

LA REVUE

forge et fonderie

DEC | 2025

N°44

Au sommaire

6 Le magnésium pour les applications spatiales

15 Recyclabilité du ZAMAK dans les emballages

20 Défis et opportunités de l'électrification dans les forges et les fonderies

21 La relance mondiale de l'énergie nucléaire : des promesses au réalisme.

24 Organisation du Concours
« Un des Meilleurs Ouvriers de France » Fonderie d'Art



CALIDER Industrie

L'expertise au cœur de vos
Aciéries, Forges, Fonderies



Spécialiste de l'entretien de matériels de coulée et du parachèvement des produits sidérurgiques, CALIDER INDUSTRIE intervient soit dans vos locaux avec des machines/outillages spéciales ou soit dans son atelier de Guérigny (58) avec une multitude de prestations tel que :

- ✓ Meulage manuel ou machine automatique de produits allant jusqu'à 32T
- ✓ Sciage horizontale ou verticale de produits allant de la taille d'un sucre jusqu'à 70T
- ✓ Usinage d'ébauche
- ✓ Stockage avec moyens de manutention ponts et chariots élévateurs
- ✓ Prestations sur mesure

Gagnez en performance et en fiabilité grâce à un partenaire de confiance, au plus près de vos besoins

Calider Industrie

ZI Henri Paul 71210 MONTCHANIN - ☎ 03 85 77 07 54

✉ info@calider.fr - Site web : www.calider-industrie.fr

EDITORIAL

- 02** L'année du courage et du retour au bon sens ?
Wilfrid BOYAUULT

BREVES

- 03** Fatigue Design
05 La Fédération Forge Fonderie participe à Global Industrie Paris

TECHNIQUE

- 06** Le magnésium pour les applications spatiales
Patrick HAIRY, Michel STUCKY, David MIOT-POLETTI et Thibaut BOUILLY
15 Recyclabilité du ZAMAK dans les emballages
Clotilde MACKE-BART

ENVIRONNEMENT

- 20** Défis et opportunités de l'électrification dans les forges et les fonderies
Charlotte MOUGEOT

MARCHÉ

- 21** La relance mondiale de l'énergie nucléaire : des promesses au réalisme.
Guillaume KOZUBSKI

FORMATION

- 23** À la rencontre des jeunes talents de la fonderie
Sergio DA ROCHA
24 Organisation du Concours
« Un des Meilleurs Ouvriers de France » Fonderie d'Art
Sergio DA ROCHA

ÉVÉNEMENT

- 26** EUROFORGE : 24. International Forging Congress
Olivier VASSEUR

AGENDA

- 28** Les rendez-vous de la profession



**La revue complète
à télécharger gratuitement
sur notre site
www.forgefonderie.org**

**Revue professionnelle trimestrielle éditée
par CIFORGE.**

CIFORGE
45 rue Louis-Blanc
92400 Courbevoie
Tél. : 01 43 34 76 17 Fax : 01 43 34 76 31
E-mail : contact@forgefonderie.org

Directeur de la publication
Hervé Gestas

Rédacteur en chef
Wilfrid Boyault

Comité de rédaction
W. Boyault, C. Colliard, C. Macke-Bart,
C. Grosjean

Rédaction
Heidi Palzer
Tél. : 01 43 34 76 68, h.palzer@forgefonderie.org

**Abonnement
(revue sous forme papier)**
4 numéros : 95,34 € TTC
ISSN 2493-5824



Pour vous abonner :
<https://www.forgefonderie.org/fr/la-federation/revue-forge-fonderie-abonnement>

Publicité
Régie Publicitaire F.F.E. (Française de Financement et d'Édition)
15 rue des Sablons - 75116 Paris

Responsable de publicité :
Isabelle de la Redonda
Tél. : 01 53 36 20 42, i.redonda@ffe.fr
Responsable technique :
Yael Sibony
Tél. : 01 53 36 37 97 yael.sibony@ffe.fr
Les publicités paraissent sous la seule responsabilité de leurs annonceurs. Les articles sont rédigés sous la responsabilité de l'auteur, leur contenu (textes et visuels) n'engage pas la revue. Toute reproduction, même partielle, d'articles ou d'illustrations nécessite l'autorisation préalable de la rédaction.

Tirage : 500 exemplaires

Impression
Espace Graphique
Imprimé sur papier recyclé et encres
100 % végétales

Photo de couverture
Dominique Sarraute



Cet ouvrage a été imprimé sur papier FSC (Forest Stewardship Council). La marque FSC signifie qu'une proportion de fibres de bois, utilisées dans la fabrication du papier, provient d'une forêt correctement gérée, satisfaisant à des normes rigoureuses au niveau environnemental, social et économique. Cette forêt d'origine a été inspectée et évaluée de façon indépendante sur la base des principes et critères de gestion forestière acceptés et approuvés par le FSC. FSC est une association internationale à but non lucratif travaillant pour améliorer la gestion forestière à travers le monde. www.fsc.org

Cet ouvrage a été imprimé chez un imprimeur labellisé Imprim'Vert, marque créée en partenariat avec l'Agence de l'Eau, l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie), et la FIOG (Fédération de l'Imprimerie et de la Communication Graphique). La marque Imprim'Vert apporte trois garanties essentielles :

- la suppression totale de l'utilisation de produits toxiques ;
- la sécurisation des stockages de produits et de déchets dangereux ;
- la collecte et le traitement des produits dangereux.

L'année du courage et du retour au bon sens ?

C'est peu dire que l'exercice du bilan de l'année écoulée, assorti de vœux pour celle qui s'ouvre, s'avère particulier, à l'orée de 2026.

Parce qu'on avait compris que le principe des dystopies, c'était qu'elles étaient censées être de la fiction, des fables, de l'imaginaire pour nous rappeler l'horreur que serait « *une société organisée de telle façon qu'il soit impossible de lui échapper et dont les dirigeants peuvent exercer une autorité totale et sans contrainte de séparation des pouvoirs...* »¹ ... pas la réalité de ce que l'on voit se profiler, tous les jours du petit déjeuner au moment de tenter d'aller l'oublier dans le sommeil.

Mais essayons-nous tout de même un peu à l'exercice en nous engageant dans une voie qui va demander autre chose que du simplisme.

Emettons, en effet, le vœu d'un monde où le droit international ne soit pas résumé aux humeurs du plus fort mais où il ne soit pas, non plus, un catéchisme désincarné qui finit alors, aussi, par servir la loi du plus fort.

Sur le premier point, les premiers jours de 2026, venant ajouter à un état du monde déjà passablement inquiétant, sont suffisamment « *self-explanatory* » pour qu'il ne soit pas besoin de longues explications ici...

Sur le second, prenons un exemple qui va parler aux acteurs de nos professions.

Depuis de longs mois maintenant, nous nous battons pour qu'au plan national, mais surtout européen, puisque c'est ce dernier qui est décisif en la matière, de nouvelles mesures viennent prendre en compte la réalité des relations commerciales internationales.

Quelle réalité ? Protectionnisme américain, plus globalement guerre commerciale des mêmes contre la Chine, accentuation par cette dernière de sa politique visant à submerger le marché européen de véhicules et autres machines mais aussi de pièces, vendus à des prix surdopés aux subventions et autres mécanismes de soutien public ...

Alors oui, face à cela, nous pensons qu'il est urgentissime, et demandons avec force, que la défense commerciale européenne et ses instruments soient adaptés à la nouvelle réalité du monde.

Un monde qui n'est clairement plus (il ne l'a d'ailleurs jamais été dans la tête de certains... qui fourbissent leurs armes depuis fort longtemps...) celui du libre-échange et de la répartition harmonieuse, entre les différents continents et pays, des divers ateliers d'une grande usine mondiale fonctionnant dans la concorde et la bonne entente, sous les auspices régulateurs de l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC).

Nous ne pouvons plus nous en tenir à une feuille de route dont le premier et quasi-seul commandement resterait le strict respect de règles de l'OMC, lesquelles ont été produites, jadis, en contemplation d'un état des relations commerciales internationales qui n'a plus cours. On le peut raisonnablement d'autant moins que les organes créés pour en assurer respect et sanction ne fonctionnent plus².

Alors nous affirmons depuis des mois, que

- il faut désormais privilégier les mesures de sauvegarde mises en place de façon plus opérationnelles et rapides que des mesures anti-dumping

- il faut renoncer aux règles simplement supplétives de l'OMC que nous nous imposons pourtant en UE (« règle du droit moindre » notamment) et surtout,
- il faut, sans plus aucun délai, mettre en place une exigence substantielle de contenu local européen comme pivot de toutes les politiques industrielles et tous les financements publics dans l'UE et ses Etats membres.

Il n'est plus temps de tergiverser et d'accorder crédit à un des arguments encore trop souvent entendus pour s'opposer à ces mesures de contenu local européen : « *elles créeraient un risque de contestation par la Chine et de contentieux OMC* ».

L'industrie ne peut plus réfléchir sa viabilité (voir sa survie) en des termes qui n'ont plus cours. Et s'il fallait encore et encore surabonder de justifications, dont on ne devrait pourtant pas avoir besoin, on demanderait pourquoi alors, si ce risque « OMC » existait vraiment, les politiques de contenu local ont fleuri partout dans le monde, ces dernières décades, sans être condamnées par l'OMC... partout, sauf dans l'UE ?

Alors oui, il est un peu consternant et nous le pensons dangereux que l'UE n'ait finalement pas pris la mesure de cet enjeu dans le train de mesures annoncées pour l'industrie automobile européenne en décembre 2025, n'y ayant à ce stade inclus aucune mesure substantielle de contenu local européen.

Mais nous continuons de nous battre et d'espérer.

Et puisque rendez-vous nous a été donné à la fin de ce mois de janvier 2026, où doit être dévoilé un projet d'*Industrial Accelerator Act* qui est annoncé comme devant être le véhicule d'une politique européenne de contenu local, nous voulons croire qu'elle sera enfin au rendez-vous.

Un vœu donc, dont nous souhaitons ardemment qu'il ne soit pas pieu.

Car ne nous y trompons pas.

Ne pas nous leurrer avec un droit international économique en état de mort clinique, ne pas en tirer prétexte pour s'accrocher à une vision qu'on est contraint de juger dépassée des relations commerciales internationales, c'est cela qui nous permettra de regagner notre force économique, notre pouvoir et, ce qui est sur toutes les lèvres mais reste à être retrouvé et avéré, notre souveraineté.

Et regagner cette puissance économique réelle, c'est là la seule chance que nous ayons de rester (redevenir ?) crédibles dans la bataille pour le respect du droit international « dur », celui de la souveraineté des Etats, de la dissuasion pour empêcher la guerre, les annexions non consenties ... mais aussi celui du climat, bref, de la survie de la planète.

C'est peu dire que 2026 va devoir être l'année du courage !

Alors à toutes et tous, à vos équipes, vos familles et vos proches, nous souhaitons une bonne et passionnante année.

Hervé Gestas

Président de la Fédération Forge Fonderie

Wilfrid Boyault

Directeur général de la Fédération Forge Fonderie

1. Wikipedia

2. La constitution de l'organe d'appel de l'OMC est empêchée depuis 2019 du fait des Etats-Unis et son fonctionnement est donc interrompu, rendant impossible toute sanction des règles de l'OMC par les organes prévus à cette fin

Fatigue Design



Les 19 et 20 novembre 2025, le Cetim a accueilli la 11^e édition de Fatigue Design, un rendez-vous incontournable pour les experts et acteurs de la conception mécanique et de la fatigue. Cette année a marqué un anniversaire particulier : 20 ans de conférences dédiées à la fatigue et à la durabilité des structures.

Les 19 et 20 novembre 2025, le Cetim a accueilli la 11^e édition de Fatigue Design, un rendez-vous incontournable pour les experts et acteurs de la conception mécanique et de la fatigue. Cette année a marqué un anniversaire particulier : 20 ans de conférences dédiées à la fatigue et à la durabilité des structures.

Le thème central était la fatigue dans l'économie verte, soulignant le rôle clé de l'ingénierie durable pour relever les défis environnementaux. La conférence a mis en avant les solutions innovantes permettant de concilier performance industrielle et réduction de l'impact écologique.

Le programme a couvert des sujets variés :

- Fatigue en conditions sévères (hydrogène, corrosion et basses températures)
- Assemblages et prolongation de la durée de vie
- Évaluation de la durée de vie résiduelle
- Fabrication additive, composites, élastomères
- Méthodes expérimentales et numériques
- Approches probabilistes et fiabilité
- Influence des procédés de fabrication
- Fatigue vibratoire et scénarios complexes de chargement

Avec plus de 100 présentations orales et près de 450 participants de par le monde (19 nationalités), des sessions



100 présentations orales réparties sur 5 sessions en parallèle et retransmises en direct

posters, des espaces d'exposition et une plateforme digitale pour la participation à distance, Fatigue Design 2025 a été une occasion unique de découvrir les dernières avancées scientifiques et industrielles, d'échanger avec des experts et de contribuer à l'avenir de la conception mécanique durable.

Deux jours riches en conférences, innovations et networking autour des enjeux majeurs de la fatigue et de la durabilité.

Plus d'information directement sur le site avec l'ensemble du programme : <https://www.fatiguedesign.org/>

Christophe GROSJEAN,
Direction de la Recherche et des Programmes,
CETIM St Etienne



Beau succès avec 450 participants pour 19 nationalités représentées à Fatigue Design



GRAND
SCÈN

**GLOBAL
INDUSTRIE**

**30 MARS - 2 AVRIL
2026**

PARIS NORD
VILLEPINTE FRANCE



LA VOIX ET LES SOLUTIONS DE L'INDUSTRIE

100 000 m²
d'exposition

60 000
industriels

2 500
exposants

+3 000
machines en
fonctionnement

91
pays



+33(0)5.53.36.78.78
contact.globalindustrie@gl-events.com
www.global-industrie.com



La Fédération Forge Fonderie participe à Global Industrie Paris

Du 30 mars au 2 avril 2026

Le salon Global Industrie constitue un rendez-vous majeur de la sous-traitance industrielle. Il offre aux entreprises de la forge et de la fonderie un cadre propice à la valorisation de leurs compétences et de leur savoir-faire.



Pour cette édition organisée à Paris, la Fédération Forge Fonderie sera présente au sein du Village des Forges et Fonderies Françaises, un espace dédié aux forgerons et fondeurs français stand (6D35). Les équipes de la Fédération accueilleront les visiteurs, informeront les donneurs d'ordres et les institutionnels, et accompagneront les entreprises du secteur dans leurs démarches de mise en relation et de développement de contacts.

Organisé par GL Events Exhibitions Industrie, Global Industrie réunit les acteurs de l'industrie en France et à l'international. L'édition parisienne rassemblera environ 60 000 industriels, 2 500 sociétés exposantes et plus de 100 startups.



PARTENAIRE DES FORGES



CADDY 80
Cisaille mécanique
à froid pour billettes



S 50
Scie à disque "grande vitesse"
pour billettes



HF
Presse
hydraulique



DD
Presse à vis
à moteur
linéaire rotatif
avec robot
manipulateur

Ficép France SAS
Z.I Les Platanes, FR 33360 Camblanes
Tel. +33 (0) 556 201555
Fax +33 (0) 556 201556

www.ficép-france.fr



Patrick HAIRY
CETIM (Centre Technique
des Industries Mécaniques)



Michel STUCKY
CETIM (Centre Technique
des Industries Mécaniques)

David MIOT-POLETTI
CNES (Centre National
d'Etudes Spatiales)

Thibaut BOUILLY
CNES (Centre National
d'Etudes Spatiales)

Le magnésium pour les applications spatiales

Le spatial constitue un enjeu majeur pour de très nombreux pays. Les retombées potentielles sont multiples, aussi bien en termes économiques (lancement de satellites), qu'en termes de souveraineté nationale (défense) ou de recherche scientifique (observation des océans, exploration spatiale). Ce projet, mené par le CETIM pour le CNES, avait pour objectif de mettre en évidence l'apport du magnésium pour les applications spatiales afin de permettre des gains de masse. Après un état de l'art, plusieurs nuances de magnésium (AZ91, RZ5, WE43, Elektron 21) ont été sélectionnées et caractérisées sur éprouvettes avec des résultats supérieurs au minimum de la norme (NF EN 1753). Dans un second temps, un démonstrateur a été développé et réalisé qui lui aussi s'est avéré satisfaisant.

Contexte du spatial

Le spatial et l'aéronautique sont très sensibles quant à la masse volumique des composants des lanceurs et des avions. Dans le cas du spatial, le coût de mise en orbite apparaît comme un facteur clef dans la compétitivité entre grands opérateurs publics ou privés et plus généralement dans le développement du secteur. Alors que dans les années 2000, ce coût était autour de 10 000 €/kg, il a tendance à diminuer de manière importante sous le double effet de la concurrence et de nouvelles solutions technologiques. Le coût de lancement avec Ariane 6 n'est plus, par exemple, que de 5 000 €/kg en 2025, soit une réduction de 40 % par rapport à Ariane 5. Dans le futur, ce coût pourrait être encore amené à diminuer. Le spatial est donc en recherche permanente d'allègement de ses composants.

Si l'aluminium est intéressant du fait de sa faible masse volumique (2.7 g.cm^{-3}), les alliages de magnésium (1.8 g.cm^{-3}) pourraient être des challengers performants. Dans le domaine spatial, les contraintes en fonctionnement sont cependant sévères, même pour réaliser des carter ou des boîtiers en magnésium. Malgré de faibles sollicitations mécaniques pour ce type de composants, les températures de fonctionnement estimées vont en effet de -100°C à $+100^\circ\text{C}$, avec des besoins en termes de tenue au fluage et de résilience (absorption d'énergie). Cependant, la tenue au feu n'est pas un point bloquant comme elle peut l'être en aéronautique civile. Compte tenu des pièces envisagées dans le cadre de la présente étude, avec des pièces de type boîtier ou carter, la solution de réalisation par voie de fonderie paraît la plus adaptée. Nous nous sommes donc focalisés sur les alliages de magnésium moulés. Néanmoins, qualitativement, les conclusions avec des produits corroyés (laminés, filés, forgés, ...) seraient proches.

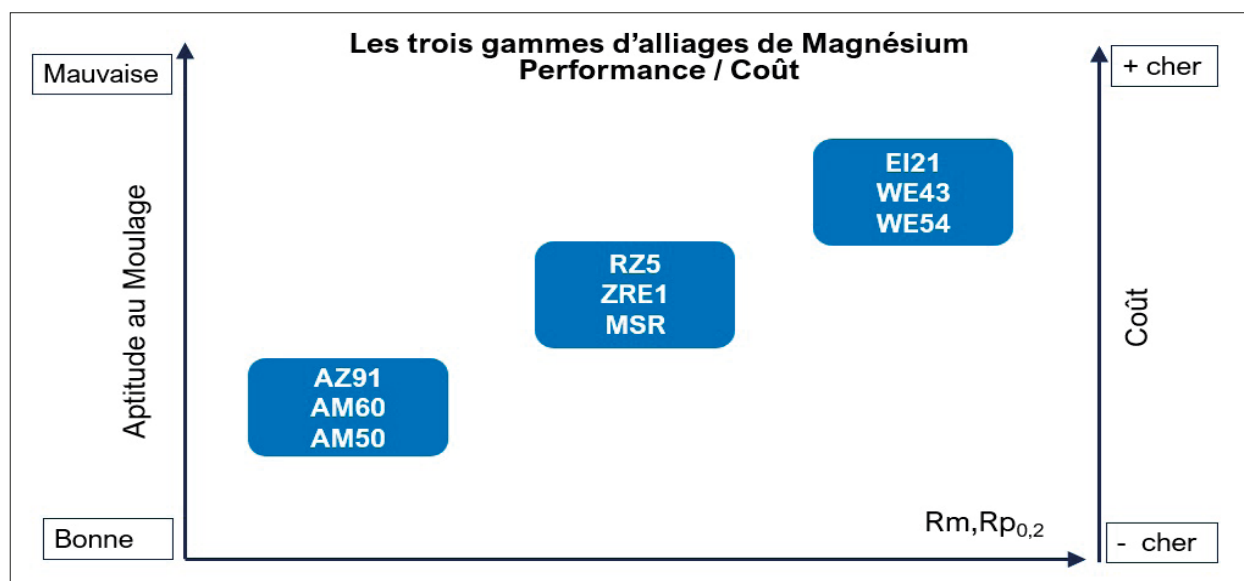


Figure 1 : Les gammes d'alliages de magnésium avec des performances croissantes

Les différents alliages de magnésium

On peut classer les alliages de magnésium de fonderie en trois grandes familles (Figure 1) qui se distinguent en première approche par des propriétés mécaniques croissantes, associées à un coût d'approvisionnement supérieur :

- Les alliages d'entrée de gamme : MgAl8Zn1 (AZ81), MgAl9Zn1 (AZ91), MgAl5Mn (AM50), MgAl5Mn (AM60) utilisés pour certaines applications automobiles (volants, carters, ...) ;
- Les alliages de moyen de gamme : MgRE2Ag1,5Zr (EQ21), MgRE2,5Ag2,5Zr (MSR-B), MgRE2Ag2,5Zr (QE22), MgRE3Zn2Zr (ZRE1), Mg Zn4RE1Zr (RZ5), Mg Zn5Zr (Z5Z) ;
- Les alliages haut de gamme : Elektron 21, Mg Y4RE3Zr (WE43), Mg Y5RE4Zr (WE54).

Pour les 3 familles précédentes, les caractéristiques mécaniques (R_m , $R_{p_{0,2}}$ et allongement) à température ambiante des alliages de magnésium sont plus faibles que celles des alliages d'aluminium (Tableau 1). Mais si on considère les propriétés spécifiques (c'est-à-dire rapportées à la masse volumique) et en particulier la limite élastique, les caractéristiques des alliages de magnésium sont inférieures à celles des alliages d'aluminium en entrée de gamme, égales en moyen de gamme et supérieures en haut de gamme.

La tenue à chaud des alliages de magnésium (Figure 2) rivalise avec celle de l'alliage AlCu5NiCoZr, la référence des alliages d'aluminium moulés dans ce domaine. On observe qu'entre 0°C et 100°C, température cible des applications visées, la perte de caractéristiques mécaniques est réduite. En revanche, cette diminution devient importante à 200°C et à 300°C. Pour les 2 alliages Mg RE2Ag1.5Zr (EQ21) et WE43, les performances au-delà de 200°C sont quasiment similaires à celles de l'alliage d'aluminium AlCu5NiCoZr.

	Type	Alliage	Etat		Densité d (g.cm ⁻¹)	Rm (MPa)	Rp _{0,2} (MPa)	A (%)	Rm* (Rm/d)	Rp* (Rp/d)
Entrée de gamme	Mg	MgAl9Zn1	D	F	1,8	200	140	1	111	78
	Al	Al Si9Cu3	D	F	2,75	240	140	<1	87	51
Moyen de gamme	Mg	Mg Zn4RE1Zr	S	T5	1,84	200	135	2,5	109	73
	Al	Al Si7Mg0,3	S	T6	2,67	230	190	2	86	71
Haut de gamme	Mg	MgY5RE4Zr	C	T6	1,85	250	170	2	135	92
	Al	AlCu5NiCoZr	C	T6	2,82	200	160	4	71	57

Tableau 1 : Tableau comparatif des propriétés à température ambiante de trois alliages de magnésium et d'aluminium d'après NF EN 1753

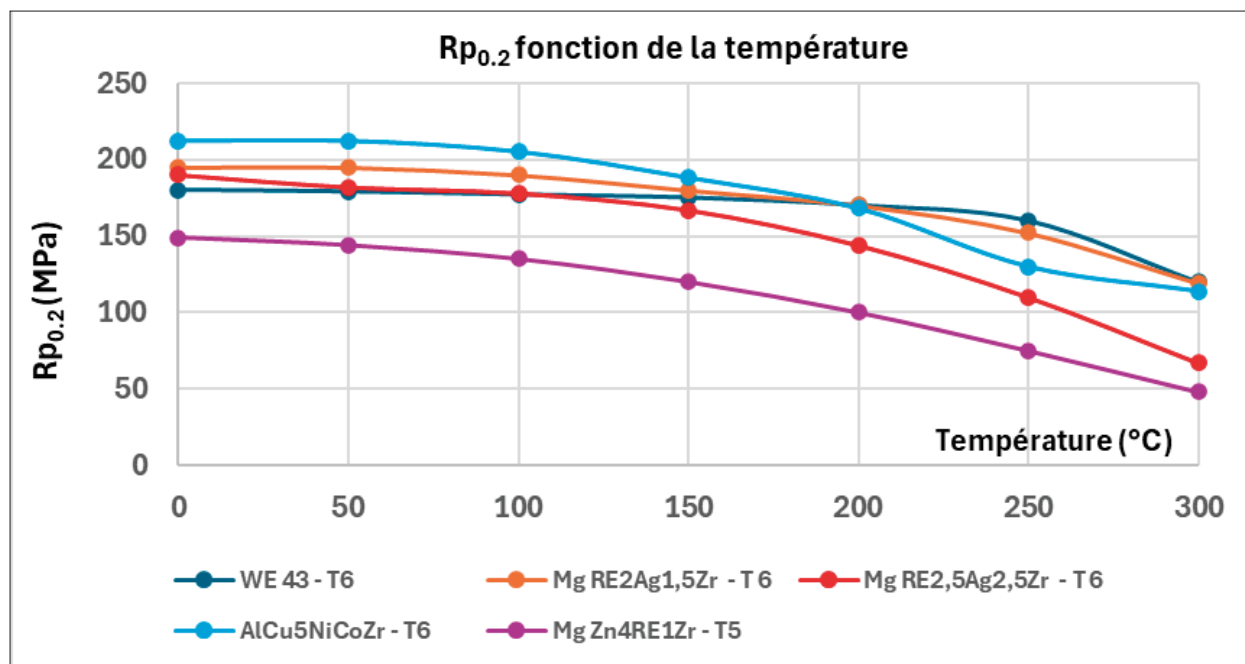


Figure 2 : Tenue à chaud (Rp0.2) des alliages de magnésium fonction de la température d'après Techniques de l'Ingénieur M449 et communication personnelle

La transition ductile-fragile des alliages de magnésium à froid est controversée. Néanmoins, les valeurs données par plusieurs auteurs indiquent un changement notable de la résilience à 20°C, -70°C et -196°C. Ainsi, la résilience de 24-46 J à 20°C, passe ensuite à 16-34 J à -70°C pour chuter à 0,4-1,4 J à -196°C. Par comparaison, les alliages d'aluminium ne présentent pas une telle « transition ductile-fragile » d'où leur utilisation pour le transport des gaz liquéfiés (certaines cuves des méthaniers ou des échangeurs cryogéniques par exemple).

Les applications en aéronautique et en spatial

L'aéronautique militaire utilise le magnésium (Figure 3) depuis plusieurs dizaines d'année (hélicoptères, ...). Ce n'est pas le cas de l'aéronautique civile. Cependant, la réglementation est en cours d'évolution pour qualifier ces alliages selon des critères d'inflammabilité (test de tenue).

On trouve ainsi du magnésium dans les inverseurs de poussée des Boeing 737, 747, 757 et 767 ainsi que dans les cadres de ventilateur des moteurs à réaction et les carters de transmission des avions et des hélicoptères. Les changements récents apportés à la norme de conception de sièges d'avion SAE AS8049C permettent désormais l'utilisation d'alliages de magnésium : répondant aux critères d'inflammabilité spécifiques de la FAA (Federal Aviation Administration) : dans les cadres de siège des avions pour les cadres de sièges passagers. Des enquêtes sont en cours pour permettre une



Figure 3 : Carter de boîte de vitesse d'hélicoptère en magnésium

utilisation plus large dans la cabine. Signalons que l'Elektron 21 offre l'intérêt d'être, à ce jour, le seul alliage de magnésium moulé à avoir réussi le test au feu permettant d'envisager son utilisation pour réaliser des pièces présentes dans les cabines de l'aéronautique civile.

Concernant le spatial, on trouve des exemples d'utilisation de pièces en magnésium dans des satellites depuis presque le début de l'ère spatiale. Ainsi, la structure du premier satellite de télécommunication TELSTAR (Figure 4), lancé en 1962, avait une « charpente » en magnésium. Le cadre de la sonde martienne Mariner 9 (Figure 5), développée au début des années 1970, est également construit sur une plate-forme octogonale en magnésium. On peut noter que l'adéquation des alliages de magnésium pour les rayonnements cosmiques est confirmée par un brevet récent [1] concernant un blindage intégrant un alliage de magnésium.



Figure 4 : Cadre de TELSTAR

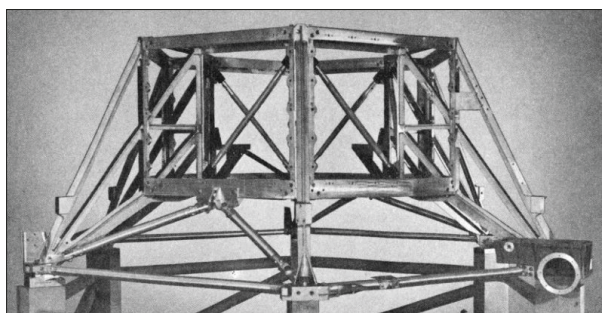


Figure 5 : Cadre de Mariner 9

Caractérisations sur éprouvettes

Compte tenu des besoins exprimés, nous avons retenu, pour réaliser des éprouvettes de caractérisation, les 4 alliages : MgAl9Zn1 (AZ91) ST4, MgZn4RE1Zr (RZ5) ST4, MgY4RE3Zr (WE43) ST6 et MgRE3Gd1Zn (Elektron 21) ST6. Ces alliages sont issus des 3 familles citées plus haut : bas de gamme (AZ91), moyen de gamme (RZ5) et haut de

gamme (WE43 et Elektron 21). Ces alliages nécessitent tous un traitement thermique pour atteindre leurs performances mécaniques optimales.

A l'exception de l'AZ91, les alliages sélectionnés contiennent des terres rares (RE pour Rare Earth) dans des teneurs variables : de 0.75 % : 1.75 % pour le RZ5 et de 2.4 % : 4.4 % pour le WE43. La composition de l'Elektron 21 spécifie, quant-à-elle, les fourchettes des 2 terres rares qui le composent : Néodyme entre 2.6 et 3.1 % et Gadolinium entre 1 et 1.7 %. Les terres rares augmentent le coût des alliages qui en contiennent. Ainsi, le prix du magnésium varie de 7-9 €/kg sans terres rares à 30-50 €/kg avec terres rares selon la teneur et le type d'élément. Leur approvisionnement, en provenance presque exclusivement de Chine, pourrait de plus constituer un verrou en cas de tension commerciale majeure.

Les éprouvettes de traction cylindrique, avec un diamètre de la zone utile de 13.8 mm après usinage, ont été réalisées par moulage sable. Les analyses suivantes ont été réalisées : composition chimique, contrôles visuels (absence d'inclusions et crasses d'un diamètre supérieur à 0,5 mm), contrôle de la dureté Brinell sur une éprouvette, contrôle de la santé interne par radiographie (suivant norme NF EN 12681-1 2) avec des indications de niveau 1 acceptées dans la zone centrale (100 mm correspondant au fut de l'éprouvette) et de niveau 2 acceptées en dehors de cette zone. Les courbes de suivi de température des traitements thermiques ont été enregistrées et enfin, après usinage, les éprouvettes ont été contrôlées par ressuage fluorescent selon la norme ISO 3452-1 avec des indications de niveaux SP1 : CP1 : LP1 : AP1 acceptées dans la zone centrale et des niveaux SP4 : LP4 : AP4 en dehors de cette zone.

Les traitements thermiques ont été réalisées sur éprouvettes selon les conditions présentées dans le Tableau 2. La mise en solution des alliages WE43 et Elektron 21 s'effectue à plus haute température (520°C) que celle des alliages AZ91 (400°C) et RZ5 (330°C).

Nom	Alliage	Mise en solution	Vieillessement
AZ91	MgAl9Zn1 ST4	16h - 400°C + suivi d'un refroidissement air calme	5 j à température ambiante
RZ5	MgZn4RE1Zr ST4	2h - 330°C + suivi d'un refroidissement air calme 16h - 180°C + suivi d'un refroidissement air calme	
WE43	MgY4RE3Zr ST6	8h - 525°C + trempe eau chaude 55°C	16h - 250°C+ suivi d'un refroidissement air calme
Elektron 21	MgRE3Gd1Zn ST6	8h - 520°C+ trempe eau chaude 80°C	16h - 200°C+ suivi d'un refroidissement air calme

Tableau 2 : Traitements thermiques sur les éprouvettes

	Rm (MPa)		Rp0.2 (MPa)		A %	
	Mesuré	Min. Norme	Mesuré	Min. Norme	Mesuré	Min. Norme
AZ91	126	240	85	110	1	6
RZ5	203	200	140	135	4.5	2.5
WE43	262	220	176	170	11	2
Elektron 21	278	248	161	145	4	2

Tableau 3 : Caractéristiques mécaniques des alliages de magnésium comparées au mini de la norme (NF EN 1753)

Les caractéristiques mécaniques (Tableau 3) ont été mesurées (Rm, Rp0.2, allongement) après traitement thermique. Les valeurs données sont des moyennes sur 5 éprouvettes et sont comparées au minimum de la norme EN 1753. On remarquera que les valeurs sont au-dessus de la norme pour 3 alliages et que seul l'AZ91 présente des valeurs très inférieures au minimum de la norme. On obtient en effet pour ce dernier en moyenne un Rm de 126 MPa, un Rp0.2 de 85 MPa et un allongement de 1 % contre un minimum requis de Rm 240 MPa, Rp0.2 110 MPa et 6 % d'allongement pour la norme. Cette différence s'explique probablement par une microstructure non conforme observée en micrographie mais non détectée en radiographie. On notera également, pour l'Elektron 21, qu'une éprouvette (sur les 5 testées) présente un allongement faible (1.5 %) inférieure au minimum de la norme (2 %).

A contrario, l'alliage WE43 est clairement au-delà de la norme avec un Rm de 262 MPa (min de la norme à 220 MPa) et surtout un allongement de 11 % contre 2 % dans la norme. Les 3 premiers alliages ont un ratio Rp0.2/Rm de 0.68 et seul l'Elektron 21 présente un ratio plus réduit (0.58). Un ratio faible peut indiquer une meilleure ductilité, utile dans les situations où un matériau doit absorber

des chocs sans se casser et un ratio plus élevé garantit, quant-à-lui, une meilleure stabilité sous charge constante, minimisant le risque de déformation permanente dans les conditions opérationnelles.

L'AZ91 et le RZ5 présentent une dureté Brinell moyenne proche de 70 HB contre des valeurs supérieures pour les 2 autres alliages : 80 HB pour le WE43 et 87 HB pour l'Elektron 21. La dureté mesurée sur les 4 alliages est, dans tous les cas, dans les intervalles de tolérance de la norme.

Examens micrographiques

Pour l'alliage AZ91, les examens micrographiques (attaque Nital) révèlent une microstructure normale constituée d'une phase primaire de magnésium (en blanc), d'un « eutectique » lamellaire Mg/Mg₁₇Al₁₂. On note aussi la présence de Mg₁₇Al₁₂ sous forme « compacte ». Enfin, les constituants gris (micrographies des Figures 6 et 7), parfois associés à des microfissures (Figure 6) de 500 à 800 µm de long ou à des microporosités (Figure 7), sont probablement des oxydes. La présence résiduelle de l'eutectoïde peut également indiquer une mise en solution incomplète ou une vitesse de refroidissement trop lente.

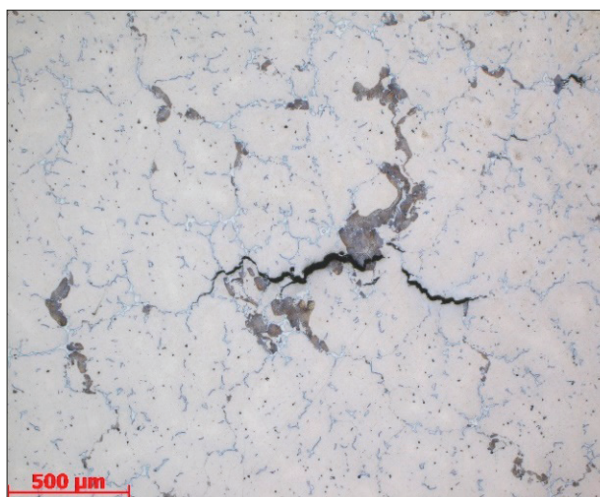


Figure 6 : Micrographie sur AZ91

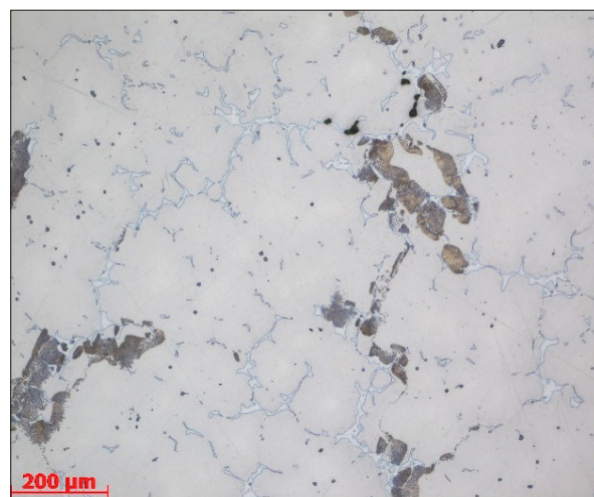


Figure 7 : Micrographie sur AZ91

Pour le RZ5 (Figures 8 et 9), les examens micrographiques révèlent une microstructure normale constituée d'une phase primaire de magnésium (en blanc) et d'un réseau interdendritique de Mg9RE.

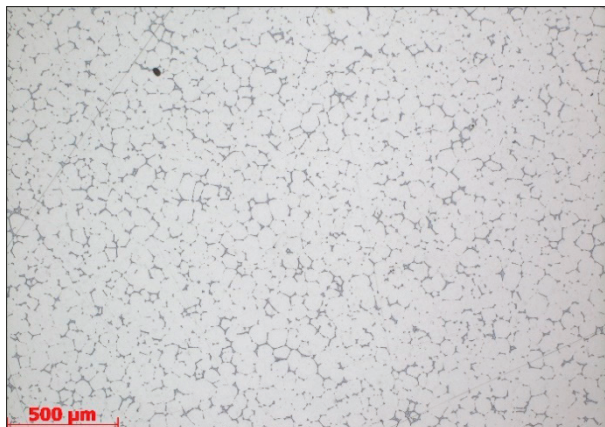


Figure 8 : Micrographie sur RZ5

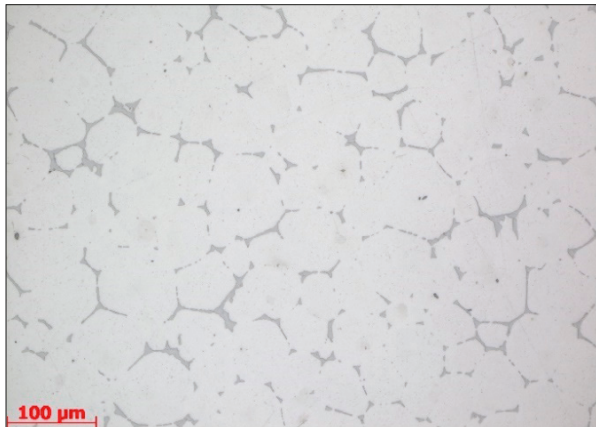


Figure 9 : Micrographie sur RZ5

Pour le WE43, la microstructure normale (Figure 10 et 11) est constituée d'une phase primaire de magnésium (en blanc) avec des précipités riches en zirconium (dans le grain) et des précipités riches en yttrium plutôt localisés aux joints des grains.

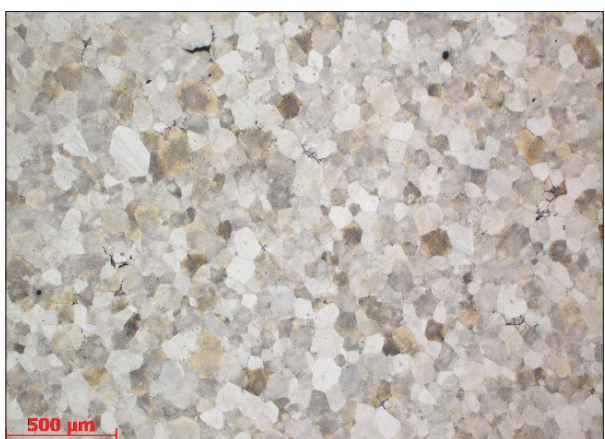


Figure 10 : Micrographie sur WE43

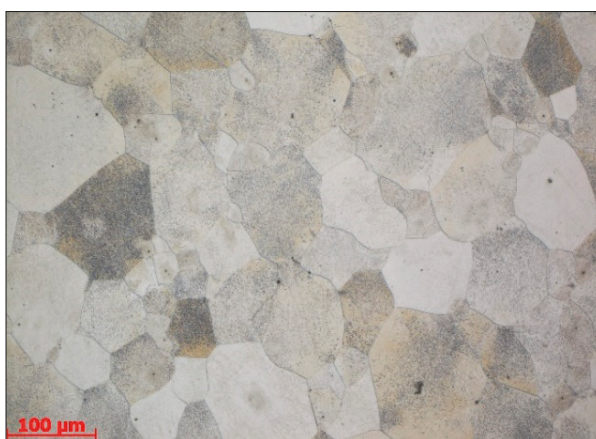


Figure 11 : Micrographie sur WE43

Pour l'Elektron 21 (Figures 12 et 13), on note une microstructure normale constituée d'une phase primaire de magnésium (en blanc) avec des précipités riches en néodyme et en gadolinium $Mg_3(Nd,Gd)$ aux joints des grains.

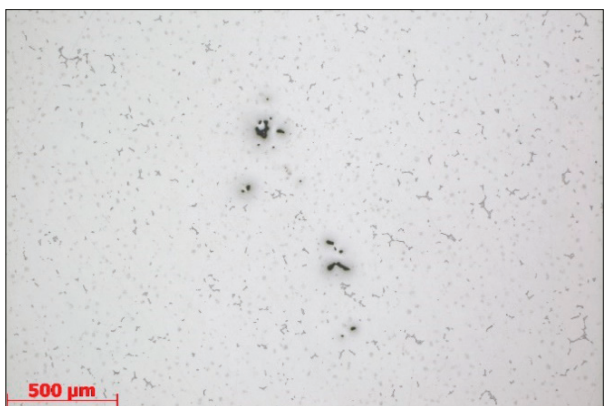


Figure 12 : Micrographie sur Elektron 21

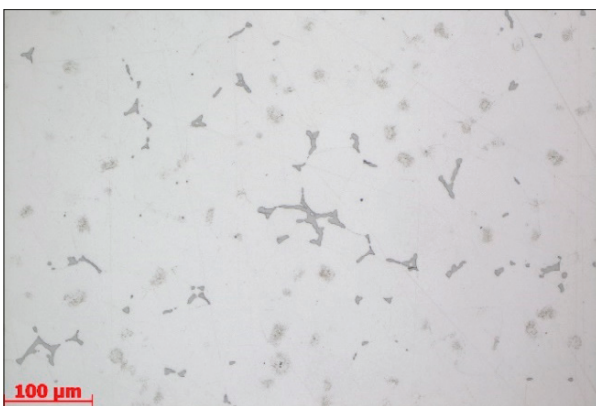


Figure 13 : Micrographie sur Elektron 21

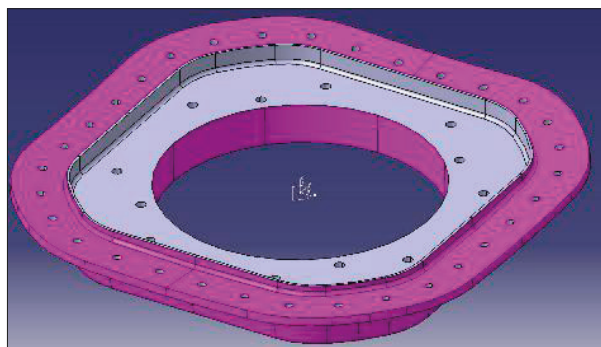


Figure 14 : Démonstrateur en magnésium

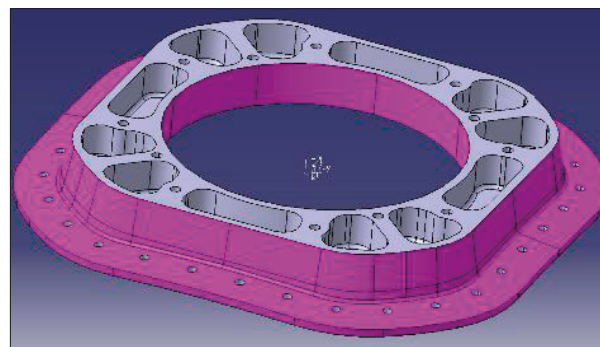


Figure 15 : Démonstrateur en magnésium

En conclusion de cette caractérisation, les quatre lots d'éprouvettes sont conformes au cahier des charges initial. Pour les alliages MgZn4RE1Zr (RZ5), MgY4RE3Zr (WE43) et MgRE3Gd1Zn (Eelktron 21), les caractéristiques mécaniques mesurées sont notablement supérieures à la norme. En revanche, les valeurs obtenues pour le MgAl9Zn1 (AZ91) sont très en dessous de ce qu'on peut attendre. Il est probable que cela soit imputable à présence d'oxydes, visibles en micrographie, et de microfissures associées qui ont fragilisés les éprouvettes.

Réalisation d'un démonstrateur

À la suite des résultats obtenus sur éprouvettes, un démonstrateur (Figures 14 et 15), dit support antenne TM-WIFI, de forme simple a été réalisé avec l'alliage RZ5 (MgZn4RE1Zr). Cet alliage a été retenu en raison du bon compromis coût/propriétés mécaniques/propriétés de fonderie/disponibilité de l'alliage.

S'agissant d'un prototype, un moule deux empreintes a été réalisé par fabrication additive avec un sable de silice et une résine furanique. Un inhibiteur a été utilisé afin d'empêcher la réaction entre l'alliage et le sable ($Mg + SiO_2 = 2 MgO + Si$). Un filtre type « Knitmesh » a été placé dans le système de coulée de la grappe pour limiter la présence d'oxyde et autres inclusions. Enfin, des refroidisseurs acier ont été positionnés dans le moule pour diriger au mieux la solidification. La pièce présentant un évidement important au centre et la grappe étant coulée par le procédé « basse pression : dépression », l'alimentation a été placée au centre de la pièce. Le bain de métal liquide a été protégé par inertage par un mélange gazeux $CO_2 + 1.5\%SF_6$. Une simulation numérique, avec plusieurs itérations, a été réalisée pour mettre au point le process. Le traitement thermique a été réalisé dans un four électrique NABERTHERM avec une gamme (Figures 16 et 17) en 2 paliers : 2h à 330°C suivi d'un refroidissement air calme puis 16h à 180°C suivi d'un refroidissement air calme. Ces conditions sont les mêmes que celles pratiquées sur les éprouvettes de caractérisation précédentes.

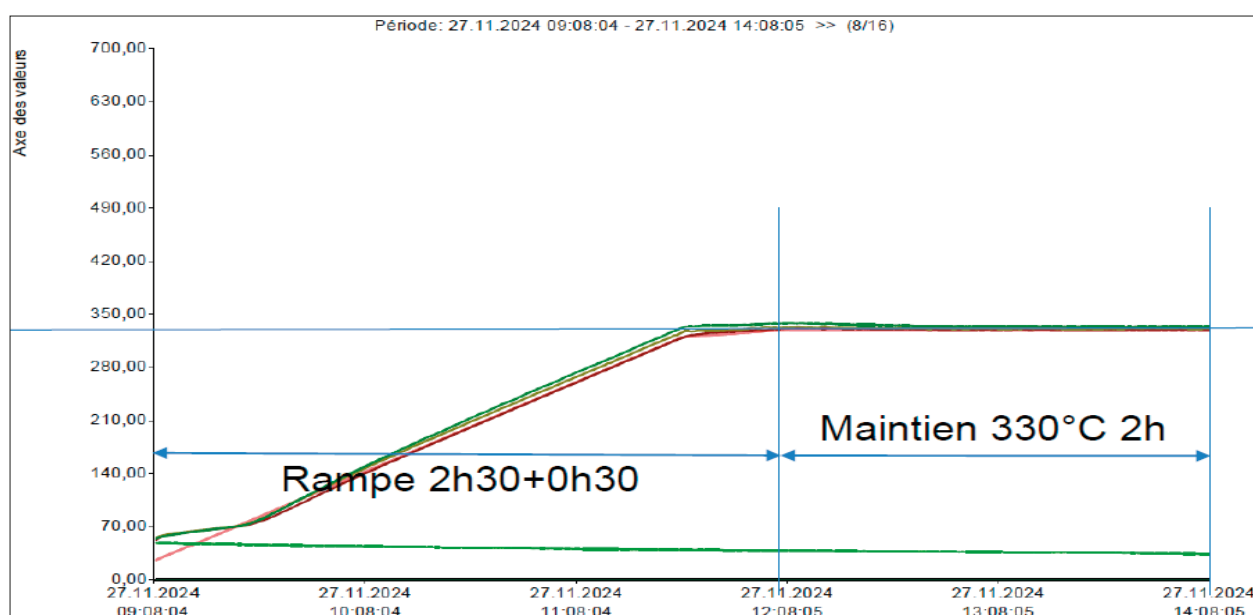


Figure 16 : Courbes de traitement thermique

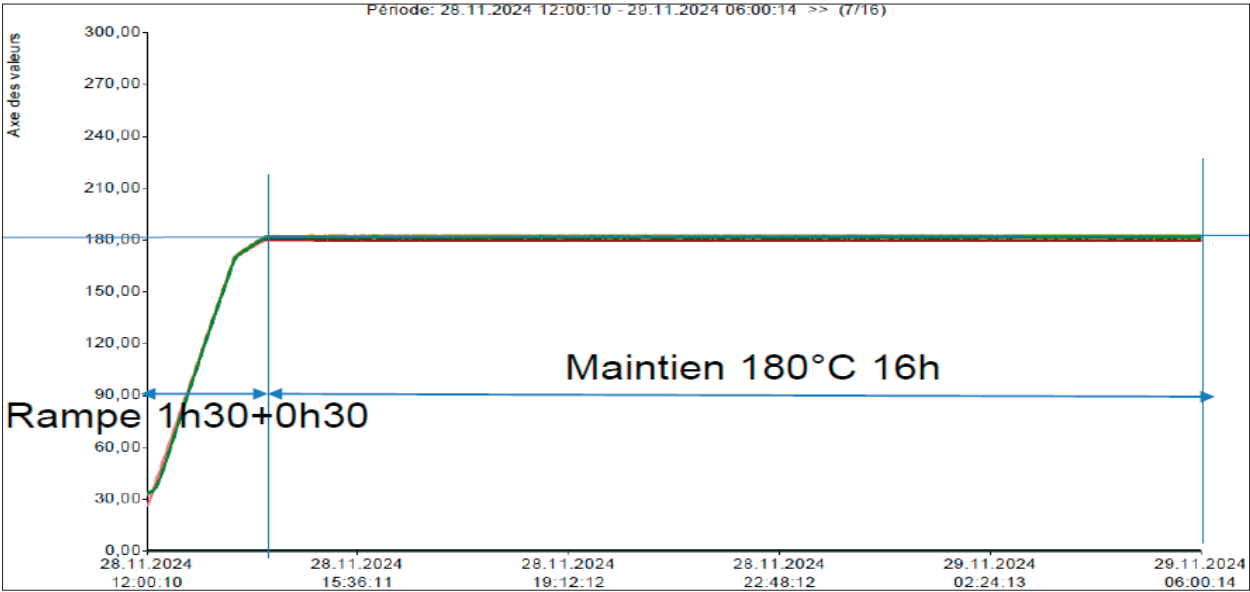


Figure 17 : Courbes de traitement thermique

La composition chimique (Tableau 4) de l'alliage RZ5 est conforme à la norme ASTM B80. En particulier, la somme des éléments terres rares (Y + TR + Nd + Gd + Pr + Sm + La) est de 0.95 %, dans la fourchette 0.75% -1.75 % de la

norme. L'aéronautique s'appuie essentiellement sur les normes ASTM préférentiellement aux normes EN ou ISO pour des raisons de simplification d'agrément.

	Al	Zn	Mn	RE*	Zr	Fe	Cu	Ni
Coulée		4.3	0.015	0.95	0.63	0.002	0.003	<0.005
ASTM B80		3.5 5	0.15	0.75 1.75	0.4 1	0,03	0,01	0,005

* RE=TR+Y+Nd+Gd+Pr+Sm+La

Tableau 4 : Composition chimique des pièces coulées

Les contrôles en radiographie numérique (Figure 18) ont permis de vérifier (suivant la norme NF EN 12681-1 ou 2) l'absence d'indications supérieures au niveau 1 en zones sollicitées et l'absence d'indications supérieures au niveau 2 en zones non sollicitées. Les pièces sont également conformes après usinage et contrôle par ressuage.

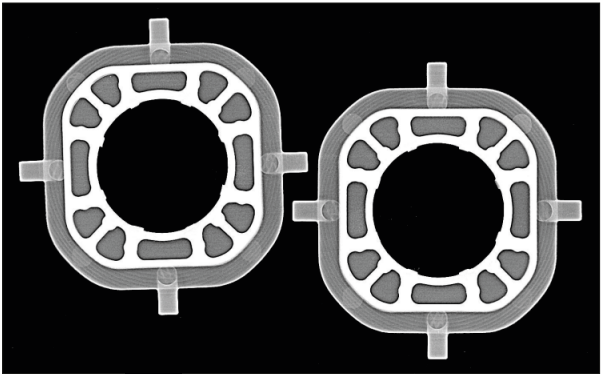


Figure 18 : Contrôle par radiographie numérique : pas d'indication visible

Les essais de traction ont été réalisés sur 2 éprouvettes attenantes usinées au diamètre 4 mm. La dureté a été réalisée sur pièce brute après traitement thermique. Les résultats (Tableau 5) mettent en évidence que les pièces sont conformes. En particulier, l'allongement : de respectivement 5.5 % et 6 % : est notablement supérieur à la valeur minimale (2.5 %) de la norme NF EN 1753. On retrouve des valeurs assez similaires à celles mesurées sur éprouvettes de traction plus épaisses (13.8 mm) réalisées dans la première partie de cette étude.

Repère	Rm (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A %	HB
Pièce 1	220	147	5.5	82
Pièce 2	220	145	6	83.5
Mini EN1753	200	135	2.5	55-70

Tableau 5 : Caractéristiques mécaniques sur éprouvettes attenantes

Conclusions

L'étude menée par le CETIM a prouvé la possibilité de réaliser des pièces en alliage de magnésium répondant aux exigences du CNES : absence d'inclusions et de crasses d'un diamètre supérieur à 0,5 mm (après usinage), santé radiographique (suivant norme NF EN 12681-1 ou 2) niveau 1 acceptée en zones sollicitées, après usinage, contrôle par ressuage fluorescent selon ISO 3452-1, niveaux SP1 : CP1 : LP1 : AP1 en zone sollicitée et tolérances dimensionnelles (+/- 0,8 mm).

Les caractéristiques mécaniques n'étaient pas une exigence de premier ordre. Néanmoins, cette étude a montré que les niveaux atteignables sont très intéressants : $R_m > 200$ MPa, $R_{p0,2} > 140$, $HB > 80$ et $A > 5$ % surtout si on considère la masse volumique de l'alliage.

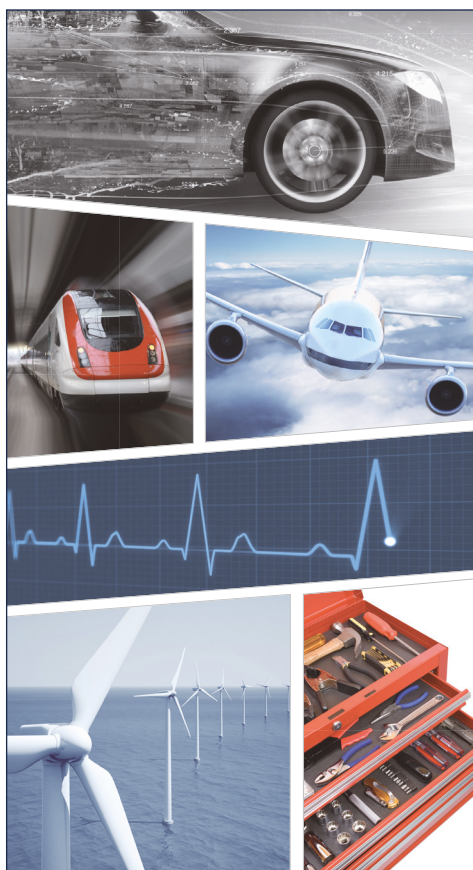
Les difficultés rencontrées sont inhérentes aux alliages de magnésium moulés : fournisseurs peu nombreux, capacité de production fortement sollicitée par le secteur aéronau-

tique et enfin réglementation limitant les possibilités d'utilisation du gaz SF6 et, en conséquence, réduction du panel de fournisseurs de ce gaz. Ces difficultés ont engendré un délai de réalisation plus long qu'initialement anticipé et dont il faudra tenir compte si cette solution est retenue en série.

L'avantage des alliages de magnésium par rapport aux alliages d'aluminium réside dans la possibilité d'obtenir un rapport propriétés/poids supérieur et donc de pouvoir alléger les pièces. De plus, les alliages de magnésium présentent une capacité d'amortissement supérieure à celle des alliages d'aluminium. Ce paramètre est toujours intéressant pour des applications soumises, même temporairement, à des phénomènes vibratoires.

Bibliographie :

[1] Manuel, Michele Viola, Henderson, Hunter B. and Jordan, Kelly, A Radiation shielding and mitigating alloys, methods of manufacture thereof and articles comprising the same. US 2020/0263278 A1 USA, August 2020.



L'OPTIMUM QUALITÉ EST NOTRE PRIORITÉ

Notre vaste gamme de machines-outils pour les techniques de formage comprend entre autres **des presses hydrauliques, des marteaux-pilons, des marteaux à contre-frappes, des presses à vis, des machines de préformage et des laminoirs transversaux et longitudinaux**. Un autre de nos atouts : **l'automatisation** clef en main des installations, lignes complètes ou simples machines. **Your needs. Our solutions.**

Domaine d'application actuel :

- ▶ Industrie automobile
- ▶ Technique ferroviaire
- ▶ Industrie aéronautique
- ▶ Construction navale
- ▶ Techniques médicales
- ▶ Appareils électroménagers
- ▶ Fabrication d'outillages à main
- ▶ Construction de machines
- ▶ Construction de machines agricoles
- ▶ Energies renouvelables
- ▶ Construction de centrales énergétiques
- ▶ Industrie de la robinetterie
- ▶ Industrie Offshore
- ▶ Industrie minière



LASCO Umformtechnik GmbH

Hahnweg 139 • 96450 Coburg • Allemagne • Tél +49 9561 642-0

LASCO.COM



Clotilde MACKE-BART
Direction de la Recherche
et des Programmes
CETIM

Recyclabilité du ZAMAK dans les emballages

Des données environnementales déterminantes dans un contexte réglementaire impactant

Suite à un manque de données environnementales terrain sur les alliages de zinc (le zamak), des acteurs de la filière européenne voient leurs marchés menacés. Ils se sont donc mobilisés ces derniers mois sous l'égide d'Expérience Zamak en France, avec le soutien du CETIM, de la FFF et de l'IZA (International Zinc Association), pour que les bases de données environnementales de référence au niveau national et international pour l'établissement d'ACV (analyses de cycle de vie), puissent disposer sans délai de données pertinentes, en particulier pour le zamak recyclé.

Le zamak démontre ici légitimement sa place au rang des matériaux compatibles en termes d'écoconception et de recyclabilité. L'état de l'art établi sur les flux et solutions pour son tri et recyclage en Europe le démontre. Mais rien n'est acquis. Retour sur une action coordonnée inédite.

Un contexte impactant

Le contexte du PPWR

Nouvelle réglementation européenne sur les emballages et les déchets d'emballages, le PPWR (Packaging and Packaging Waste Regulation) vise à harmoniser et renforcer les exigences en matière de durabilité des emballages ménagers, industriels et commerciaux, à l'échelle de l'Union européenne.

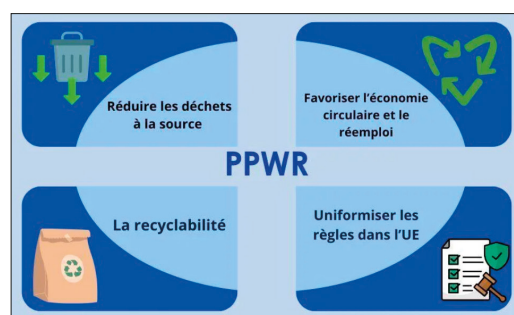
Publié au Journal Officiel de l'UE en Janvier 2025, le PPWR met ainsi en place un cadre réglementaire impactant pour les opérateurs économiques des États membres : tous les emballages qu'ils fabriquent, fournissent, importent ou distribuent doivent être recyclables d'ici 2030 et 2035. La « recyclabilité » désigne ici la compatibilité des emballages avec la gestion et le traitement des déchets dès leur conception, basés sur la collecte séparée, le tri en flux séparés, le recyclage à grande échelle et l'utilisation de matériaux recyclés pour remplacer les matières premières primaires.

Tous les producteurs devront donc à terme :

- réduire leurs déchets d'emballages en limitant leur production et en favorisant le réemploi,
- améliorer la circularité des emballages,
- et répondre à des objectifs contraignants de recyclage et d'écoconception.

Sur cette base, le PPWR impose l'élaboration de critères de conception en vue du recyclage, et de niveaux de performance en matière de recyclabilité d'ici 2028.

Ces **évaluations de performance de recyclabilité** classeront les emballages en catégories (A, B, C ou « non recyclable ») en fonction de leur conformité à des critères définis.



<https://www.eternity-systems.com/ppwr/>

L'enjeu du Design for Recycling (DfR)

Une échéance importante dans cette démarche globale sera l'intégration dans les annexes DfR (Design for Recycling) du PPWR de critères qui :

- permettront de définir la recyclabilité des emballages selon leur matériau (plastique, métal, papier, verre...).
- complèteront la grille d'évaluation de 19 paramètres techniques déjà identifiés (compatibilité avec les flux de tri, présence de composants perturbateurs, etc.). (Tableau 1)
- serviront de base pour l'étiquetage de la recyclabilité et pour les obligations de conception à partir de 2030.

Ces annexes sont élaborées au niveau européen en collaboration avec le JRC (Joint Research Centre) et les instances de normalisation (CEN). Elles seront mises à jour régulièrement, avec une mise en œuvre prévue à partir de 2030.

Element	Parameter
Predominant packaging material	Materials
	Colours/Optical transmittance
	Additives / Fillers
	Barriers / Coatings
Decoration, information, branding	Coding
	Inks / Lacquers / Varnishes
	Labels / Sleeves - Materials
	Labels / Sleeves - Packaging coverage
Closing & opening systems	Tamper evident elements (shrink wrap / rings)
	Closures / Openings
	Liners / Seals / Valves
Others	Adhesives (body, labels & components, closure)
	Dimension of packaging
	Separability of packaging parts
	Product residues
	Recycled content
	Content of biodegradable materials
	Integrated & separate components
	Others

Tableau 1 : 19 paramètres d'évaluation versus recyclabilité (JRC)

L'action au niveau du CEN (Comité Européen de Normalisation)

Au niveau du Comité Européen de Normalisation, le comité technique **CEN/TC 261** dédié aux emballages travaille dans ce cadre à l'harmonisation des normes de recyclabilité, en lien avec les exigences DfR.

A ces fins, différents groupes matériau ont été constitués pour la rédaction de nouvelles Spécifications Techniques (TS) sur la recyclabilité des emballages, parmi lesquels celui des emballages en aluminium, auquel le CETIM siège pour l'AFNOR. Dans ce comité technique, les débats et réunions de travail portent sur la classification des matériaux dans les emballages aluminium, et la définition de leur compatibilité en termes de recyclabilité.

Les spécifications en cours d'harmonisation préciseront qu'un composant intégré ou un constituant séparé puis recyclé séparément du ou des matériaux prédominants de l'emballage, -comme c'est le cas le plus souvent pour les composants en zamak-, sera bien dans la colonne des matériaux pleinement compatibles (*c'est-à-dire sans impact négatif sur le tri et les autres étapes préparatoires au recyclage et/ou au recyclage de l'emballage*).

Les prochaines échéances

Arrivant au terme de ce travail d'harmonisation conséquent, le CEN a remis ses propositions finalisées fin 2025, aux fins du lancement d'un vote formel en 2026, qui permettra ensuite à la Commission européenne de lancer une consultation plus large et de rédiger des actes délégués pour décision politique en 2027 et mise en œuvre dans les États membres en 2028.

Quel impact pour les emballages métalliques et en particulier les composants en zamak

Au rang des alliages non ferreux, et quoique porteur de flux bien inférieurs à ceux de l'aluminium, le zamak est directement concerné par ces évolutions réglementaires qui peuvent impacter sensiblement ses filières et ses marchés, notamment sur le packaging de luxe, où il est utilisé pour ses qualités esthétiques et sensorielles (aspect froid et dense au toucher), ainsi que pour sa capacité à être moulé avec grande précision. Il y est couramment employé pour des bouchons de parfumerie et de spiritueux, des capots et pièces décoratives, des systèmes de fermeture haut de gamme.

Le Zamak, avec ses filières de recyclages identifiées et reconnues dans l'état de l'art en Europe, peut revendiquer sans ambiguïté d'être totalement compatible avec des objectifs d'éco-conception car :

- il peut être utilisé en matériau unique sans lestage ni colle,
- il est recyclable sur un très grand nombre de cycles sans dégradation de ses propriétés intrinsèques,
- il ne nécessite qu'un ajout limité de matière vierge pour être refondu, lié uniquement aux pertes « normales » de matières dans le process,
- Il a un faible point de fusion, comparé à l'aluminium et au cuivre ou leurs alliages, ou à l'acier,
- Les affineurs sont équipés avec des technologies efficaces pour le séparer et le réutiliser,

Mais rien n'est acquis. Car malgré cette réalité, les bases de données environnementales de référence, telles que celles de l'ADEME ou d'EcoInvent, n'indiquaient encore récemment aucune valeur spécifique pour le zamak recyclé, ou bien mentionnaient la même empreinte carbone pour le zamak vierge et recyclé, ce qui pouvait laisser entendre à tort que le matériau ne dispose d'aucune filière de recyclage fonctionnelle.

Une filière mobilisée

Une action de fond menée en 2025 a permis de démontrer l'état de l'art dans la filière. Au vu du manque de données et d'informations sur le périmètre, des ACV de terrain sur la matière zamak ont été réalisées, ainsi qu'une amorce de cartographie de la filière de recyclage des emballages en zamak issus du flux ménager.

Collecte de données qualifiées

Autour et avec le soutien des quatre instances précitées (Expérience Zamak, CETIM, FFF, IZA), la filière s'est mobilisée en 2025, sous le pilotage d'Expérience Zamak, et forte de l'énergie motrice décuplée par l'implication de Claire TRESCARTES, Directrice de la RSE de SEGEDE, qui a été le moteur actif de cette initiative au sein de l'association.

Ainsi ont été associés à cette action inédite, dix-huit fonderies de zamak implantées en Union européenne et trois des plus importants affineurs et recycleurs de zamak européens. L'ensemble de ces acteurs représentant près de 80 % du zamak recyclé en Europe s'est en effet mobilisé pour que les bases de données environnementales telles que celles de l'ADEME ou d'EcoInvent puissent disposer de données qualifiées pour le zamak recyclé, et non plus afficher la même empreinte carbone pour le zamak vierge et recyclé.

Aux fins de combler ce manque de données, des ACV de terrain sur la matière Zamak ont donc été réalisées, consolidées, puis soumises à une revue critique auprès d'acteurs de référence, dont EcoInvent.

Une triple démarche indépendante et complémentaire

Afin d'évaluer de manière rigoureuse l'impact environnemental du zamak recyclé, les deux principaux recycleurs européens, Genlis Metal et REAZN Belgium, représentant plus de 80 % des tonnages recyclés en Europe, ont chacun mené, de façon indépendante, une analyse de cycle de vie (ACV) complète selon les normes internationales ISO 14040 et 14044.

Genlis Metal a réalisé son ACV dans le cadre d'une EPD (Environmental Product Declaration) conforme à la norme EN 15804+A2 et au format "cradle-to-gate", et publié via le programme international EPD® System (déclaration environnementale produit). L'analyse couvre les alliages ZL2, ZL3 et ZL5 et a été audité et vérifiée par un expert externe. L'inventaire de cycle de vie a ainsi été constitué à partir des données issues des flux réels de l'entreprise en 2024.

REAZN Belgium, leader du zamak secondaire, a commandé une ACV complète auprès d'un cabinet spécialisé dans les études carbone vérifiées. L'étude a là aussi été revue et validée par un tiers indépendant agréé, garantissant sa conformité aux normes ISO 14040/44 avec une ACV cradle-to-gate + end-of-life. Cette seconde étude couvrant l'ensemble du cycle de vie jusqu'à la sortie d'usine, avec prise en compte des données de transport et d'énergie spécifiques à l'entreprise, a été réalisée sur la base des données de l'année 2023.

Enfin, dans un souci de robustesse et de représentativité sectorielle, les données issues de ces deux ACV ont été croisées avec celles d'un troisième acteur, S. Erasmo Zinkal en Italie, afin de construire une moyenne conso-

lidée reflétant l'empreinte carbone d'un zamak recyclé typique européen.

Cartographie des flux

En complément de l'actualisation des données, une cartographie de la filière de recyclage des emballages en zamak issus du flux ménager a été initiée. Cette démarche a impliqué des visites de terrain, des entretiens et la réalisation de tests opérationnels chez des acteurs représentatifs de chaque maillon de la chaîne, tant en France qu'à l'échelle européenne. Pour la phase de collecte et de tri, des échanges et observations ont été menés avec des acteurs tels que Derichebourg, Sietrem, Paprec, Suez; pour le traitement et l'affinage, les entreprises Affimet, Groupe Aurea, Alumental, Skapa Recycling, Genlis, REAZN, KEBAG, Redwave et Tomra ont été impliquées.

Ce réseau couvre donc des acteurs situés en France, Allemagne, Italie, Autriche et Pologne, témoignant du caractère transnational et industrialisé de la filière zamak. L'étude a débuté en partenariat avec le Sietrem, à partir des poubelles jaunes du 77 (Seine-et-Marne), pour remonter l'ensemble de la chaîne de traitement, depuis le centre de tri Suez jusqu'aux fondeurs-affineurs, assurant ainsi une vision complète, documentée et ancrée dans la réalité du terrain.

Analyse des flux du particulier au particulier

Piloté également par Claire TRESGARTE, chaînon majeur de cette action coordonnée sur 2025, le zoom sur le test de terrain réalisé en grandeur réelle auprès des différents acteurs, permet de résumer les flux depuis le particulier qui jette son emballage jusqu'à toutes les filières engagées en aval (Figure 1).

Sur le 1^{er} flux (bac du verre), les verriers avec un centre de tri intégré (type Verallia) et grossistes en verre (type Sibelco) gèrent le flux en amont d'une part des verriers sans centres de tri (type Saverglass), d'autre part des grossistes en métaux puis raffineurs d'aluminium, de zamak, de laiton et/ou de zinc. Selon les partenaires impliqués, le zamak, l'aluminium et le laiton peuvent se vendre jusqu'à 4 000 € la tonne, rendant l'incinération financièrement peu intéressante (en Europe ou à l'étranger).

Sur le 2^e flux (poubelles jaunes), le 1^{er} passage par les centres de tri permet d'isoler les métaux non ferreux par courants de Foucault et de les regrouper en une seule fraction « mélange NF » ensuite triée par types de métaux par des intermédiaires spécialisés, positionnés en amont des affineurs (d'aluminium ou de zamak).

Les données d'impact carbone du zamak recyclé ont été mutualisées et moyennées par l'International Zinc Association, puis soumises à une revue critique par EcoInvent, dans le strict respect des critères de qualité exigés par la base de données. Leur publication est effective depuis novembre 2025 et permet désormais une différenciation claire en termes d'écarts d'impact entre zamak primaire et zamak recyclé, avec une valeur de l'impact carbone pour le zamak recyclé de 671 kg CO₂ par tonne (dans l'hypothèse conservatrice de 10% de zinc primaire ajouté), contre une valeur qui était jusque là à 2400 kg dans cette même base, faute de données qualifiées.

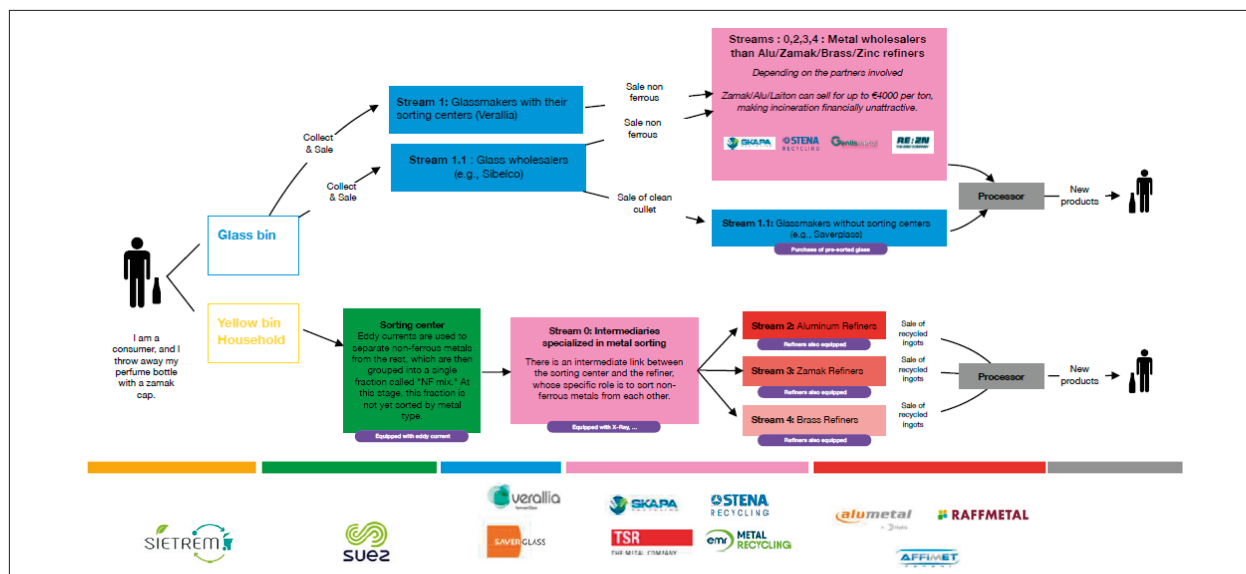


Figure 1 : Schématisation d'un flux d'emballages domestiques

Une chaîne de valeur d'acteurs spécialisés

Dans cette cartographie, Sietrem est une collectivité locale chargée de la collecte et du transfert des déchets ménagers vers un centre de tri exploité par exemple par Suez. Dans le centre de tri, convoyeurs et séparations mécaniques assurent le tri par taille et densité (tambours, tamis, etc.). Les erreurs sont corrigées par tri manuel, et les métaux sont séparés (ferreux par systèmes magnétiques, non ferreux (zamak ou aluminium) par séparateurs à courants de Foucault).

Les intermédiaires spécialisés sont eux équipés de technologies industrielles de pointe, atteignant des taux de pureté proches de 95 % : SKAPA Recycling (Autriche) trie le zamak, l'aluminium et le laiton par fluorescence X (XRF) ; Stena Recycling (Suède + Europe) est spécialisé dans le tri multi-matériaux, y compris les métaux non ferreux ; TSR Recycling (Allemagne) collecte, trie et prépare des fractions pures ; EMR (European Metal Recycling) a développé une spécialité sur le tri des métaux.

En aval, l'affinage de l'aluminium porte les plus gros volumes avec le poids important des déchets de canettes. Cependant, les affineurs de laiton, de zinc et de zamak récupèrent également une partie de ce flux de déchets ménagers et forment ainsi leur propre secteur. Dans l'état de l'art, les principaux sont également équipés de technologies de tri avancé, pour aussi traiter divers flux non ménagers et garantir la pureté de leurs métaux grâce à la radiographie X, la LIBS et d'autres technologies. Les fractions ainsi triées sont ensuite revendues aux transformateurs qui achètent des matières premières pour fabriquer des produits mis sur le marché.

Les tests réalisés sur ligne industrielle montrent que les capots en zamak, une fois extraits par courant de Foucault dans les centres de tri, rejoignent les balles de non-ferreux mélangés. Ce flux est ensuite réceptionné par des affineurs spécialisés (majoritairement ceux en aluminium), qui disposent de technologies de séparation matière par densité, conductivité et analyse spectroscopique (XRF). Ces procédés sont largement répandus, dans le monde et notamment en Europe où des sociétés comme Redwave et Tomra ont équipé plus de 100 sociétés en Europe. Chaque matériau est donc en capacité d'être trié et envoyé vers un flux matière dédié pour affinage ou refonte : aluminium, cuivre, laiton et zinc/zamak.

Des solutions de tri d'ores et déjà efficaces

Au-delà des technologies usuelles, la sélection des solutions de tri s'étioffe de nouvelles voies techniques qui viennent enrichir la palette de solutions en aval des étapes de broyage, séparation magnétique, tamisage et tri granulométrique, puis tri optique des déchets mélangés jusqu'à obtention du « ZORBA » (mélange de métaux non ferreux après tri magnétique) : aluminium, zamak, laiton, cuivre, etc.

Les capteurs à induction permettent de différencier les matériaux selon leur conductivité

Les capteurs spécifiques de type Redwave XRF-C séparent aluminium, cuivre, laiton, zinc / zamak et non-métaux

Les dernières générations de technologies de tri, comme le système Tomra Autosort Pulse couplent L.I.B.S. (Laser-Induced Breakdown Spectroscopy) et scanning 3D par caméra et capteurs de profondeur.

L'ensemble du tri est effectué en amont de l'affinage, permettant une optimisation du rendement matière et une réduction drastique des pertes métalliques.

Les sociétés Tomra et Redwave équipent très largement les affineurs, notamment d'aluminium en Europe (Alumetal, Raffmetal, Hydro, Constellium, Aurubis, Derichebourg) et dans le monde, avec de vraies performances revendiquées :

- 95 % de matière zinc/zamak isolée
- 99,7 % de matière aluminium isolée (mesuré chez Derichebourg en 2024)

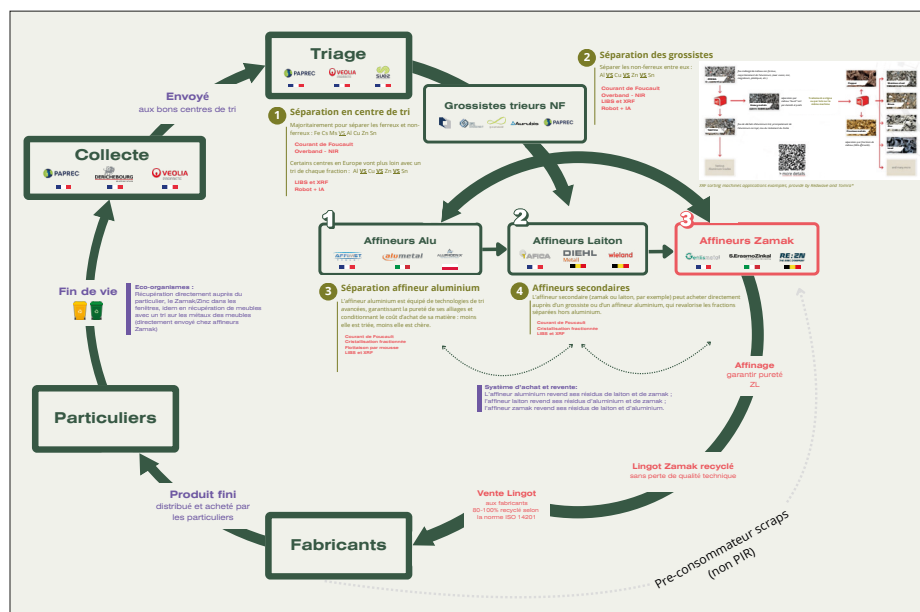


Figure 2 : illustration de la boucle de recyclage du zamak



Solutions faisant partie de l'état de l'art, ces équipements sont conçus pour trier automatiquement et précisément les alliages non ferreux, y compris le zamak, avec une fiabilité industrielle éprouvée sur des flux bien plus complexes. Il n'existe donc aucun obstacle technologique au tri efficace du zamak à l'échelle industrielle.

Une conformité en recyclabilité démontrée

Sur la base des éléments précités, la figure 2 établie dans le cadre de l'action 2025 démontre sur une boucle fermée, la capacité dans l'état de l'art, à capter le zamak dès le tri matière, le traiter avec précision, et le valoriser sans contamination croisée, dans une logique conforme aux ambitions du règlement PPWR sur la recyclabilité matière, la réduction de la dépendance aux matières vierges et la performance carbone.

A noter par ailleurs que la norme ISO 14021 (encadrant les auto-déclarations environnementales pour les produits) spécifie que des contenus recyclés incluent des déchets post-consommation, et des déchets pré-consommation, à condition qu'ils soient issus d'un processus différent de celui de la production du produit final. Les matières revenues aux recycleurs en aval du processus de fonderie et transformées pour être remises dans la boucle de circulation entrent donc clairement dans ces volumes de matières recyclées.

EN SYNTHÈSE

L'action menée en 2025 a permis de fournir aux parties prenantes, institutions européennes, normalisateurs, éco-organismes, des données actualisées sur l'empreinte carbone réelle du zamak recyclé et sur la structuration opérationnelle de sa filière de recyclage.

Un effort qui a payé, puisqu'en novembre 2025, la mise à jour de la base EcoInvent, base de référence sur les analyses de cycle de vie (ACV), a permis de rectifier la valeur de l'impact carbone pour le zamak recyclé en phase avec sa réalité : 671 kg CO₂ par tonne (contre une valeur qui était jusque là à 2400 kg faute de données

qualifiées), avec l'hypothèse pourtant encore conservatrice de 10% de zinc primaire ajouté.

La réalité de la recyclabilité à grande échelle du Zamak, et sa conformité avec les critères DfR en cours d'élaboration dans le cadre du PPWR, sont ici démontrées. En phase avec cette réalité, les projets d'annexes des spécifications techniques du CEN en lien avec le DfR et les recommandations à venir du règlement PPWR prévoient que le zamak soit clairement identifié comme « pleinement compatible ».

Le zamak démontre ici qu'il est un matériau recyclable et recyclé, qui répond pleinement aux attentes du règlement PPWR : utilisable en matériau unique, ou associé à d'autres matériaux, refondu sans ajout de matière vierge, et trié ou triable efficacement grâce à des technologies industrielles déjà largement déployées dans l'état de l'art en Europe pour le traitement des métaux non ferreux.

Ce dossier apporte plusieurs éléments d'illustration de cette réalité industrielle. De fait, l'éco-organisme CITEO, fort de cette réalité, a d'ores et déjà intégré le zamak dans les colonnes des matériaux compatibles au recyclage de ses guides de recommandation (guides COTREV (verre) et COTREM (aluminium)).

L'action coordonnée sera poursuivie en 2026, avec l'élargissement de l'ACV au process. La disponibilité de ces nouvelles données qualifiées devra permettre à l'ADEME une actualisation de sa base de données, déjà sur le zamak recyclé, et aux autres éco-organismes en France, d'intégrer ces nouveaux paramètres dans leurs guides de recommandations.

Remerciements à Claire TRECARTES, moteur incontesté de cette mobilisation inédite majeure.

Défis et opportunités de l'électrification dans les forges et les fonderies

La politique climatique de l'Union européenne s'est progressivement structurée, depuis la mise en place du système d'échange de quotas d'émission de CO₂ en 2005 jusqu'à l'adoption de la loi européenne sur le climat de 2021, qui rend juridiquement contraignant auprès des Etats membres l'objectif de neutralité climatique à l'horizon 2050. Plus récemment en cette fin d'année 2025, la Commission européenne a proposé un objectif climatique intermédiaire pour 2040, visant une réduction nette de 90 % des émissions par rapport à 1990.

Si la pression réglementaire constitue aujourd'hui un moteur structurant de la décarbonation pour les installations entrant dans le champ d'application de ces textes européens, elle ne contraint pas à ce stade l'ensemble des entreprises. Pour autant, indépendamment de leurs obligations réglementaires, les entreprises, y compris les forges et les fonderies, s'engagent dans des démarches de décarbonation pour d'autres raisons : stratégie de différenciation, anticipation des évolutions de marché, ou encore réponse aux exigences croissantes des clients en matière de produits bas carbone.

Pour engager leur trajectoire de décarbonation, les forges et les fonderies, quel que soit leur profil, ont d'abord privilégié des mesures opérationnelles d'efficacité énergétique, accessibles et rapides à mettre en œuvre. Une fois ces premières actions réalisées, l'électrification s'impose alors comme le second levier majeur de la décarbonation, en s'appuyant sur un mix électrique national largement décarboné en comparaison européenne.

Sur le plan technologique aussi l'électrification possède des atouts : les technologies électriques de chauffe et de traitement thermique utilisées en forge et en fonderie affichent de meilleures performances énergétiques que les technologies utilisant des énergies fossiles et elles sont aussi déjà commercialement disponibles.

Malgré ces atouts, la dynamique d'électrification marque aujourd'hui le pas.

S'il demeure difficile de dresser un bilan de l'électrification dans les forges, les données issues du guide « Maîtrise de l'énergie en fonderie » publié par le CTIF en 2022 permettent d'estimer qu'environ la moitié des fonderies françaises reste encore à électrifier.

Ce ralentissement de la dynamique d'électrification est identifié par la Commission européenne qui, pour y répondre, a engagé l'élaboration d'un plan d'action dédié, visant l'augmentation de la part de l'électricité dans la consommation finale d'énergie (passant de 23 % en 2023 à 33 % en 2030). Dans l'appel à contributions initié en novembre 2025 pour construire ce plan d'action, la Commission propose son analyse des freins à l'électrification qu'elle a identifié. Une analyse que nous partageons notamment concernant le manque de visibilité à long terme

sur les prix de l'électricité ainsi que leur forte volatilité, qui compliquent la prévision des coûts d'exploitation et freinent les décisions d'investissement.

Dans ce cadre, la Fédération forge fonderie a pris part à cet appel à contribution en mettant en avant d'autres obstacles rencontrés par les forges et les fonderies grâce aux retours obtenus des industriels. Au-delà de ce constat, les entreprises souhaitant électrifier leurs procédés se heurtent à un ensemble de difficultés qui convergent vers un même enjeu central ; celui de l'acheminement d'une puissance électrique suffisante jusqu'aux outils de production, et plus précisément :

- L'insuffisance de la puissance disponible localement,
- Le coût des travaux d'acheminement du réseau électrique qui est imputé à l'industriel,
- La durée longue et le coût important des travaux de voirie supportés collectivement,
- Des contraintes de ressources humaines et d'ingénierie rencontrées chez les gestionnaires de réseaux
- Les délais importants liés aux documents d'urbanisme (modification de PLU par exemple)
- Les complexités administratives des procédures françaises pour accéder à des contrats de fourniture d'électricité à forte puissance.

Dans ce contexte, la Fédération forge fonderie a porté plusieurs pistes d'action visant à lever les freins à l'électrification. Celles-ci portent à la fois sur l'amélioration de la visibilité et de la stabilité des prix de l'électricité, la facilitation de l'accès à des contrats de fourniture à long terme, l'adaptation des dispositifs de compensation des coûts indirects afin de mieux tenir compte du différentiel de coûts avec les pays tiers, ainsi que le maintien et le renforcement des aides à l'investissement, en particulier pour les PME.

Plusieurs dispositifs existent d'ores et déjà pour accompagner cette transition, qu'il s'agisse des certificats d'économies d'énergie (CEE) dédiés à l'efficacité énergétique ou de dispositifs de soutien ciblés à la décarbonation. À ce titre, le programme Décarb Flash de l'ADEME, ouvert en avril 2025 et prévu jusqu'en février 2027, permet d'accompagner les projets d'électrification des procédés, avec un niveau d'aide calculé en fonction des émissions de CO₂ évitées.

Le futur plan d'action européen pour l'électrification est attendu au premier trimestre 2026. Celui-ci pourrait redonner de l'élan à des secteurs industriels déjà engagés dans la décarbonation, mais qui restent confrontés à des obstacles techniques, économiques et structurels.

Charlotte MOUGEOT
Responsable Environnement Hygiène et Sécurité
Fédération Forge Fonderie



Guillaume KOZUBSKI
Responsable des relations
adhérents,
Fédération Forge Fonderie



La relance mondiale de l'énergie nucléaire : des promesses au réalisme.

Du 4 au 6 novembre dernier, la 6^e édition du World Nuclear Exhibition a rencontré un succès indéniable en termes de fréquentation et d'annonces, à l'image d'un secteur du nucléaire civil en effervescence à l'échelle internationale. Une dynamique qui, en Europe, doit dépasser le stade des intentions politiques et s'appuyer sur une chaîne de valeur souveraine dans laquelle les activités de forge et de fonderie occupent une place déterminante.

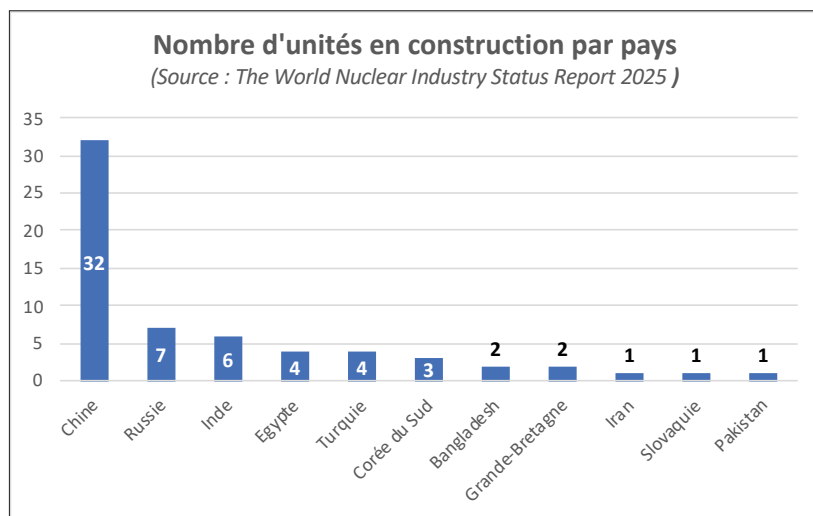
Organisé tous les deux ans depuis 2014 par la filière nucléaire française sous l'égide du GIFEN, le WNE est un salon international de référence qui a la particularité de couvrir l'intégralité des activités de l'industrie du nucléaire civil avec une forte dimension « business & networking » du fait de la présence des principaux décideurs économiques et institutionnels. Il est également l'un des plus fréquentés - 36000 participants (25 % internationaux) et 1070 exposants (45 % internationaux) en 2025, le seul concurrent étant le salon russe Atomexpo, vitrine de la société Rosatom et principalement dédié à l'exportation vers les pays émergents.

Le rôle central du nucléaire dans la trajectoire énergétique mondiale

Il existe actuellement 408 unités en fonctionnement dans 31 pays - dont 57 en France - pour une puissance de 368,7 GW. La production totale a atteint le record inégalé en 2024 avec 2,677 TWh généré, ce qui a représenté 9 % de la production mondiale d'électricité. Par comparaison, en 1996, ce pourcentage a atteint son plus niveau à 17,5 % pour une production de 2,250 TWh.

Dans une déclaration commune à l'occasion de la COP28 sur le changement climatique en décembre 2023, 22 Etats se sont engagés à s'entraider pour tripler la capacité de production d'énergie nucléaire par trois entre 2020 et 2050 afin de la porter à plus de 1100 GW. Neuf pays ont rejoint depuis cette liste, qui comprend de nombreux pays ne possédant pas encore de centrale nucléaire, comme le Maroc, le Kenya, le Nigéria, la Jamaïque ou encore la Mongolie. En Europe, trois pays envisagent de développer le nucléaire : la Pologne, la Croatie et la Moldavie.

Mais ce sont surtout les nouvelles capacités en construction qui illustrent le mieux ce dynamisme international : fin 2025, 63 unités sont en construction dans le monde, dont 32 en Chine et la plupart des autres en Asie.



Autre constat sans appel : les technologies russes dominent clairement les marchés d'exportation, avec 20 unités sur 63 réalisées dans d'autres pays, y compris ceux disposant de leurs propres technologies : Chine (4 unités d'origine russe en construction), Inde (4), Turquie (4), Egypte (4), Bangladesh (2), Slovaquie (1) et Iran (1). Seule la France exporte également sa technologie, avec les deux unités en construction à Hinkley Point C (mise en route prévue en 2029), auxquelles il faut ajouter le second projet d'envergure d'EDF en Grande-Bretagne, officiellement lancé en juillet 2025, avec les deux nouvelles unités de Sizewell C.

Pour des raisons variables selon les régions du monde, l'énergie nucléaire s'affirme ainsi de plus en plus comme un levier indispensable pour décarboner les économies et assurer la souveraineté énergétique. C'est particulièrement le cas en France où l'Etat se prépare à investir massivement pour la construction de six nouveaux réacteurs nucléaires de grande puissance « EPR 2 » (2 à Penly, 2 à Gravelines et 2 au Bugey).

Répondre à l'enjeu industriel : la standardisation

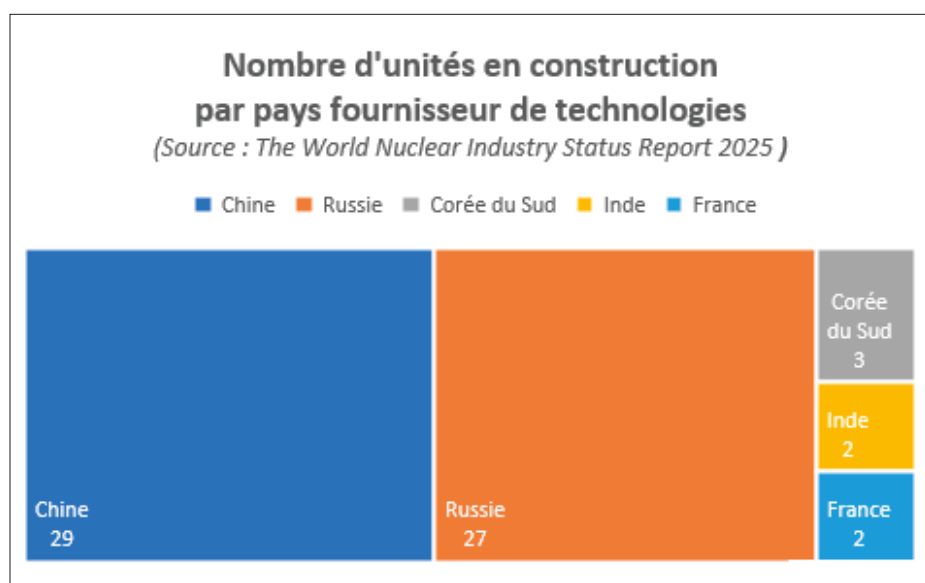
Le retard pris dans la construction des réacteurs EPR à Flamanville-3 a largement été commenté en France, mais ces dépassements - également financiers, sont constatés dans tous les pays et quelque soit l'origine de la technologie. Le WNE a été

l'occasion pour les grands donneurs d'ordre comme Framatome ou EDF de rappeler que plus les modèles de composants et les designs des centrales seront standardisés, plus les risques techniques et calendaires diminueront. Et c'est ce changement de paradigme qui doit être mis en œuvre pour les projets Sizewell C et les 6 nouveaux réacteurs en France.

Pour répondre à cet enjeu industriel, Bernard Fontana, PDG d'EDF, a appelé lors d'une table-ronde à tirer les leçons d'industries comme l'aéronautique ou l'automobile où la standardisation a permis l'excellence opérationnelle :

« Nous devons passer d'un modèle de supply-chain traditionnel à une chaîne de valeur à long terme ». Pour les industriels de la forge et de la fonderie fournissant les marchés du nucléaire civil, et en particulier ceux concernés par les composants au cœur des exigences de sûreté, cela implique donc de mettre en place des partenariats structurants avec tous les acteurs de la chaîne d'approvisionnement dans le but de simplifier et de standardiser les consultations, les qualifications et les procédures de surveillance, à l'exemple en effet de la filière aéronautique.

Nous saluons enfin la participation des entreprises adhérentes de la Fédération Forge Fonderie et leur savoir-faire en la matière lors du WNE 2025 : Forges de Monplaisir, L'Union des Forgerons, SBS Forge et Forges d'Albert ; Manoir France, Fonderies Hachette et Driout, Ferry-Capitain (et les entités du groupe CIF), Saint-Gobain SEVA et Saint-Gobain PAM Canalisation, Lemer et Fonderies de Sougland.



À la rencontre des jeunes talents de la fonderie

Retour sur le stage dating du Lycée Gustave Eiffel d'Armentières

Le 4 novembre dernier, la Fédération Forge Fonderie a pris part au « stage dating » organisé par le Lycée Gustave Eiffel d'Armentières (59), un rendez-vous important pour favoriser la mise en relation entre apprenants et entreprises du secteur.

Cette édition a rassemblé quinze fonderies et près de trente élèves, du Bac Pro au BTS, tous motivés pour découvrir la richesse des métiers de la fonderie et s'engager dans un parcours professionnel concret.

Un temps d'échange privilégié

Au fil des rencontres, les jeunes ont pu présenter leurs aspirations, poser leurs questions et confronter leurs premières expériences aux attentes des professionnels.

Pour la Fédération Forge Fonderie, cet événement constituait une opportunité supplémentaire afin de sensibiliser les élèves aux perspectives offertes par la filière, qu'il s'agisse de poursuites d'études, de spécialisations techniques ou d'opportunités d'insertion dans le secteur fonderie et de la forge.



Une organisation saluée

La Fédération tient à souligner la qualité de l'organisation et l'implication des équipes pédagogiques. Félicitations particulières à Nicolas Armingaud, Directeur Délégué aux Formations Professionnelles et Technologiques, dont l'engagement contribue activement à mettre en lumière les jeunes apprenants.

Une mobilisation continue

Actrice de longue date de la promotion des métiers de la fonderie, la Fédération Forge Fonderie réaffirme son engagement à accompagner la formation, l'orientation et l'intégration de ces futurs professionnels. En soutenant ces initiatives locales, la Fédération souligne l'importance du lien entre l'école et l'entreprise afin de bâtir la relève indispensable à la dynamique de nos métiers.

Sergio DA ROCHA
Responsable Formation
Fédération Forges Fonderie



Organisation du Concours « Un des Meilleurs Ouvriers de France » Fonderie d'Art

La Fédération Forge Fonderie poursuit son action en faveur de l'excellence des métiers en renouvelant son investissement dans l'organisation du Concours Un des Meilleurs Ouvriers de France (MOF), classe Fonderie d'Art, en collaboration étroite avec le COET-MOF, délégataire de la mission de service public en charge du concours.



Dans la continuité de la précédente édition, Monsieur Jean-Pierre Vexlard, Meilleur Ouvrier de France 2017 et fondeur d'art à Rambervilliers (88), assure la présidence du concours, nomination officialisée par arrêté publié au Journal officiel.

Monsieur Jean Dubos, figure reconnue de la Fonderie Coubertin (78) et ancien président de la classe Fondateur d'Art du concours MOF, a renouvelé sa participation en tant que membre du jury sujet, poursuivant une démarche de transmission qui lui tient particulièrement à cœur.



Un engagement structurant pour la filière

Après une première implication en 2022, la Fédération a de nouveau participé à la constitution d'un jury représentatif, composé de professionnels expérimentés et d'enseignants reconnus pour leur expertise technique. Cette démarche s'inscrit dans une volonté claire : valoriser le savoir-faire des fondeurs d'art et assurer la transmission des compétences.





Une catégorie d'excellence encore confidentielle

Avec cinq candidats, la classe Fonderie d'Art demeure une catégorie confidentielle du concours MOF. La Fédération souhaite, à travers sa mobilisation, renforcer la visibilité de cette spécialité, encore peu connue des professionnels et du grand public, mais fondamentale pour la préservation et le rayonnement du savoir-faire français.

L'objectif est de faire du concours MOF la référence nationale de l'excellence professionnelle pour les fondeurs d'art, en valorisant les parcours, la créativité et la maîtrise technique de ces artisans d'exception.



La commission sujet

Pour garantir une épreuve finale exigeante, équitable et représentative du niveau d'excellence attendu, le Président du concours et la Fédération ont également investi une commission sujet, en charge de définir les modèles à reproduire et les modalités techniques de l'épreuve.

Réunie le 13 octobre à Arcueil, la commission a arrêté ses choix concernant les modèles plâtre pour les deux options de la finale.

Ces propositions, issues d'un échange approfondi entre la commission sujet et l'atelier Lorenzi, en charge de la production des modèles ont été transmises au COET-MOF.

Une épreuve au niveau d'exigence exceptionnel

Dans la version précédente du concours, les finalistes devaient réaliser, en moins de 300 heures, des reproductions en bronze d'œuvres emblématiques telles que l'Apollon du Belvédère ou Psyché ranimée par le baiser de l'Amour. Le maintien d'un niveau d'exigence similaire témoigne de la volonté du jury de garantir une épreuve à la hauteur de l'enjeu : valider une maîtrise d'excellence, reconnue comme un diplôme de niveau Bac+2.

Fière de contribuer à cette aventure humaine et technique, la Fédération reste mobilisée pour faire du concours MOF un pilier de la reconnaissance professionnelle et un vecteur d'ambition pour les générations futures.

Sergio DA ROCHA
Responsable Formation
Fédération Forges Fonderie



EUROFORGE



24. International Forging Congress

Forging a **Sustainable** Future.



Fondé en 1953, l'International Forging Congress (IFC) est le premier événement mondial dédié à l'avancement scientifique industriel de la forge. Organisé tous les trois ans, le congrès se déroule à tour de rôle entre l'Amérique, l'Asie et l'Europe, offrant ainsi une plate-forme internationale dynamique aux leaders et aux experts de l'industrie.



Crédit photo : Kirsten Nijhof



Crédit photo : Kirsten Nijhof

La 24^e édition s'est déroulée cette année à Francfort, et a réuni 500 participants, issus principalement d'Allemagne, de Chine, d'Italie, d'Inde et de Turquie.

Avec pour thème principal « FORGER UN AVENIR DURABLE », le programme de conférences était divisé en trois grandes catégories: économique, scientifique et développement durable.

Avec des présentations d'experts de l'industrie de la forge, et une exposition de produits et technologies à laquelle ont participé une cinquantaine d'exposants, fournisseurs métiers.

L'ensemble des régions du monde (Chine, Inde, Japon, Amérique du Nord, Brésil, et Europe) ont présenté leur rapport annuel, focus ci-dessous sur celui d'EUROFORGE présenté par Tobias Hain, secrétaire Général de l'association Européenne.

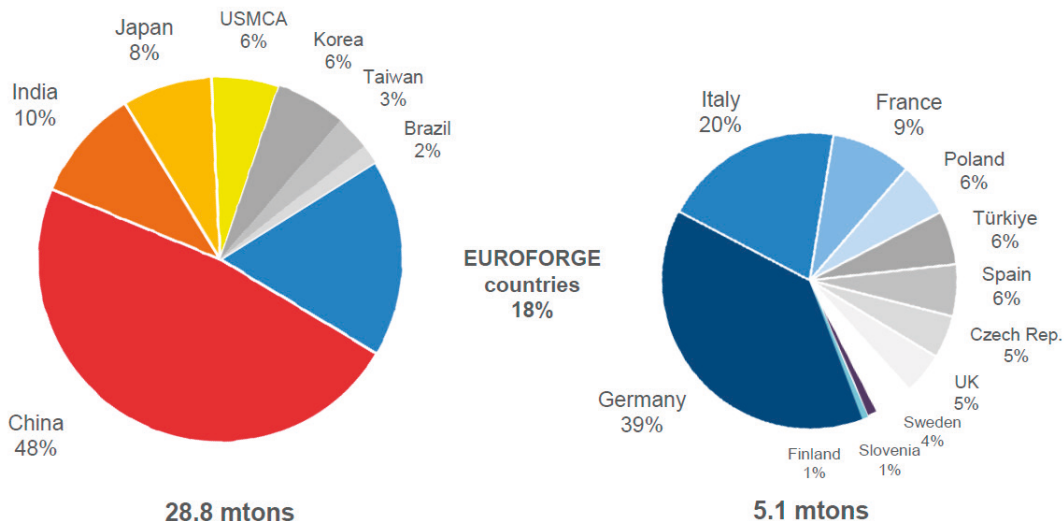
Développement économique mondial et européen

- Croissance du PIB mondial projetée à 2,8 % en 2024 et 1,8 % en 2025 pour les États-Unis, tandis que la zone euro devrait croître de 0,9 % en 2024 et 0,8 % en 2025.
- L'inflation dans l'UE devrait diminuer progressivement, passant de 6,4 % en 2023 à 1,7 % en 2026.
- Le taux de chômage dans l'UE est en baisse, avec une prévision de 5,9 % en 2025.
- La production de voitures particulières et de camions légers en Europe devrait passer de 12 495 000 unités en 2023 à 11 547 000 en 2025.

Commerce et volumes mondiaux de forge

- Les principaux partenaires d'exportation de l'UE en 2024 sont les États-Unis (41,6 %), le Royaume-Uni (23,4 %) et la Chine (16,6 %).
- Les principaux partenaires d'importation de l'UE en 2024 sont la Chine (40,2 %), les États-Unis (26,1 %) et le Royaume-Uni (12,7 %).
- La Chine domine les volumes mondiaux de forge avec 39 %, suivie par les pays EUROFORGE (18 %).

EUROFORGE statistics – World Forging Volumes 2024



Source: International ForgeNet, EUROFORGE 2025

Tendances et défis de l'industrie européenne de la forge

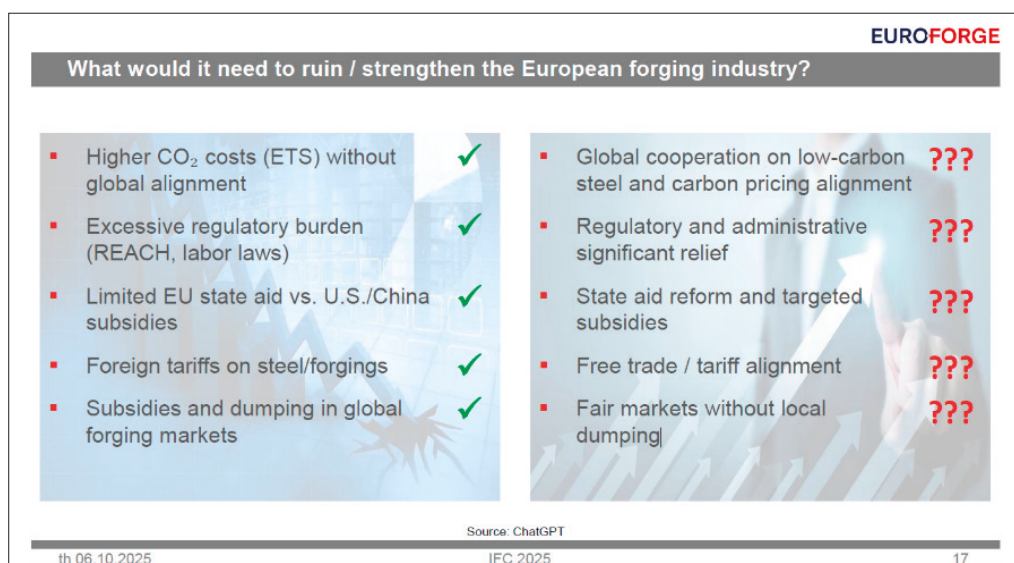
- Une baisse de 4 % de la production est prévue en Europe en 2025, en raison de marchés historiquement faibles (automobile, machines), des coûts énergétiques élevés, des coûts supplémentaires liés à l'acier vert, des coûts de main-d'œuvre croissants et des charges réglementaires.
- Les défis incluent les coûts élevés du CO₂, les subventions limitées de l'UE par rapport aux États-Unis et à la Chine, ainsi que les tarifs étrangers sur l'acier et les forges.
- Les opportunités pour renforcer l'industrie incluent une coopération mondiale sur l'acier à faible émission de carbone, des réformes des aides d'État et des marchés équitables sans dumping local.

Perspectives

- L'industrie européenne de la forge fait face à des défis importants (Coûts CO₂ plus importants et non alignés avec d'autres régions du monde, aides des états Européens limitées vs Chine/US, tarifs aciers importés, Subventions et dumping sur les marchés mondiaux de la forge, ...)

Mais des mesures telles que la coopération internationale, des réformes réglementaires et des subventions ciblées sont nécessaires pour renforcer sa compétitivité

Olivier VASSEUR
Responsable territoires
Fédération Forge Fonderie



JANVIER 26

09

Réservé aux adhérents

NOUVEAU ÉVÈNEMENT MENSUEL

La matinale dédiée aux pratiques environnementales industrielles – échanges entre pairs

Thème de janvier : les économies d'énergie (CEE, récupération de chaleur, comptage ...)

Un format court pour ce nouveau rendez-vous mensuel dédié aux pratiques opérationnelles des sites industriels face à un enjeu environnemental.

A partir du témoignage d'un industriel, les entreprises échangent librement durant une heure, des solutions et des bonnes pratiques. Un temps d'échanges dédié aux adhérents, organisé chaque premier vendredi du mois de 8h à 9h. Pour recevoir les invitations contactez c.mougeot@forgefonderie.org

13 au 15

EUROGUSS

Salon de l'industrie du moulage sous pression

Nuremberg, Allemagne
<https://www.euroguss.de/en>

Depuis sa création, EUROGUSS constitue un point de rencontre pour l'industrie de la fonderie sous pression, réunissant experts, fabricants, fournisseurs et décideurs afin de présenter les nouveautés et technologies récentes.

FÉVRIER 26

06

Réservé aux adhérents

NOUVEAU ÉVÈNEMENT MENSUEL

La matinale dédiée aux pratiques environnementales industrielles – échanges entre pairs

Thème de février : les traitements de surface in situ, le recyclage d'EPI, les emballages de transport, les poussières métalliques.

Un format court pour ce nouveau rendez-vous mensuel dédié aux pratiques opérationnelles des sites industriels face à un enjeu environnemental.

A partir du témoignage d'un industriel, les entreprises échangent librement durant une heure, des solutions et des bonnes pratiques. Un temps d'échanges dédié aux adhérents, organisé chaque premier vendredi du mois de 8h à 9h. Pour recevoir les invitations contactez c.mougeot@forgefonderie.org

MARS 26

03 au 04

H2 FORUM

Berlin

<https://www.h2-forum.eu>

Le H2 Forum Berlin est dédié au développement de l'écosystème hydrogène, réunissant industriels, décideurs et innovateurs européens. Il vise à accélérer la mise en œuvre de solutions concrètes et à favoriser les partenariats stratégiques pour une transition énergétique durable.

10 au 12

JEC WORLD 2026

Paris-Nord Villepinte

<https://www.jec-world.events/fr>

La mission de JEC World est de promouvoir les matériaux composites à l'échelle mondiale en reliant l'innovation, le business et les applications dans tous les grands secteurs industriels.

25 au 26

METAL AMS 2026

Cetim Senlis

<https://www.cetim-engineering.com/metal-ams-2026>

La prochaine édition du congrès Metal AMS, premier événement scientifique français entièrement dédié aux technologies de fabrication additive métallique se déroule les 25 et 26 mars 2026 à Senlis. Organisé par Metal AMS (Additive Manufacturing Synergy) en collaboration avec des acteurs majeurs de la R&D du monde entier, il couvre toutes les étapes de la chaîne de valeur de la fabrication additive métallique.

30 au 02

Global Industrie Paris 2026

Parc des expositions, Paris

www.global-industrie.com

Global Industrie est l'un des tout premiers salons mondiaux consacrés à l'industrie. Son positionnement résolument moderne est orienté à la fois vers l'industrie du futur et vers l'international. Comme chaque année, la fédération met en place un village forge fonderie.

Venez nous voir au village Forge Fonderie Hall 6; Stand n°6D35

FFF PARTENAIRE

JUIN 26

13 au 15

CASTFORGE

Stuttgart (Allemagne)

<https://www.messe-stuttgart.de/castforge/en/>

Salon professionnel des pièces moulées et forgées avec transformation. La fédération organise un village forge et fonderie.

FFF PARTENAIRE

FORMATIONS

Cetim Academy Catalogue 2026

Fondeurs et Forgerons



Pour aider les entreprises à trouver le parcours pédagogique adapté au profil de leurs salariés, le Cetim sera à votre écoute et vous orientera dans les solutions de formations possibles.

- Demandes de formation Intra ou toutes autres demandes d'informations : Mouloud CHERCHOUR – Responsable Commercial Formation mouloud.cherchour@cetim.fr, Tél. 06 86 45 97 98
- Demandes relatives aux CQPM : Pascal Germain – Chargé d'Affaires en ingénierie formation pascal.germain@cetim.fr, Tél. 06 83 01 99 15
- Demandes de formations Inter : Sylvia PAGE – Responsable ADV et inscription aux formations dites « catalogue » sylvia.page@cetim.fr, Tél. 03 44 67 35 66

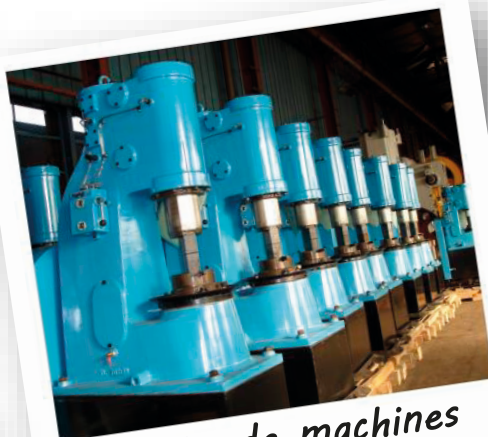
Email : formation@cetim.fr
Site : <https://www.cetim.fr/formation/>
Cetim-Academy



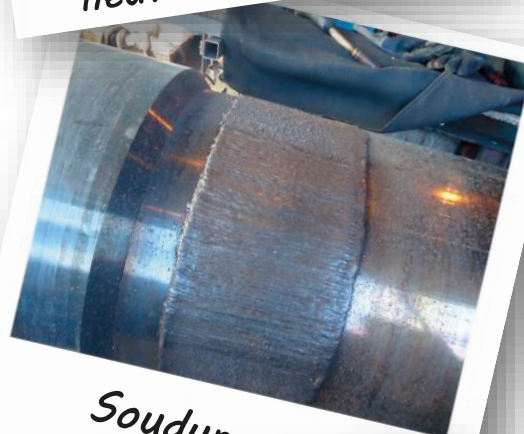
ACTEMIUM
MAINTENANCE PRESSES
CLERMONT-FERRAND



*Maintenance corrective et
préventive*



*Vente de machines
neuves et occasions*



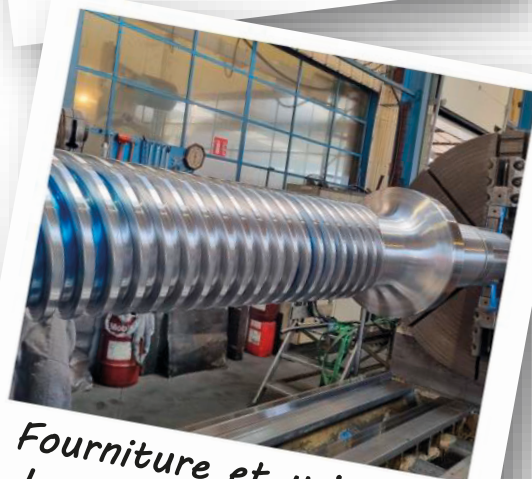
Soudure



*Reconstruction et mise
en conformité*



Usinage sur site



*Fourniture et usinage
de pièces de rechange*



**Actemium Maintenance
Presses Clermont Ferrand**
Société AREF
Route de Courpière- 63920
Peschadoires- France
Tel: + 33 (0) 4 73 80 17 68 –
Fax: + 33 (0) 4 73 80 52 14
E-mail: ampcf@actemium.com
Site: www.aref.fr

A.R.E.F.



Objectif économies d'énergie et décarbonation ?

Solution : les formations
PROREFEI pour les Référents
énergie de l'industrie,
subventionnées jusqu'à 70 %.

PROREFEI

Les formations des référents
énergie dans l'industrie

Infos et inscriptions sur
www.prorefei.org