cadre du dispositif CIFRE avec l'ANRT) dans laquelle le doctorant cherche à comprendre et à modéliser l'impact d'impuretés issues du recyclage (telles que les éléments fer et manganèse) sur la performance des alliages pour application carrosserie automobile. Sans adaptation du procédé de fabrication, l'augmentation au travers des boucles de recyclage de la teneur en fer est néfaste pour la ductilité des alliages d'aluminium, comme l'illustre le graphique ci-dessous montrant la chute d'allongement en traction en fonction du taux de fer pour des alliages de la série 5xxx. Le challenge actuel consiste à trouver des moyens pour minimiser l'impact négatif des impuretés sur les propriétés (aptitude à la mise en forme, ductilité en service, résistance à la corrosion, aspect de surface...) dans le but de maximiser l'incorporation de métal recyclé dans les alliages.



Influence de la teneur en fer sur l'allongement en traction uniaxiale pour deux alliages de la série 5000.

Source : D. Raabe et al., Making sustainable aluminum by recycling scrap: The science of "dirty" alloys, *Progress in Materials Science*, 2022



Exemple de défauts pouvant apparaître en emboutissage en cas de ductilité trop faible (pièces de carrosserie).

La plupart des compositions d'alliages utilisées aujourd'hui ont été développées il y a plusieurs dizaines d'années, alors que la prise de conscience de l'impact des activités de l'homme sur la nature n'était pas aussi forte qu'aujourd'hui. Avec les problématiques de développement durable, c'est une nouvelle métallurgie qui est en train de voir le jour avec de nombreux sujets de recherche dont notamment :

- le design de procédés (coulée, laminage, traitements thermiques) permettant de rendre moins néfastes les impuretés apportées par la boucle de recyclage,
- l'optimisation des microstructures pour rendre la performance des alliages moins dépendante de leur composition intrinsèque, mais plutôt de l'ajustement des étapes du procédé de transformation (traitements thermiques, laminage...),

- le design de mono-alliages capables de satisfaire le cahier des charges de pièces diverses entrant dans la constitution d'un même produit, évitant alors les étapes fastidieuses de tri en fin de vie,
- le design d'alliages obtenus à partir de déchets mélangés, et donc à la croisée de plusieurs classes d'alliages traditionnels,
- l'utilisation de l'intelligence artificielle pour accélérer l'identification et mieux cibler les paramètres clés produits et process afin d'optimiser le design de ces nouveaux alliages plus tolérants au recyclage.

La capacité à absorber des déchets existants et évolutifs ainsi que l'aptitude à être recyclé deviennent, au même titre que les propriétés, des critères à prendre en compte dès la conception d'un nouvel alliage. On peut citer en exemple la nécessité de développer des alliages capables d'absorber les déchets provenant des blocs moteurs des voitures thermiques alors que leur nombre est amené à décroître progressivement avec l'électrification du parc automobile.



Exemples de déchets en aluminium pouvant être recyclés :
cannettes (en haut à gauche) ; câbles électriques (en haut à droite) ;
encadrements de fenêtres issus de la démolition bâtiment (en bas à gauche) ;
véhicules broyés (en bas à droite).

© G.BES / C-TEC / CONSTELLIUM

Un autre levier majeur pour réduire indirectement nos émissions de CO₂ est d'améliorer la performance tout au long du cycle de vie des produits finis, et ce même, dès la conception. Par exemple, concevoir des alliages permettant de fabriquer des pièces plus légères pour les véhicules contribuera à réduire la consommation de carburant. Là encore, étant donné les compétences métallurgiques croisées des équipes du laboratoire commun, ainsi que les outils de caractérisation et de modélisation à la pointe dont elles disposent ou auxquels elles ont accès, les perspectives de collaboration SIMAP / C-TEC sont nombreuses.

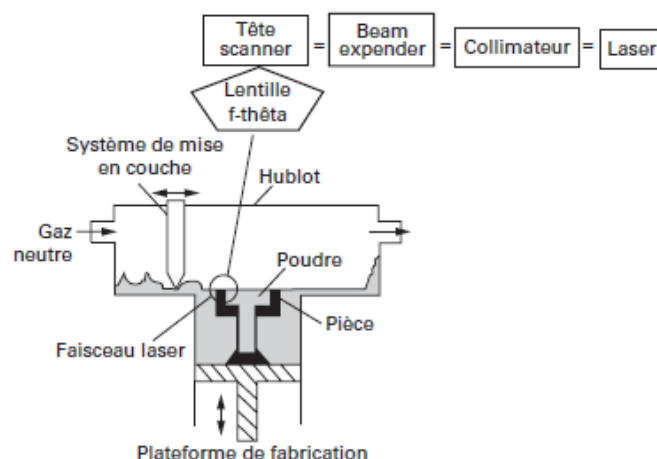
3/ Prospector sur des procédés et matériaux émergents : les horizons ouverts par la fabrication additive et l'intelligence artificielle

a/ la fabrication additive

Le terme "fabrication additive" regroupe, selon la norme NF E67-001, « l'ensemble des procédés permettant de fabriquer, couche par couche, par ajout de matière, un objet physique à partir d'un objet numérique ». Ces procédés se différencient radicalement des procédés conventionnels de soustraction de matière comme l'usinage, ou de mise en forme comme la fonderie ou le forgeage. En fabrication additive, la matière constitutive et la forme résultent d'une seule et même opération. Les étapes d'un procédé de fabrication additive peuvent se résumer de la manière suivante :

- création d'un modèle numérique 3D de la pièce à fabriquer à l'aide d'un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO);
- conversion du fichier CAO en un fichier qui décrit la pièce comme une succession de tranches et permet de faire le lien entre l'ordinateur du concepteur et la machine de fabrication additive;
- réalisation (impression) de la pièce selon le procédé de fabrication choisi et ses paramètres optimisés qui dépendent du matériau à mettre en œuvre;
- réalisation possible d'étapes post-impression (traitements thermiques de relaxation, traitements de densification, finition de surface, etc.).

Le procédé L-PBF pour « *Laser Powder Bed Fusion* », est un procédé de fabrication hérité du prototypage rapide. Le principe consiste à fondre de manière sélective un lit de poudre (granulométrie classique entre 15 et 45 μm) à l'aide d'un laser apportant l'énergie thermique.



Source : S. Pillot, « Fusion laser sélective de lit de poudres métalliques », *Techniques de l'ingénieur*, p.1-21, févr. 2016.

La poudre métallique est d'abord étalée sur la plateforme de la machine. La chambre de construction est sous gaz neutre afin de limiter l'oxydation. A l'aide du fichier qui décrit les couches successives de la pièce, un laser de haute énergie (typiquement entre 50 et 500 W) balaie le lit de poudre et fait fondre les particules de poudre uniquement aux endroits nécessaires. Après solidification des zones lasées, la première couche de l'objet est alors réalisée. Le substrat de fabrication descend ensuite d'une épaisseur de couche (typiquement entre 20 et 100 μm) et de la poudre est réapprovisionnée à l'aide d'un racleur. La seconde couche (au-dessus de la première) est alors fondue suite au passage laser et solidifiée. Ces opérations sont ensuite répétées jusqu'à la réalisation de l'ensemble de la pièce. A la fin de l'impression, la poudre non fondue est retirée et peut être éventuellement réutilisée ou recyclée.

Les alliages d'aluminium à hautes performances trouvent des applications dans les industries du transport pour lesquelles l'allègement est crucial. Cependant, la mise en œuvre par fabrication additive de tels alliages d'aluminium hérités des procédés traditionnels tels que les Al-Cu, Al-Mg-Si, et Al-Zn-Mg se révèlent être délicate à cause de phénomènes de fissuration à chaud bien connus en soudage.

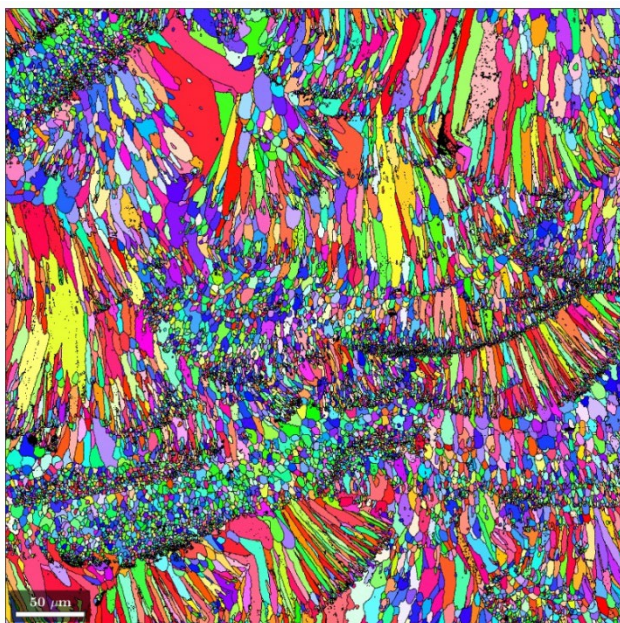
La première stratégie a consisté à modifier des alliages existants pour assurer leur mise en œuvre par fabrication additive sans nécessairement se soucier des autres contraintes et atouts de ces procédés. La seconde stratégie, plus disruptive, consiste alors à concevoir de nouveaux alliages dont la composition s'éloigne assez nettement des gammes existantes en incluant parfois des éléments d'alliage historiquement peu utilisés dans les alliages d'aluminium. Ainsi, au cours des dernières années, de grands projets de recherche dans le monde entier ont vu le jour avec pour objectif de développer de nouveaux alliages d'aluminium à haute résistance pour la fabrication additive, ciblant des applications dans les industries de l'aéronautique, de l'automobile et des satellites. La stratégie de design d'alliage doit alors intégrer en amont plusieurs caractéristiques clés de ces procédés.

Dans ce contexte, Constellium développe de nouveaux alliages spécifiquement conçus pour la fusion laser sur lit de poudre (L-PBF). Les vitesses de refroidissement très élevées caractéristiques du L-PBF (10^6 - 10^8 °C/s) conduisent à des microstructures fortement « hors équilibre » avec des grains fins ($<1\mu\text{m}$), des sursaturations et des phases métastables. Ces microstructures sont significativement différentes des microstructures héritées des procédés traditionnels tels que la fonderie ou le forgeage. Il est donc important de tirer pleinement parti de ces microstructures hors équilibre pour obtenir des propriétés sans précédent tout en limitant les gammes de fabrication : par exemple en s'affranchissant de certains traitements thermiques post-fabrication, l'idée étant d'obtenir la forme et les propriétés en un nombre limité d'étapes. Aujourd'hui, les relations entre les conditions d'élaboration, les microstructures, et les propriétés résultantes restent mal connues.

La collaboration entre le laboratoire SIMAP et C-TEC sous l'égide du laboratoire commun 3ALP a pour objectif d'éclaircir ces relations en s'appuyant sur les outils de caractérisation de pointe disponibles sur le site grenoblois et l'expertise métallurgique des chercheurs du laboratoire SIMAP. Ces outils de caractérisation se déclinent aussi bien au niveau structural que mécanique.

Plusieurs axes de recherche ont été identifiés et seront explorés lors de cette nouvelle collaboration :

- ▶ Comprendre les relations microstructures-propriétés des alliages de la gamme *Aheadd® alloys* (CP1 et HT1) développé par Constellium pour la fusion laser sur lit de poudre
- ▶ Identifier l'effet des conditions d'impression sur la sensibilité aux défauts de fabrication et sur les microstructures avec l'idée de pouvoir générer des microstructures à façon.
- ▶ Etudier la stabilité thermique de la microstructure dans des échantillons dépourvus de défauts.
- ▶ Améliorer les alliages de la gamme *Aheadd®* en incluant de nouvelles stratégies de design d'alliages.

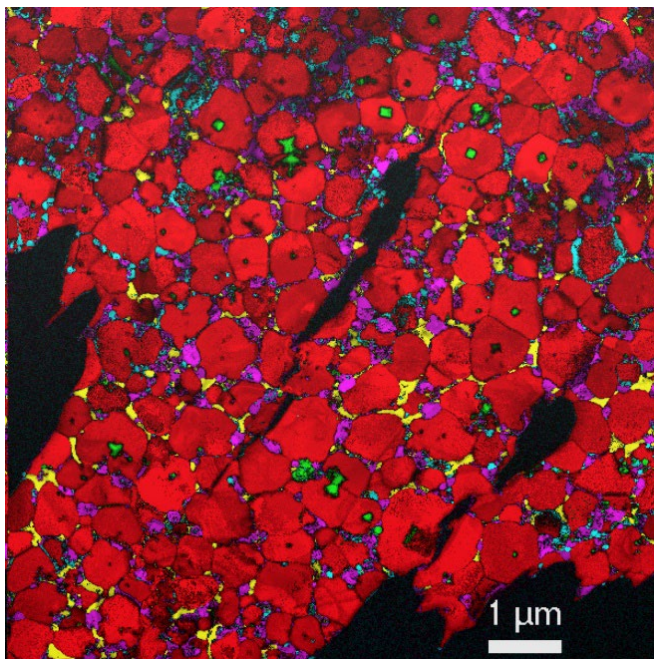
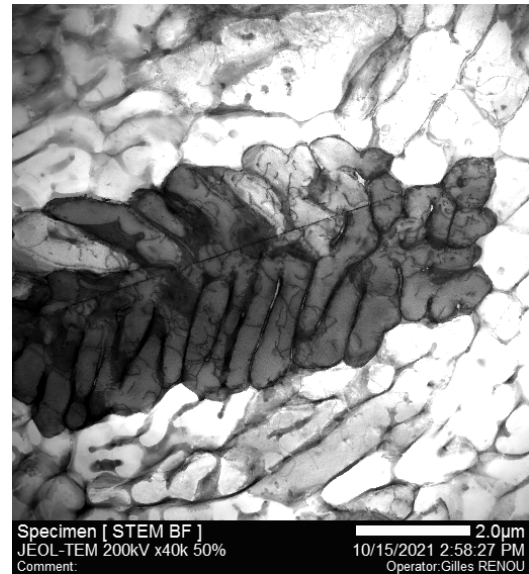


Cartographie d'orientation cristalline obtenue par EBSD sur un échantillon brut de fabrication de l'alliage *Aheadd alloy* CP1 développé par CONSTELLIUM et caractérisé au SIMAP dans le cadre du post-doctorat de Camille PAUZON (projet régional AEROPRINT).

© Camille PAUZON / SIMAP / CNRS

Micrographie en champ clair obtenue par microscopie électronique en transmission lors de l'étude des structures dendritiques dans l'alliage *Aheadd alloy* HT1 développé par CONSTELLIUM et caractérisé au SIMAP dans le cadre de la thèse de Maxence BUTTARD (projet régional AEROPRINT).

© Maxence BUTTARD / SIMAP / CNRS



Cartographie de phases obtenue par la technique ACOM « Automated Crystallographic Orientation Mapping » développée au SIMAP par Edgar RAUCH et permettant l'identification des différents intermétalliques décorant la microstructure de l'alliage *Aheadd alloy* HT1 développé par CONSTELLIUM et caractérisé au SIMAP dans le cadre de la thèse de Maxence BUTTARD (projet régional AEROPRINT).

© Maxence BUTTARD / SIMAP / CNRS

b/ l'intelligence artificielle

La science des matériaux a pour objet de découvrir et d'étudier la structure et les propriétés de la matière afin de produire les objets fonctionnels utiles à la société. Les grands défis, notamment autour de l'écologie et en lien avec l'énergie et l'appauvrissement des ressources, nécessitent d'améliorer mais surtout de découvrir de nouveaux matériaux, plus durables, plus vertueux, recyclables. En outre, l'urgence dans ces domaines exige une accélération dans la découverte et l'optimisation de nouveaux matériaux. Si les grands principes pilotant les propriétés des matériaux sont assez bien connus, la conception et les chemins pour obtenir un matériau sont complexes. Les méthodologies de conception ont été de tout temps empiriques, sur la base d'essais-erreurs proposant une vue discrète du champ des possibles quasi-infini en métallurgie.

Les outils de l'intelligence artificielle, comme le *machine learning* ou le *deep learning*, associés à de nouvelles méthodes de production massives de données de propriétés et de caractérisations structurales, proposent une vue continue du champ des possibles et guident ainsi l'optimisation et la découverte accélérée de matériaux. Le SIMAP a été précurseur en France dans ce domaine avec une Chaire sur le design d'alliages métalliques, de l'Institut d'intelligence artificielle de Grenoble (MIAI). Le laboratoire est également un acteur majeur du projet national Diademe³ qui vise à développer des matériaux innovants, performants, durables et issus de matières premières non critiques et non toxiques. Et ce, de manière rapide grâce à quatre plateformes : de synthèse, caractérisation, simulation numérique des matériaux, ainsi que de stockage, gestion et exploitation par l'IA de bases de données. Avec 3ALP, ces méthodes seront largement développées et exploitées pour la découverte accélérée de nouveaux alliages d'aluminium.

En savoir plus

Ressources

- Article « [Quand le CNRS fait laboratoire commun avec les entreprises](#) » (novembre 2021) ; pour en savoir plus www.cnrs.fr
- Sites web du laboratoire SIMAP <https://simap.grenoble-inp.fr/> et du laboratoire commun 3ALP : www.3alp.cnrs.fr (actuellement en construction)
- Rapport annuel 2021 de Constellium : « [Contribuer à l'économie circulaire de demain](#) » ; pour en savoir plus www.constellium.com

³ Projet retenu dans le cadre de l'appel « Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) exploratoires » créé par le quatrième programme d'investissements d'avenir (PIA4).

Le PEPR Diademe, pour « Dispositifs intégrés pour l'accélération du déploiement de matériaux émergents », est copiloté par le CEA et le CNRS, en partenariat avec plusieurs universités.

<https://www.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/le-cnrs-copilote-des-quatre-premiers-programmes-et-equipements-prioritaires-de-recherche>