

Technologie du sable, nous avons des tonnes d'expérience

Découvrez comment nos années d'expertise peuvent transformer vos opérations de fonderie grâce à nos solutions sur mesure en matière de refroidissement, de mélange, de test et de technologie de récupération du sable.

Contactez-nous dès aujourd'hui!
sales.de@simpsongroup.com



simpsongroup.com

SIMPSON
A Norican Technology

N°
47

SEPTEMBRE
2024

NEWS

FONDERIE

TECH

*Numéro
Spécial
Non-ferreux*

ASSOCIATION
CARROUSEL DES PARTENAIRES, LE 24 OCTOBRE

PAGE 13

NEWS
ESI GROUP

PRISE EN COMPTE DU PROCÉDÉ DE FONDERIE
DANS LES SIMULATIONS DE CRASH AUTOMOBILE

PAGE 18

TECHNIQUE
5 ARTICLES DÉDIÉS ALUMINIUM

PAGES 26, 30, 32, 39 et 48

UNE PUBLICATION DE



ASSOCIATION
TECHNIQUE DE FONDERIE

DÉCOUVREZ NOS CELLULES ROBOTISÉES DE FINITION !



Siif MOV

Déplacez facilement votre cellule

Cette gamme est compacte et facilement transportable par chariot élévateur. Avec système de vision 3D et convoyeur d'entrée. Mise en production possible en moins de 4h.



Siif ECO

Modernisez vos outils de travail

Cette gamme vous offre de la flexibilité, de l'efficacité et de la puissance dans une approche standardisée.



Siif EVO

Créez votre cellule évolutive

Cette gamme bénéficie des dernières innovations, grâce à plusieurs options : système de vision, ponceuse à bande, outils de finition, IHM évolutif, ...



Siif FLEX

Gagnez avant tout en flexibilité

Cette gamme densifie votre production, en traitant de nombreuses pièces diverses. Via un système de vision industrielle, des convoyeurs d'entrée et de sortie sans support pièce, ...



Siif HEAVY

Traitez vos pièces lourdes et complexes

Cette gamme peut traiter vos pièces lourdes et complexes, grâce à des cellules robotisées adaptées : doubles portes battantes, accès pont roulant, ...



Encore plus près d'une industrie de la fonderie d'aluminium européenne environnementalement vertueuse ?

*L'aluminium et ses alliages sont nos partenaires toujours et encore plus incontournable de la baisse de nos émissions globales de gaz à effet de serre. Ils le sont directement par leur impact fort dans l'allègement des masses des véhicules terrestres et donc dans la réduction des émissions générées par les transports routiers et ferroviaires (la part de celles-ci est globalement de 30% dans le total mondial des émissions de GES^{*1}). Ils le sont aussi indirectement par des pratiques de production du métal de base et de ses alliages de plus en plus vertueuses. Mais ils le sont aussi par des procédés de mise en forme de plus en plus sobres, permettant la réalisation de pièces toujours plus performantes, aussi bien en ce qui concerne leurs caractéristiques mécaniques que leur précisions dimensionnelles.*

La fonderie d'aluminium, tous procédés confondus, contribue pour une large part grâce à sa capacité à intégrer en un seul moulage tout un ensemble de fonctions qui étaient jusqu'alors disjointes et réparties sur plusieurs pièces qui nécessitaient de nombreux assemblages, rendant ainsi le processus global de production encore plus frugal et encore plus sobre en GES^{*1}, les giga casting^{*2} en sont une illustration maintenant généralisée sur tous les continents.

On parle de manière récurrente, de la part d'alliage d'aluminium toujours croissante dans le mixte des matériaux qui constituent un train, un poids lourd ou un véhicule particulier. Une étude publiée par *Ducker Worldwide* en coopération avec *European Aluminium* montre que le taux d'aluminium dans les voitures produites en Europe a presque triplé entre 1990 et 2013, passant de 50 kg à 145 kg. En ce qui concerne la fonderie (tous procédés confondus) le niveau a atteint 123 kg en 2022, et atteindra 145 kg à l'horizon 2030, si les voitures de petite et moyenne taille suivent cette évolution constatée sur les plus gros modèles.

Il est en revanche beaucoup moins fréquent d'évoquer la **courbe vertueuse de la diminution du CO₂** contenu dans les alliages de moulage, que ce soit les alliages primaires ou ceux de recyclage. Il est à noter que celle-ci est particulièrement impressionnante : **-43% entre 1990 et 2010 et -21% de 2010 à 2015** pour arriver au global à 6,7kg de CO₂ par Kg d'aluminium primaire sous forme de lingots toutes sources confondues en Europe^{*3}. Ces chiffres qu'il faut comparer aux 20 kg de CO₂ toutes sources confondues en Chine à ce jour^{*3}.

En ce qui concerne les alliages de recyclage de seconde fusion, des chiffres encore plus flatteurs sont annoncés, de l'ordre de 0,5 à 2kg de CO₂ par Kg d'alliage^{*4}

Jusqu'à présent les fonderies d'alliages d'aluminium avaient recouru très majoritairement au gaz comme combustible pour leur fusion et dans une moindre mesure pour le maintien en température de l'alliage avant utilisation. Jusqu'à présent pour diminuer l'empreinte carbone d'une fonderie d'aluminium l'hypothèse la plus courante était le recouru à des moyens de fusion électrique tous types confondus.

Il existe maintenant des alternatives de fusion à l'hydrogène (*vert bien sûr !*) qui sont en cours d'industrialisation^{*5}, des installations à l'échelle préindustrielle ont délivré depuis peu leurs premiers lots de semi produits qui ont été utilisés pour de l'extrusion et pour du laminage ; c'est clair que les lingots pour l'utilisation en fonderie ne vont plus tarder maintenant.

Ca y est nous y sommes presque, tout est prêt, le marché, la matière, les procédés tous plus décarbonés que jamais, l'industrie européenne de la fonderie d'alliages d'aluminium sera très bientôt environnementalement une des plus vertueuse !

^{*1} GES : gaz à effet de serre, (source *European Aluminium Environmental Profile Report*)

^{*2} Giga casting : pièces en alliage d'aluminium moulées en fonderie sous haute pression sous vide sur des presses de 6000 t et plus de force de fermeture

^{*3} Ducker World wild annual report .

^{*4} Données étude Régis Alain Consultant.

^{*5} Données Fives et Hydro, usine de Navarre (Esp).

Une étude publiée par *Ducker Worldwide* en coopération avec *European Aluminium* montre que le taux d'aluminium dans les voitures produites en Europe a presque triplé entre 1990 et 2013, passant de 50 kg à 145 kg.



André LE NEZET
ATF



SimLink[®]

Notre solution logicielle révolutionnaire au service des fonderies

**SimLink[®] vous permet en un clic,
d'importer la gamme de Manchons,
GTP dans votre MAGMASOFT[®]**

Vous souhaitez découvrir en direct les avantages
que vous procure notre SimLink[®] ?

Découvrez-en plus sur SimLink[®] sur notre site web:

www.gtp-schaefer.com/simlink

Votre contact :

Didier Legrand

+33 (0) 6 07 66 47 63

didier.legrand@gtp-schaefer.de

www.astea-consulting.fr



www.gtp-schaefer.com



SCHAEFER
THE RISER COMPANY

sommaire.

03 / EDITO

Encore plus près d'une industrie de la fonderie d'aluminium européenne environnementalement vertueuse ?

Article de André LE NEZET-ATF

06 / AGENDA

ASSOCIATION

08 /

Journée d'actions régionales Nord île-de-france

Article de l'équipe du bureau ATF et AAESFF Nord et Île-de-France

Patrick VERDOT

13 /

Carrousel des partenaires

PROFESSION

15 /

European Foundry Industry Sentiment, July 2024: - FISI Experiences Slight Uptick

Article de CAEF

NEWS

16 /

Les Tendances de la Robotisation dans l'Industrie 4.0 en 2024

18 /

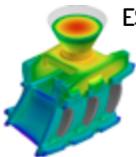
ESI Group - Prise en compte du procédé de fonderie dans les simulations de crash automobile

Article de ESI Group

20 /

Roanne Fonderie : une pme exemplaire dans son projet de modernisation

Article de Patrice MOREAU - ATF - Rédaction et relais de cet Interview réalisé par Maxime et Flavienne DEBONO, ROANNE FONDERIE



SALON EUROGUSS 2024

26 /

EUROGUSS a le vent en poupe : une scène pour l'industrie internationale du moulage sous pression

Article de Guillaume ALLART - Président de l'ATF

TECHNIQUE

26 /

L'analyse thermique avancée pour les fonderies d'aluminium - L'affinage

Article de Yohan TREMBLAY et François AUDET, Solutions Fonderie Services Métallurgique Inc.

30 / PUBLI-REPORTAGE

SINTO - Designing high-quality cast aluminium series sustainably

Article de Stefan ERMERT, Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik GmbH

32/ PUBLI-REPORTAGE

FOSECO - Améliorer les performances des creusets dans les applications non ferreuses

Article de Danièle UNG - FOSECO

39 /

Interdiffusion réactive rapide entre le laiton solide et l'aluminium liquide

Article de Vanessa GLÜCK, NARDI, Thomas GRESS, Babette TONN, Harald SCHMIDT, Wolfram VOLK

48 /

L'Aluminium en fonderie

Article de Gilbert RANCOULE - ATF

FORMATION

 **Cyclatef**
FORMATION FONDERIE

36 /

L'agenda des formations

51 / HISTOIRE & PATRIMOINE

L'aluminium (première partie)

Article de Yves LICCIA - ATF

58 / EMPLOIS

59 / ANNONCEURS

60 / ADHÉRER EN 2024

61 / PARTENAIRES

agenda.

OCTOBRE 2024

>>> **6 au 9 à Austin (USA) : TITANIUM USA 2024** - Conférence et exposition consacrées à l'industrie mondiale du titane
https://titanium.org/events/event_list.asp

>>> **8 au 10 à Le Mans (France) :**
FONTES À GRAPHITE SPHÉROÏDAL
<https://atf.asso.fr/formation/inscription?id=LVsQNTWJEZlgJMqYKhqe>

Cyclatof
FORMATION FONDERIE

>>> **8 au 10 à Magny-Cours (France) :**
ELABORATION MÉTALLURGIQUE ET TRAITEMENTS THERMIQUES DES ALLIAGES D'ALUMINIUM MOULÉS
<https://atf.asso.fr/formation/inscription?id=Bt06rd880SzGjUh7Zq6y>

Cyclatof
FORMATION FONDERIE

>>> **8 au 10 à Düsseldorf (Allemagne) :**
ALUMINIUM 2024 - Salon professionnel mondial de l'industrie de l'aluminium + conférence
<https://www.aluminium-exhibition.com/>

>>> **8 au 16 à Riyadh (Arabie Saoudite) :**
FABEX AND METAL & STEEL - Exposition pour l'acier, la fabrication de l'acier, formage et finition des métaux.
<https://www.fabxsaudi.com/?ref=cantonfair.net>

>>> **13 au 10 à Brno (République Tchèque) :**
FOND-EX 2024 - Salon international de la fonderie.
<https://www.bvv.cz/en/fond-ex>

>>> **15 au 17 à Châteauroux (France) :**
OUTILLAGES MÉTALLIQUES GRAVITÉ, BASSE PRESSION, CONTRE PRESSION POUR ALLIAGES D'ALUMINIUM : CONCEPTION, REMPLISSAGE, ALIMENTATION, THERMIQUE, POTEYAGES
<https://atf.asso.fr/formation/inscription?id=lnbhcOlwRoYDTTfW0zCX>

Cyclatof
FORMATION FONDERIE

>>> **16 au 18 à Mexico (Mexique) :**
FUNDIEXPO 2024
<https://fundexpo.mx/>

>>> **22 au 23 à Milan (Italie) :**
EUROFORGE - CONFAIR 2024
<https://www.euroforge-confair.com/>

NOVEMBRE 2024

>>> **5 au 7 à Saint-Quentin (France) :**
RÉALISER UN AUDIT EN FONDERIE
<https://atf.asso.fr/formation/inscription?id=bDBgmo8PobioCfpNlnCe>

Cyclatof
FORMATION FONDERIE

>>> **5 au 7 à Lille (France) :**
MÉTALLURGIE ET MÉTALLOGRAPHIE DES ALLIAGES D'ALUMINIUM MOULÉS
<https://atf.asso.fr/formation/inscription?id=t3i2t5Kkom4UQDJ3K7fw>

Cyclatof
FORMATION FONDERIE

>>> **19 au 21 à Amiens (France) :**
FONDERIE SOUS PRESSION
<https://atf.asso.fr/formation>

Cyclatof
FORMATION FONDERIE

>>> **19 au 21 à Grenoble (France) : SEPÉM CENTRE-EST 2024**
Salon industriel des services, équipements, process et maintenance
<https://grenoble.sepem-industries.com/fr>

>>> **20 au 23 à Bangkok (Thaïlande) : METALEX 2024**
Salon international et conférence des machines-outils et de l'industrie du métal
<https://www.metalex.co.th/>

>>> **20 au 21 à Madrid (Espagne) : METALMADRID 2024**
Salon leader de l'innovation industrielle: machines, composants, sous-traitance, fournitures, ingénierie, matériaux, robotique, traitement de surface, composites, fabrication additive...
<https://www.advancedmanufacturingmadrid.com/es/metalmadrid/metal-madrid/>

>>> **26 au 28 à Toulouse (France) :**
MOULAGE DE PRÉCISION À LA CIRE PERDUE
<https://atf.asso.fr/formation/inscription?id=ZHqae07sWh4qARXccMGN>

Cyclatof
FORMATION FONDERIE

DÉCEMBRE 2024

>>> **5 au 7 à New Delhi (Inde) : ALUCAST 2024**
La plus grande plate-forme indienne pour l'industrie des pièces moulées en aluminium
<https://www.alucastexpo.com/>

>>> **du 10 au 12 à Bordeaux (France) :**
FONDERIE D'ART ET D'ORNEMENT
<https://atf.asso.fr/formation/inscription?id=JGXXWruUDbsRJH41NUy0>

Cyclatof
FORMATION FONDERIE

>>> **du 17 au 19 à Brive-La-Gaillarde (France) :**
DÉFAUTS EN FONDERIE D'ALLIAGES D'ALUMINIUM COULÉS PAR GRAVITÉ (SABLE ET COQUILLE) : DIAGNOSTICS ET SOLUTIONS BASSE PRESSION ET CONTRE PRESSION
<https://atf.asso.fr/formation/inscription?id=c8HA6KgfVzF3BPf2Gus8>

Cyclatof
FORMATION FONDERIE

JANVIER 2025

>>> **28 au 30 à Douai (France) : SEPÉM NORD 2025**
Salon industriel des services, équipements, process et maintenance
<https://douai.sepem-industries.com/fr>

FÉVRIER 2025

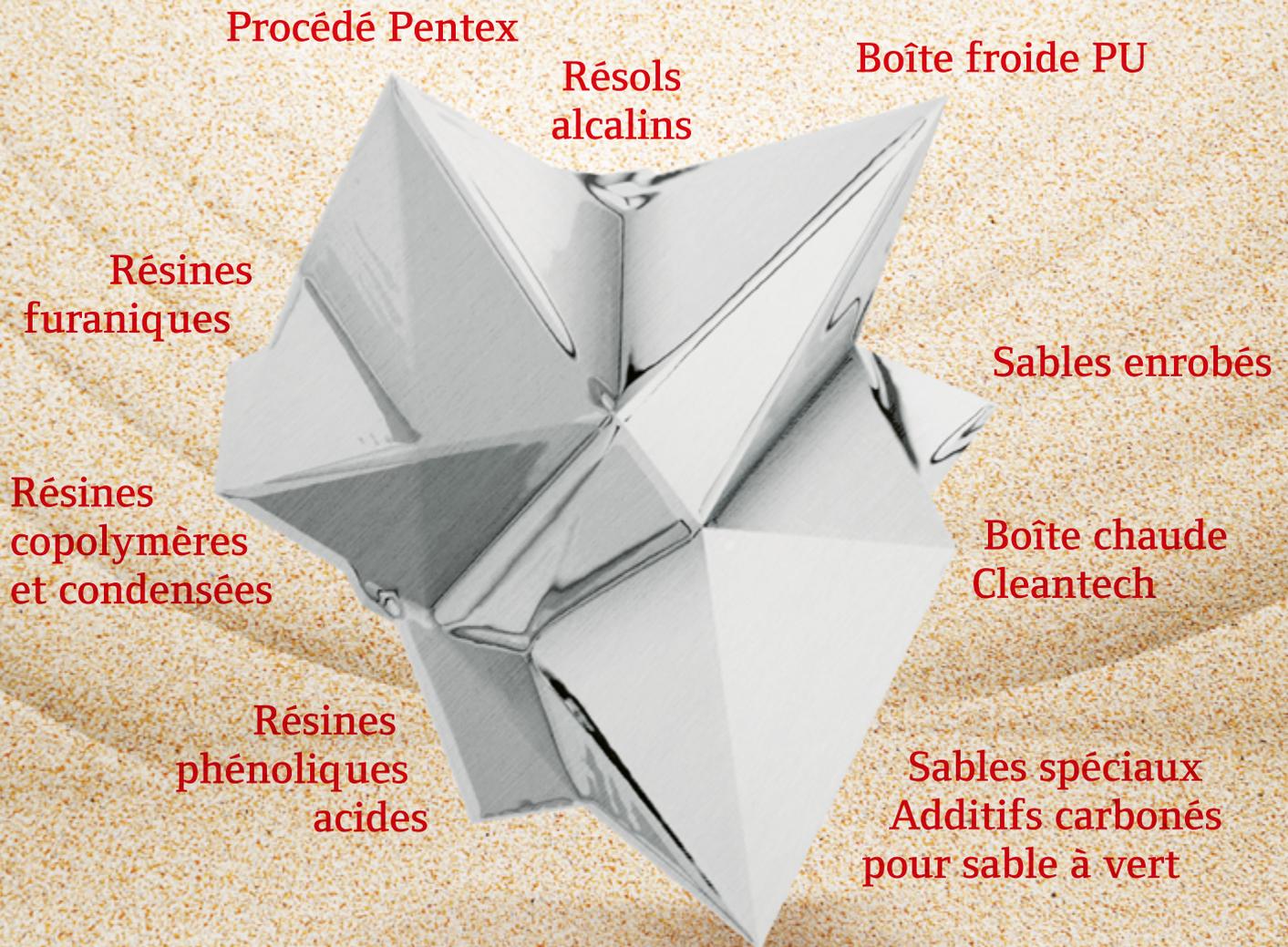
>>> **4 au 6 à Laxou (France) : FOUR À INDUCTION**
<https://atf.asso.fr/formation/>

Cyclatof
FORMATION FONDERIE

>>> **7 au 9 à Calcutta (Inde) : IFEX 2025**
Salon international des technologies, équipements, fournitures et services pour la fonderie
<https://www.ifexindia.com/>

MARS 2025

>>> **5 au 7 à Bologne (Italie) : METEF 2025**
Salon des technologies à façon pour l'industrie de l'aluminium et des métaux innovants
<https://www.metef.com/en/>



HÜTTENES ALBERTUS France
Des produits 100 % made in France
au service de toutes les fonderies

ha-group.com/fr

Les membres du bureau ATF et AAESFF Nord et Île-de-France remercient tous ceux qui ont contribué à la réussite de la dernière Journée d'Actions Régionales qui a eu lieu le 05 juillet, au sein de la société Proferro à Ypres en Belgique. Dans cet article, il est bien sûr question de fonderie, mais vous en apprendrez également sur le tissage avec le fil de chaîne et le fil de trame !

Encore un grand merci à Madame Cathy DEFOOR, Monsieur Medhi LEFEVRE, Monsieur Lucas DAMMAN, ainsi qu'à tous les membres des équipes de Proferro pour l'excellent accueil à l'occasion de cette journée.

PROFERRO
Engineered Casting Solutions

2. JML - Régénération des sables à vert par Stéphane SAUVAGE
3. BREFOND - Développement des résines & recyclage du sable. Actions parallèles et optimisations par Joël MAUREZ

La journée s'est achevée par un rendez-vous sur la place de Ypres avec le pot de l'amitié pour ceux qui souhaitaient prolonger cette belle et amicale journée.



Le groupe des participants.

➤ RÉSUMÉ DE LA JOURNÉE

Comme prévu, cette journée en fonderie a permis de favoriser de nombreux échanges techniques et d'aborder les questions de la régénération des sables et en particulier du sable à vert.

Elle a réuni une vingtaine de personnes accueillies royalement par la société Proferro autour de boissons, café et mignardises.

Avant la visite du site, nous avons été accueillis par Madame Cathy DEFOOR et ses mots de bienvenue, puis Monsieur Medhi LEFEVRE nous a présenté Proferro au sein du groupe PICANOL, unité commerciale du groupe Tessengerlo. Encore merci à tous !

Le groupe Tessengerlo est présent dans 25 pays et emploie 7500 personnes pour un chiffre d'affaires de 3 milliards de dollars dans 4 branches distinctes. PICANOL Machines et Technologies est la

branche concernée pour Proferro, et elle représente 2000 personnes.

Nous avons alors entamé la visite passionnante et impressionnante du « musée du métier à tisser Picanol », suivie de la visite de la fonderie exemplaire dans bien des domaines. Dans le nouveau bâtiment tout neuf du site, chacun a pu apprécier le déjeuner et les boissons offerts par Proferro. Merci encore pour cet accueil parfait qui a aussi permis une bonne maîtrise du temps et le début des conférences à l'heure !

3 conférences qui ont bénéficié d'une très bonne écoute auprès de notre auditoire.

Régénération des sables : ce thème de conférences est bien sûr très actuel dans un cadre d'économie des ressources et de réduction des déchets ultimes.

1. RESAND - L'économie circulaire & la régénération du sable par Philippe DIAZ

➤ LA JOURNÉE EN DÉTAIL

Tout d'abord une présentation plus précise de notre fonderie hôte Proferro :

Proferro a plus de quatre-vingts ans d'expérience dans la co-ingénierie, le moulage, l'usinage, l'assemblage et les essais de composants mécaniques. Dans le cadre d'un partenariat à long terme, Proferro propose des solutions de moulage technique (engineered casting solutions) pour des séries moyennes de 500 à 20 000 pièces. La société fournit des fabricants d'équipements d'origine dans le monde entier et pour divers segments du marché, tels que les machines agricoles, les engins de terrassement, les compresseurs, les métiers à tisser et le génie mécanique en général. Le siège social de Proferro se situe à Ypres (Belgique) et emploie plus de 600 personnes.

Proferro fait partie de Picanol Group, unité commerciale de Tessengerlo Group (Euronext : TESB). Tessengerlo Group est un groupe industriel actif dans les secteurs de l'agriculture, de la valorisation des bio-résidus, des machines, du génie mécanique, de l'électronique, de l'énergie et de la fourniture de solutions industrielles axées sur l'eau. La stratégie du groupe est centrée sur la devise "Every Molecule Counts" : Tessengerlo Group s'efforce en permanence de maximiser la valeur de ses produits et processus et d'ajouter de la valeur à tout ce qu'il fait. Pour plus d'informations sur Tessengerlo Group, rendez-vous sur www.tessengerlo.com.

Les valeurs de Proferro :

« Notre stratégie repose sur trois piliers : le moulage, l'usinage et l'assemblage. Nous fournissons des solutions de moulage sur-mesure pour les moyennes séries de haute qualité. Cette stratégie est personnalisée par le biais de la vente, de la co-ingénierie et d'autres services, tels que l'approvision-



nement en ligne, le contrôle de la qualité, la logistique et le sourcing. Proferro veut offrir à ses clients une valeur ajoutée maximale et contribuer à leur succès. Avec plus de 100 machines CNC (à commande numérique), nous proposons également l'usinage et l'assemblage de pièces en fonte, garantissant ainsi une solution complète à nos clients. En combinant le moulage, la finition mécanique, l'assemblage et la co-conception, nous sommes en mesure de répondre avec succès à la demande croissante de pièces plus grandes et techniquement plus exigeantes ».

Proferro prend soin de l'environnement, de la santé et de la sécurité de ses employés

« La protection de l'environnement est un élément essentiel de la politique de notre entreprise »
 « Proferro accorde également une grande importance à la santé et à la sécurité de ses employés, ce qui inclut des aspects tels que l'ergonomie, la prévention des accidents et la protection sur le lieu de travail »

LA FONDERIE PROFERRO, QUELQUES CHIFFRES

- 570 personnes
- 120 Mi€ de chiffre d'affaires
- 35000 T pièces finies par an pour 50000 T coulées
- 60% de fonte lamellaire / 40% de fonte nodulaire.

➤ NOTRE VISITE DU SITE

La visite des lieux a commencé par la visite emblématique du « musée du métier à tisser Picanol ».

Il faut savoir que la fonderie était auparavant essentiellement dédiée à la production de bâtis pour métiers à tisser. A présent, de nombreuses autres pièces de fonderie sont produites ici, par exemple pour l'éolien, l'agriculture, la mécanique, le ferroviaire, etc. Ce musée est particulièrement intéressant puisqu'il montre l'évolution des machines à tisser, des plus anciennes jusqu'aux dernières-nées, extrêmement modernes, toutes en fonctionnement à la demande pour une démonstration en direct !

Citons par exemple l'ancien modèle « PRESIDENT » datant de 1951 qui marqua le début du succès de Picanol. Cette machine fonctionne déjà à une cadence de 300 insertions par minute !

D'ailleurs, il est temps d'expliquer sommairement le principe de fonctionnement d'une machine à tisser :
 Les fils de chaînes sont tendus sur le métier à tisser dans le sens de la longueur, pour créer l'armature de base (le squelette parallèle à la lisière).
 Le fil de trame va quant à lui cheminer au-dessus ou en dessous des fils de chaînes, en procédant à des allers-retours, grâce à une navette (perpendiculaire à la lisière).
 Enfin le peigne vient battre le fil de trame après chaque passage, afin de bien aligner et serrer le tissu.

Aujourd'hui, les machines modernes présentent différentes améliorations techniques et affichent des vitesses de tissage bien supérieures, avec également de nombreux détecteurs en tous genres et une numérisation des données permettant des performances accrues des ateliers. Par exemple, la machine « ULTIMAX » très adaptée au tissage du tissu de Jeans (une des spécialités de PICANOL) ne possède pas de navette mais des pinces droites et gauches, ce qui autorise de grandes vitesses de tissage à plus de 800 insertions par minute. Les machines à air comprimé sont encore plus rapides et atteignent 1200 insertions par minute, ce qui correspond à une vitesse linéaire de 360 km/h ! D'autres machines de tissage JACQUARD permettent ces fameux designs compliqués alliant par exemple de nombreuses couleurs ou des fils de diamètres très différents ! La vitesse de tissage s'adapte bien sûr en fonction de la complexité. Enfin, d'autres machines à air sont spécialisées pour le tissage de tissus éponge.

Pour information, PICANOL exporte 90% de ses machines à tisser et associe à ses ventes un service ciblé pour ses clients. Ce musée est vraiment impressionnant à voir et représente une véritable vitrine du savoir-faire PICANOL.

La visite de la fonderie a logiquement suivi et a également montré une grande compétence des équipes en place

Nous passons par différents secteurs chronologiquement :

- **Le secteur des assemblages** avec des robots AGV (Automatic Guided Vehicle) largement utilisés
- **L'atelier d'usinage** où de nombreuses nouvelles machines sont en place incluant des contrôles dimensionnels, des palettisations automatiques IN OUT dans un grand magasin automatisé.
- **L'ébarbage** incluant du meulage automatisé et manuel.
- **L'atelier de peinture** avec les couleurs PICANOL
- **L'atelier de modelage** qui permet de faire des modifications d'outillages pour mise au point. Les plaques modèle neuves sous fabriquées en sous-traitance.
- **Les outils de simulations et de contrôles qualité** utilisés systématiquement pour toutes les nouvelles pièces. Simulations des retassures et du dimensionnel, contrôles US et micro, essais de traction, etc.
- **Le sablage et le grenailage** des pièces en tonneau avec plusieurs tours selon le besoin.
- **La grande machine à mouler HWS** utilisant le procédé Seiatsu + Multi pistons. Cette machine produit à une vitesse de 60 châssis par heure. A noter que chaque plaque modèle possède ses informations numériques qui sont liées à des opérations et réglages spécifiques. Différents robots ont des rôles majeurs par exemple pour fraiser l'entonnoir de coulée et pour la mise en place des filtres et des noyaux. Un des robots



surnommé *Obélix* permet de remmouler des noyaux jusqu'à 500 kg !

- **Les machines à noyauter** dont 8 sont en boîte froide + couche à l'eau et 1 en boîte chaude + couche à l'alcool. Une spécificité concerne le séchage des couches à l'eau avec d'une part un four de séchage, mais aussi de l'air chaud récupéré avec un échangeur au cubilot.
- **Le cubilot** vent chaud fournissant 15T/H est équipé d'une supervision très pointue. Il est associé à deux fours de maintien de 40T.
- La zone de chargement du cubilot avec bien sûr les parcs matières coke, calcine, etc.

A noter que le bio coke est une alternative en cours d'étude.

- **Les poches de coulée** avec l'option de traitement GS au fil fourré.
- **Le décochage** où 2 manipulateurs Andromat sont à l'ouvrage.
- Enfin, **la sablerie** qui constitue une partie essentielle pour la maîtrise de la qualité du sable de moulage et des pièces.
- Quelques données sur cette sablerie :
 - 1000 T de volant de sable tournant 2 à 3 fois par jour.
 - 2 malaxeurs équipés chacun d'un système RTC (rotocontrol) permettant de tester l'aptitude au serrage en ligne.

- 1 troisième RTC et un aérateur sont positionnés sur la sortie commune des malaxeurs et l'objectif final d'aptitude au serrage est différent selon que l'on coule de la fonte lamellaire ou de la fonte nodulaire.
- L'AFS du sable de retour est suivi scrupuleusement et des ajustements en sable neuf permettent de limiter les variations.
- L'eau ajoutée au malaxeur est une eau souterraine qu'il faut surveiller
- L'humidité et la température du sable de retour sont pilotés au niveau du refroidisseur qui a été optimisé récemment. Ce refroidisseur à lit fluidisé possède 9 rampes d'arrosage toutes contrôlées en débit.
- Enfin, une grande attention est portée sur la gestion des données afin de viser une gestion anticipée des additifs dans le sable préparé.

Cette visite fort captivante a été suivie d'un déjeuner très convivial sur place offert par PROFERRO.

Le nouveau bâtiment flambant neuf du site permet un accueil privilégié des invités et chacun a pu apprécier ce traitement VIP.

Les conférences ont pris la suite comme prévu dans ce même lieu également équipé pour les conférences et les formations :

L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE & LA RÉGÉNÉRATION DU SABLE PAR PHILIPPE DIAZ

Le principe de l'équipement proposé est une Récupération de sable thermo mécanique, proposée en location.



Notre technologie :

Nos clients exigent un système automatisé, facile à installer, robuste et fiable, fonctionnant en continu et nécessitant peu d'implication humaine. L'utilisation de silice recyclée ne doit présenter aucun risque pour le processus de coulée. La Silice ainsi récupérée doit pouvoir être ré-utilisée directement au noyautage.

Cette technologie doit pouvoir traiter le même sable des dizaines de fois sans en changer ses caractéristiques.

Unités de productions

Deux types d'unités modulaires sont disponibles :

- 2 à 3 tonnes par heure. 100% gaz
- 1 tonne par heure. 100% électrique

Capacité Jusqu'à 3 tonnes de sables par heure

- Régénération thermo mécanique, Système Breveté à double tambours
- Étape 1 : Calcination à haute température, brassage et aspiration
- Étape 2 : Poursuite du brassage, aspiration et refroidissement

- Pas d'investissement lourd à prévoir
- Un contrat de service tout inclus
- Un contrat avec une partie fixe et une partie variable calculée sur les volumes traités.
- Pas de coût de maintenance et de pièces de rechanges
- 24/7 Assistance à distance
- Flexibilité totale pour s'adapter à vos besoins.
- Zéro Risque - Votre sable est testé au préalable
- Notre Engagement est total
- Personnalisé - Paramètres de traitements spécifiques à chaque sable, à chaque fonderie
- 100% contrôlé en ligne

Résumé présenté par Monsieur DIAZ :

Vous ne perdez plus de Silice



Vous réduisez votre impact environnemental sur une MP essentielle - #2 Défis
 Réduction drastique de vos rejets (*Vous n'avez plus qu'à gérer un déchet calciné, un déchet ultime) - #3 Défis
 Vous baissez votre empreinte carbone de près de 50% - #1 Défis
 Installations : Gaz (< 3t/h) ou électrique (< 1t/h)
 Installations : Compactes, modulaires, robustes et livrable en 6 mois

Pas de surprise au démarrage puisque votre sable a déjà été analysé, testé, contrôlé
 Pas d'investissement, pas de CAPEX
 Pas d'entretien à votre charge, un matériel opérationnel en permanence
 Contrat, de 5 ans, à prix fixe (que de l'OPEX), renouvelable ou pas.

Tel : 06 80 28 01 69 • philippe.diaz@resand.eu

RÉGÉNÉRATION DES SABLES À VERT PAR STÉPHANE SAUVAGE

Le principe de l'équipement proposé est une Récupération de sable par attrition, proposé à l'achat.



Quelques chiffres présentés par M. SAUVAGE :

350 000 tonnes de déchets sable en France (70% SàV, 30% SC)
 Haute-Marne (2019) : 70 000 Tonnes de sable usés
 Les fonderies utilisant le sable à vert recyclent déjà énormément leur sable : le sable sorti du malaxeur est composé de 90 à 97% de sable de retour.

Envoi du sable usé en incinération à 41€/t
 Envoi en décharge à 26€/t
 La France produit 1304 300 t de produits moulés dont 700 000 t produits avec du sable à vert
 1 t de produits moulés génère 350 kg de déchet sable
 Une fonderie moyenne génère 5 400 t de déchet sable
 Si envoi incinération : 5 400 t x 41€ = 221 400 €
 Si envoi décharge : 5 400 t x 26€ = 140 400 €
 Hors coûts logistique

Pourquoi régénérer le sable usé ?

Raison économique :

- Eviter un traitement des sables très coûteux.
- A savoir que le coût potentiel varie entre 30 et 120 €/tonne (décharge) contre moins de 10€/tonne sur zone de stockage interne (crassier).
- Réutiliser le sable régénéré/fines en interne et afin de réduire les achats en sable blanc et additifs (bentonite/noir minéral)

Raison environnementale :

Réduire la quantité de déchets ultimes sur les zones de stockages (décharge ou crassier) et diminuer les transports de matières premières.

Partenariat JML et EPC :

JML est spécialisé dans les équipements de sable à vert et a déjà intégré des équipements de régénération. EPC a développé la solution de régénération par attrition mécanique

L'équipement proposé est une unité d'attrition Mécanique nommée « *OSS Optimum Sand Scrubber* ».

L'attrition se fait grâce à des meules en rotation et une extraction des fines permet de classifier le sable régénéré. Certains paramètres de réglages et de contrôles permettent de contrôler le process.

1 à 4 passes sont nécessaires typiquement selon la qualité de régénération souhaitée.

Résultats process d'attrition :

- Réintroduction silice régénérée en sablerie sable à vert après 2 passes d'attrition
- Réintroduction silice régénérée en sablerie noyautage après 3 ou 4 passes d'attrition



Tel : 06 04 59 58 08 • s.sauvage@jml-industrie.com

DÉVELOPPEMENT DES RÉSINES & RECYCLAGE DU SABLE PAR JOEL MAUREZ

Actions parallèles et optimisations



Les grandes lignes de la présentation

Depuis 1990, BREFOND est au service de l'industrie et a développé un accompagnement de qualité en fourniture de consommables et de matériels industriels. Initialement orienté vers une clientèle de fondeurs d'aluminium en raison de son fondateur dans ce domaine, BREFOND a su évoluer et se diversifier pour répondre aux besoins de tous types de fonderies. Depuis plus de 25 ans, BREFOND est distributeur pour la France

des produits de la maison MAZZON, créé en 1962. Depuis 2018 elle appartient au groupe HA qui a souhaité le renforcement de notre partenariat pour le développement de MAZZON en France et qui nous a garanti une exclusivité.



MAZZON est dotée de solides ressources de laboratoire dédiées à la réception de matières premières et au contrôle des produits finis mais aussi à la R&D.

En complément et pour un service rapide, aux fondeurs français, BREFOND a créé son propre laboratoire équipé des plus récentes machines BENETLAB.

Polluer moins veut dire consommer moins, un produit de moins en moins polluant. Il faut donc choisir le bon matériel.

En essayant de mettre en application ce principe, depuis 15 ans nous collaborons aussi en exclusivité avec de fameux constructeurs de matériels et équipements permettant :

- une optimisation maximale et une grande répétabilité dans l'utilisation de ces consommables.
- un recyclage et une gestion des rejets, des plus efficaces.

FMS : préparation et régénération du sable, chantiers de moulage.

Primafond : préparation du sable, machine à tirer les noyaux, équipements de dosage.

Benetlab : matériels de contrôles de laboratoire et d'usine.

Omar Industries, Estivent: captations, aspirations, filtration, traitement des COV.

SCAN&CO: votre usine en 3D.

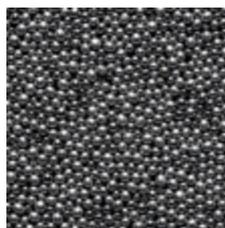
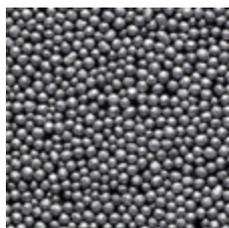
Tel : 01 43 32 59 36 • contact@brefond.com

Finalement, la séance a été levée après ces présentations de grande qualité et nous vous donnons rendez-vous à la prochaine Journée de l'Action Régionale Nord Île-de-France qui aura lieu en fin d'année 2024.

La pluie et les conditions de circulations du vendredi soir ont eu raison d'une grosse partie du groupe, mais pas de tous... Quelques-uns sont restés pour des prolongations qui consistaient à déguster une bonne bière locale sur la magnifique place de Ypres, notamment à proximité des « HALLES AUX DRAPS » surmontées par le beffroi inscrit au patrimoine mondial de l'UNESCO.

Merci encore à tous les participants et notre hôte PROFERRO.

L'équipe du bureau ATF et  AAESFF Nord et Île-de-France
Patrick VERDOT



Utilisez-vous le produit le mieux adapté, le plus performant et le plus économique pour le grenailage de vos pièces de fonderie en aluminium ?

Les grenailles en acier inoxydable Ervin garantissent les meilleurs résultats :

- AMACHROME : grenaille inox sphérique au chrome
- AMACAST : grenaille inox sphérique au chrome + nickel
- AMAGRIT : grenaille inox angulaire au chrome

ERVIN

Ervin Germany GmbH
T +49 2324 904980
stainless@ervin.eu

The World Standard for Quality

www.ervin.eu



Nous avons le plaisir de vous annoncer la prochaine tenue de notre

CARROUSEL DES PARTENAIRES

LE JEUDI 24 OCTOBRE 2024 À 09H00



Comme chaque année, cette réunion a pour objectif de réunir l'ensemble des partenaires et fournisseurs de la fonderie afin de leur présenter les actions de l'année 2024 et les prévisions sur l'année 2025.



Nous profiterons également de cette matinée pour vous présenter notre **MEDIAKIT** et les axes d'amélioration possibles de nos collaborations à partir de 2025. Il vous sera rappelé les différents formats proposés dans notre magazine **TECH News** et sur notre site internet (<https://atf.asso.fr/>).



N'hésitez pas à revenir vers nous dès à présent pour plus d'informations et afin de programmer vos actions 2025 avec la Régie Pub ATF.

Nous serions ravis de vous compter parmi nous à cette journée collaborative dont vous trouverez le **programme ci-dessous** et nous nous tenons à votre disposition pour tout complément d'information.

PROGRAMME DE LA JOURNÉE

08h30 – 09h00

Accueil et petit-déjeuner
Mélody Sanson et Cloé Teodori
*Lieu : Domaine de Barive
Ferme Barive, 02350 Sainte-Preuve*

09h15 – 10h00

Présentation du Médiakit
Mélody Sanson et Cloé Teodori

10h00 – 10h30

**Synergie Partenaires / ATF
(Propositions et axes d'amélioration)**
Guillaume Allart, Président de l'ATF

10h30 – 10h45

Pause

10h45 – 11h15

**Situation de la Fonderie française
et infos WFO / CAEF**
Lionel Alves, Représentant ATF au WFO

11h15 – 11h45

**Organisation des événements
majeurs pour 2025-2026**

11h45 – 12h15

Echanges / Questions

12h30 – 14h00

Déjeuner

15h00

Activité, Visite de la Caverne du Dragon
*Offert par l'ATF
Lieu : chemin Dames, 02160 Oulches la Vallée Foulon*

POUR VOUS INSCRIRE À CETTE JOURNÉE
CLIQUEZ ICI

ATF - 14 Avenue de l'Opéra 75001 PARIS - Tél. : 06.02.58.01.09 / E-mail : atf-sg@atf-asso.com

INSCRIPTION

Contactez Mélody Sanson

atf-sg@atf-asso.com

06 02 58 01 09



SAVE THE DATE !

Journée Technique ATF

••• TECHNOLOGIES
••• & PRATIQUES MODERNES
••• EN GRENAILLAGE POUR LES FONDERIES

AGENDA DE L'ÉVÈNEMENT

Mercredi 16 octobre 2024 | Soirée Réseautage

19:30 Soirée de réseautage et repas des fondeurs.

Jeudi 17 octobre 2024 | Journée Technique (Membres ATF uniquement)

08:15 Accueil des participants.

08:30 Lancement de l'évènement par ATF.

08:45 Discussion sur les problématiques du grenailage en fonderie (dessablage, finition de surface, etc).

09:30 évolutions actuelles et nouveaux besoins des fondeurs.

10:00 Abrasifs : Présentation des différentes grenailles, avantages et inconvénients.

10:30 Enjeux de la finition de surface et illustration sur l'exemple du grenailage du TA6V (présenté par CETIM)

11:00 Cas concret : Influence du grenailage sur la magnétoscopie et la surface de pièce.

11:30 Optimisation du process et maintenance prédictive : Comment anticiper et prévenir les pannes.

Pause Déjeuner

13:30 Visite de la plus grande usine de grenaille au monde.

15:00 Présentation technique et ateliers au Centre Technique.

- Démonstration grenailage efficace (15min)
- Ateliers techniques :
 - Outils technologiques (WA Clean)
 - Casque de réalité augmentée
 - Service W Care + jeu Blasting Cost Killer
 - Calcul de la Valeur TCO

16:30 - 17:30 Tables rondes et discussions ouvertes sur les défis et opportunités du secteur.

INSCRIPTION

Réservez votre place dès maintenant !

Mélody SANSON : atf-sg@atf-asso.com ou au **06.02.58.01.09**

Lieu : Winoa, Le Cheylas - Centre technique, 528 Ave de Savoie, Le Cheylas, France, 38570

Date : Jeudi 17 Octobre 2024

Coût : Les frais de participation à la journée technique sont pris en charge par Winoa et ATF.

Évènement
commandité
par :

winoa
preparing tomorrow's surfaces

ASSOCIATION
TECHNIQUE DE FONDERIE

CETIM



PRESS RELEASE • 28 AUGUST 2024

European Foundry Industry Sentiment, July 2024: FISI Experiences Slight Uptick

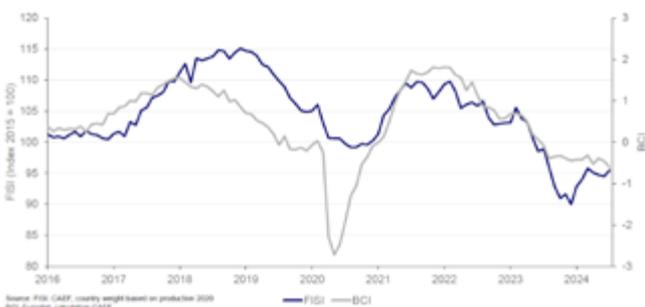
In July 2024, the European Foundry Industry Sentiment Indicator (FISI) saw a slight upward movement, rising to 95.5 index points. This represents an increase of 1.0 point compared to the previous month, where the index stood at 94.5.

This modest improvement in the FISI can be attributed to a combination of factors currently influencing the European economy. Firstly, there has been a slight relief and a more optimistic outlook in the broader European economic landscape. Recent indicators suggest that while challenges remain, there is a growing sense of stability that has positively impacted several industrial sectors, including the foundry industry. Secondly, the summer break has resulted in a reduced volume of data, which can occasionally lead to less precise measurements in the index. However, the general trend remains positive despite this seasonal variability. Finally, the automotive sector has shown signs of recovery, providing a much-needed boost to the foundry industry. The renewed demand for automotive components has contributed to the overall improvement in the FISI, reflecting the sector's importance as a key driver of foundry output in Europe.

While this increase is a welcome development, it is essential to approach the numbers with caution. The broader environment remains complex, and the foundry industry continues to face significant challenges. Nonetheless, the positive influences of economic optimism, seasonal factors, and sector-specific resilience have collectively contributed to this slight improvement in the FISI for July.

Meanwhile the **Business Climate Indicator (BCI)** has experienced a further decline, decreasing from -0.46 to -0.61 index points in July. This continued drop highlights the persistent challenges within the business environment, as the BCI remains firmly below the critical threshold of 0 index points. The downturn in the BCI for July can be attributed to several factors. Firstly, there has been a more negative assessment of order book levels, reflecting a weaker demand outlook within the industry. This decline in orders suggests growing concerns about future production capacity and demand. Secondly, the typical slowdown during the summer break has further dampened economic activity, contributing to the overall

European Foundry Industry sentiment Indicator (FISI) and Business Climate Indicator Euro Area (BCI) • July 2024



decline. Lastly, uncertainty surrounding the upcoming EU Commission, and the potential policy changes it may bring has caused hesitancy among businesses, exacerbating the already cautious market sentiment.

These factors combined have resulted in a more pessimistic business climate, as companies remain wary of both immediate and future economic conditions.

The FISI – European Foundry Industry Sentiment Indicator – is the earliest available composite indicator providing information on the European foundry industry performance. It is published by CAEF the European Foundry Association every month and is based on survey responses of the European foundry industry. The CAEF members are asked to give their assessment of the current business situation in the foundry sector and their expectations for the next six months.

The BCI – Business Climate Indicator – is an indicator published by the European Commission.

The BCI evaluates development conditions of the manufacturing sector in the euro area every month and uses five balances of opinion from industry survey: production trends, order books, export order books, stocks and production expectations.

Please find the chart enclosed or combined with additional information at www.caef.eu.

>>> BACKGROUND INFORMATION ON CAEF:

CAEF is the umbrella organisation of the national European foundry associations. The organisation, founded in 1953, has 22 European member states and works to promote the economical, technical, legal and social interests of the European foundry industry. At the same time, CAEF implements activities which aim at developing national foundry industries and coordinating their shared international interests. The General Secretariat is situated in Düsseldorf since 1997.

CAEF represents 4 400 European foundries. Nearly 260 000 employees are generating a turnover of 39 billion Euro. European foundries are recruiting 20 000 workers and engineers per year. The main customer industries are e.g. the automotive, the general engineering and the building industries as well as the electrical engineering industry. No industrial sector exists without using casted components.

Further information at www.caef.eu and [CAEF LinkedIn](#)



CAEF The European Foundry Association contact:

Johannes KAPPES

Secretary Commission for Economics & Statistics

phone: +49 211 68 71 – 291

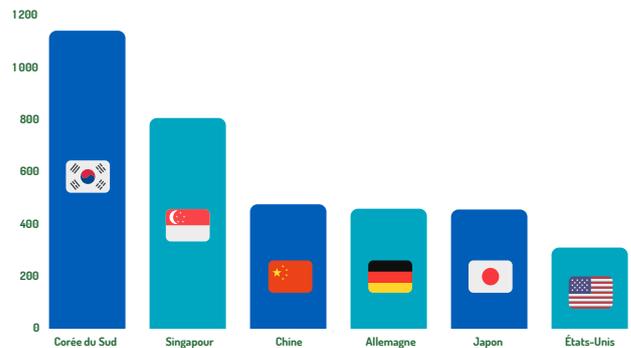
e-mail: johannes.kappes@caef.eu

Les Tendances de la Robotisation dans l'Industrie 4.0 en 2024

En 2024, la robotisation s'impose comme un pilier de l'Industrie 4.0, révolutionnant les processus industriels avec des technologies comme l'IA, l'IoT, et les robots autonomes. Cette avancée technologique permet une production plus agile et connectée, répondant aux défis modernes de l'efficacité et de la personnalisation. Découvrez comment ces tendances redéfinissent l'industrie et saisissez les opportunités pour rester en tête de la transformation numérique !

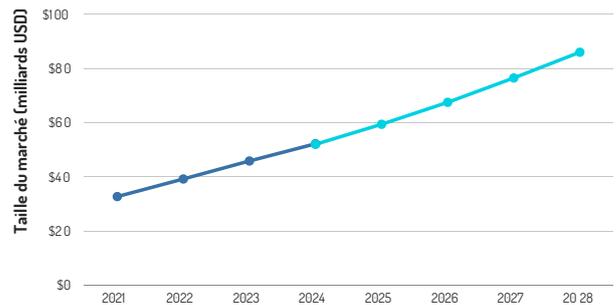
>>> DENSITÉ DE ROBOTS INDUSTRIELS PAR PAYS EN 2024 (Robots/ 10 000 employés)

En 2024, la densité de robots industriels continue de croître de manière significative à travers le monde, comme le montre notre graphique. Cette augmentation reflète la tendance vers l'automatisation et souligne que l'intégration des robots industriels est essentielle pour l'avenir des industries, permettant des gains en efficacité et en productivité.



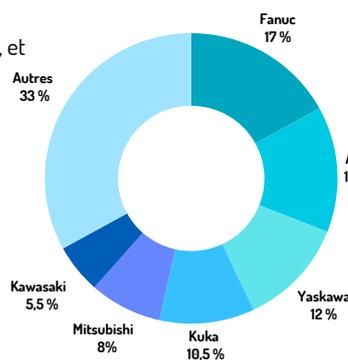
>>> CROISSANCE PROJÉTÉE DE LA ROBOTISATION INDUSTRIELLE

En 2024, les investissements dans la robotisation industrielle continuent de croître rapidement. Les entreprises prévoient de consacrer 25% de leur capital à l'automatisation au cours des cinq prochaines années. Le marché des robots équipés d'IA devrait atteindre une valeur de 150 milliards de dollars cette année, avec une croissance annuelle de 32,9%. Cette tendance montre clairement que l'adoption des robots industriels, pilier de l'Industrie 4.0, ne cesse d'augmenter, permettant des gains significatifs en efficacité et en productivité.



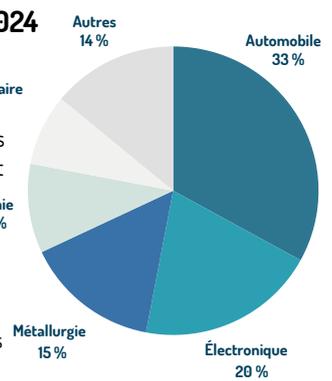
>>> LES GÉANTS DE LA ROBOTISATION EN 2024

En 2024, Fanuc (17%), ABB (14%), et Yaskawa (12%) dominent le marché de la robotisation industrielle. Grâce à des investissements massifs et des partenariats stratégiques, ces entreprises maintiennent leur position sur un marché projeté à 85,93 milliards USD d'ici 2028.



>>> RÉPARTITION DES ROBOTS INDUSTRIELS PAR SECTEUR EN 2024

En 2024, la robotisation redéfinit l'industrie ! Les robots transforment la productivité et l'innovation, libérant les humains pour des tâches plus créatives. Découvrez comment cette révolution technologique façonne l'avenir et place les entreprises à la pointe du progrès !

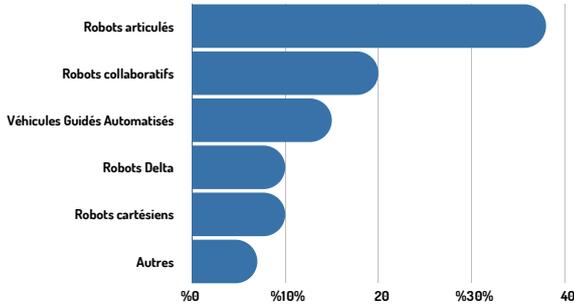


>>> L'ÈRE DE LA ROBOTISATION EN 2024

En 2024, la robotisation est au cœur de l'Industrie 4.0, transformant les processus de production. Les entreprises investissent massivement dans l'automatisation, avec des avancées notables en Corée du Sud et dans les secteurs automobile, électronique et métallurgique. Cette révolution redéfinit l'efficacité industrielle et propulse l'innovation et la compétitivité.

>>> **LES ROBOTS LES PLUS UTILISÉS
DANS L'INDUSTRIE 4.0**

L'industrie 4.0 se transforme grâce aux avancées robotiques. Les robots articulés, les cobots et les AGV sont les leaders, boostant l'efficacité, la flexibilité et la logistique. Cette révolution technologique est en pleine expansion, propulsant l'innovation et la productivité.



Référence : Sondage réalisé par Robot magazine (www.robot-magazine.fr) auprès de 1000 personnes

>>> **ADOPTÉZ L'AVENIR !**

L'industrie 4.0 est transformée par les robots articulés, les cobots et les AGV, leaders incontestés de l'automatisation. Ces technologies boostent l'efficacité, la sécurité et la logistique, propulsant les entreprises vers un avenir plus innovant et compétitif. Adoptez ces solutions pour rester à la pointe de la productivité et de l'innovation.

>>> **3 ENSEIGNEMENTS CLÉS**

1. Efficacité maximisée
2. Sécurité renforcée
3. Innovation et compétitivité



Fondeurs,
projetez votre entreprise
dans le futur

INTÉGREZ UN ROBOT
dans votre outil de production

33 (0)2 38 22 08 12 • www.scoval.fr

Représentant officiel :

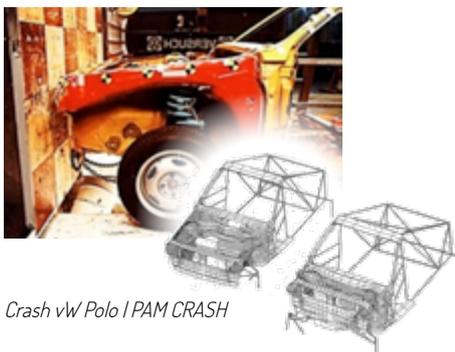
ESI Group

Prise en compte du procédé de fonderie dans les simulations de crash automobile



ESI, pionnier du prototypage virtuel pour l'industrie, offre des solutions logicielles pour la prédiction des défauts et l'optimisation des grappes et moules de fonderie. Ses outils de simulation prédictifs, basés sur la physique, permettent aux fonderies de toutes tailles de réduire leurs essais physiques et prototypes, augmentant ainsi la qualité des produits, tout en réduisant les coûts et les temps de développement et de fabrication.

➤ LES DÉBUTS D'ESI



Crash vW Polo I PAM CRASH

ESI (Engineering System International) a été fondée en 1973 avec pour principale activité le conseil pour les industries de la défense, du nucléaire et de l'aérospatiale en Europe.

En 1985, ESI réussit la première simulation numérique d'un crash-test pour un consortium allemand dirigé par Volkswagen. Cette étape importante marque le début du développement du logiciel phare d'ESI, PAM-CRASH, aujourd'hui connu sous le nom de Virtual Performance Solution. Ce logiciel de pointe qui simule les collisions, la sécurité (déclenchement d'airbags, ...), la résistance & dynamique s'est imposé en remplacement des essais physiques en vue de la certification.

Au fur et à mesure de sa croissance, la société est devenue ESI Group en 1995 et a poursuivi une série d'acquisitions stratégiques, dont les logiciels de simulation de fonderie ProCAST et QuikCAST. Cette expansion dans le domaine de la simulation des procédés de fabrication a marqué une évolution significative pour ESI, en élargissant ses capacités au-delà de la simulation de crash.

ESI Group emploie aujourd'hui 1000 personnes dans 18 pays et dispose d'un portefeuille varié de solutions de simulation couvrant les domaines du crash, de la vibro-acoustique, des procédés de fabrications (soudage, emboutissage, fonderie, ...) et de réalité virtuelle.

Pourquoi ESI a décidé de s'intéresser à la simulation du procédé de fonderie ?

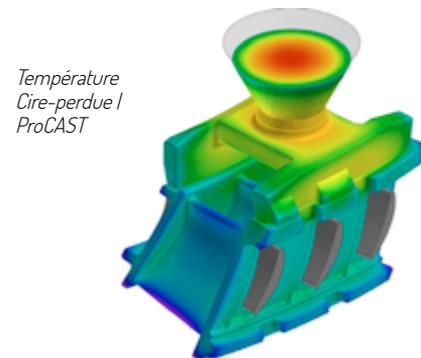
➤ LE RÔLE ESSENTIEL DE LA FONDERIE DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE

La fonderie est essentielle dans l'industrie automobile pour la fabrication de composants moteurs, de pièces de transmission ou d'éléments structurels. Pour répondre aux normes actuelles, les constructeurs et équipementier se tournent vers des matériaux plus légers comme l'aluminium.

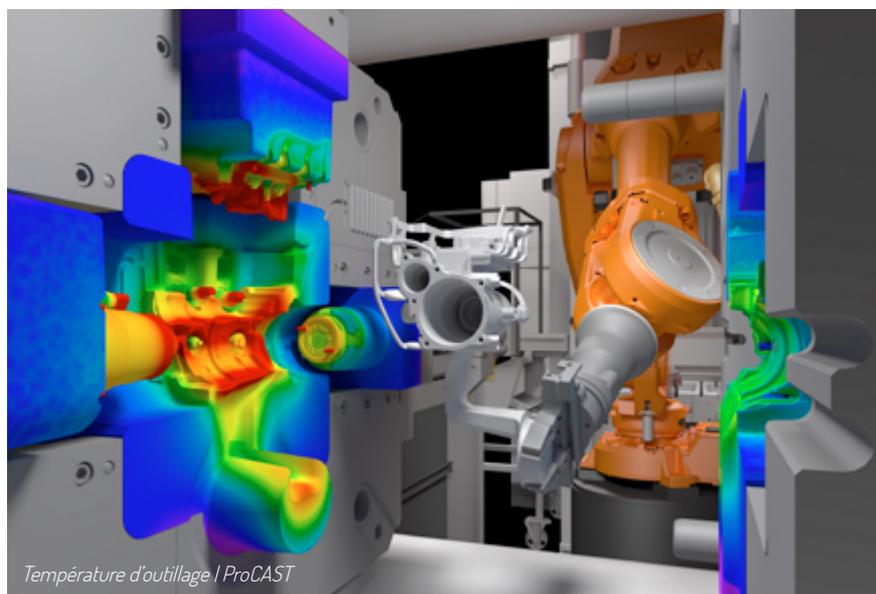
Cependant, en cas de collision, la sécurité des occupants ne peut être compromise. Si les matériaux sont plus légers ou les pièces plus fines, les niveaux de sécurité quant à eux doivent rester identiques.

Une tendance croissante est l'utilisation de **Méga-Casting** : Fabrication par procédé sous-pression de composants structurels complexes et de grande taille tels que les châssis de voitures ou les boîtiers de batteries. Ces pièces moulées innovantes réduisent le poids et rationalisent les procédés d'assemblage. En regroupant plusieurs pièces en une seule, les composants Méga-casting améliorent la rigidité des véhicules et leur résistance aux chocs.

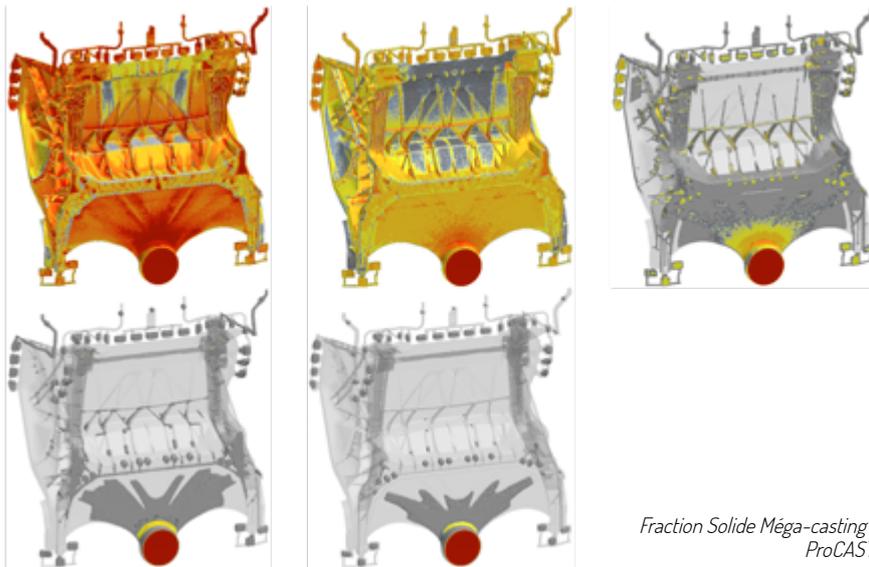
Mais le passage d'une carrosserie traditionnelle 100 % en acier, à une caisse en blanc composée d'un assemblage multi-matériaux présente des défis à la fois pour la fabrication et pour la performance du produit final. Les pièces structurelles réalisées en fonderie jouent un rôle crucial dans la résistance de véhicule lors d'un crash. Il est donc essentiel d'évaluer leur fabricabilité mais aussi leur comportement lors d'une collision, en tenant compte de l'état après fonderie (contraintes et déformations résiduelles, distorsions, etc.). La décision d'acquérir les logiciels de simulation de fonderie ProCAST et QuikCAST s'est donc aligné sur l'engagement d'ESI à fournir des solutions virtuelles complètes dans de nombreux domaines d'ingénierie. ESI a ainsi renforcé sa capacité à accompagner les industriels dans l'ensemble du cycle de vie produit, de la conception à l'analyse des performances, jusqu'à la fabrication. Créant ainsi un lien direct entre les simulations de fonderie et de crash.



Température
Cire-perdue /
ProCAST



Température d'outillage / ProCAST



Fraction Solide Méga-casting / ProCAST

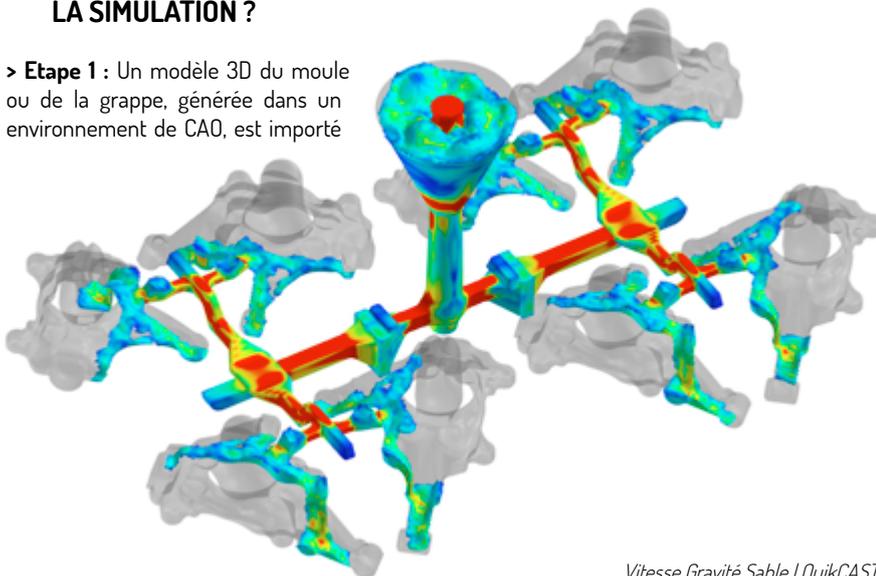
➤ RÉVOLUTIONNER L'INGÉNIERIE DANS LES FONDERIES

La simulation du procédé de fonderie joue un rôle crucial dans le développement d'une nouvelle pièce. Elle constitue un outil puissant permettant et prédire le comportement de l'alliage tout au long de la fabrication. Modélisant l'écoulement du métal dans l'empreinte, sa solidification et son refroidissement dans et hors du moule.

Grâce à ses capacités avancées, le logiciel de simulation permet d'effectuer des prototypes virtuels et d'optimiser le moule et la grappe avant la mise en production, réduisant ainsi les défauts et les rebuts. L'identification des défauts potentiels et la réduction des temps de développement permet aux fonderies de passer d'une approche essai/erreur à une approche de validation du concept.

➤ COMMENT FONCTIONNE LA SIMULATION ?

➤ **Etape 1** : Un modèle 3D du moule ou de la grappe, générée dans un environnement de CAO, est importé



Vitesse Gravité Sable / QuikCAST

dans le logiciel de simulation. Celui-ci inclut tous les composants et artifices de fonderie tels que : le système de remplissage, les mas-selottes, refroidisseurs, ...

➤ **Etape 2** : les propriétés des matériaux des différents volumes (grappe, moule, etc.) sont attribuées. Puis les paramètres du procédé de fonderie, représentatif de l'atelier sont indiqués. Il peut s'agir de la température, du débit auquel est coulé l'alliage, et des différents types de conditions de refroidissement. La simulation peut alors être lancée, le logiciel utilise les méthodes numériques pour résoudre les équations qui régissent l'écoulement du métal liquide, le transfert de chaleur et le changement d'état.

➤ **Etape 3** : l'analyse des résultats de la simulation permet de visualiser le comportement de l'alliage lors du remplissage, les distributions de température ainsi que l'emplacement et la taille des défauts potentiels

comme les retassures ou l'emprisonnement d'air par exemple.

➤ ATTEINDRE LE BON RÉSULTAT AVEC PROCAST

ProCAST et QuikCAST, les solutions de simulations de fonderie d'ESI, permettent de tester numériquement et de valider chaque conception d'outillage durant la phase de développement. Réduisant ainsi de manière significative les rebuts et les retouches en production. Les logiciels d'ESI sont basés sur la physique des matériaux et permettent de traiter une large gamme d'alliages et de procédés tels que la coulée cire perdue, basse pression, sous-pression, gravité sable et leurs multiples variantes.

La technologie de QuikCAST permet de modéliser rapidement le procédé de fonderie et de vérifier tous les défauts usuels tels que l'entraînement d'air, les malvenues ou la porosité de retrait, aidant ainsi les fondeurs à prendre des décisions pendant la phase de développement.

ProCAST, qui utilise la technologie des éléments finis, peut aller plus loin dans les détails et prédire des phénomènes complexes, suivre l'évolution des contraintes tout au long de la fabrication (aussi bien en fonderie qu'en traitement thermique) et prévoir les variations dimensionnelles ou la réduction de la durée de vie de l'outillage. ProCAST permet également la prédiction de la microstructure, la structure de grains et les propriétés mécaniques après fonderie. Garantissant ainsi aux pièces une durée de vie plus longue et des performances plus élevées. L'utilisation de logiciels de simulation tels que ProCAST ou QuikCAST, permet la réduction du nombre d'essais physiques, des coûts inutiles et des rebuts. Rendant la simulation de fonderie indispensable à l'industrie.

Vous souhaitez plus d'informations sur ProCAST découvrir le logiciel lors d'une démonstration ?

Visitez notre site : [ProCAST | Casting Simulation Software](https://www.esi-group.com/procast-casting-simulation-software)

RESTONS CONNECTÉS !

LinkedIn : <https://www.linkedin.com/company/esi-group>

X : <https://x.com/ESIGroup>

Facebook : [ESI.Group | Bagneux | Facebook](https://www.facebook.com/ESI.Group.Bagneux)



une pme exemplaire dans son projet de modernisation

L'objectif, de notre édition spéciale Alliages Non Ferreux est de démontrer que quelque soit la taille de nos entreprises la voie de la modernisation de nos outils de travail est en marche.

A ce titre notre revue a le plaisir de vous faire découvrir une fonderie française qui, bien que n'étant pas dans le feu des projecteurs, mérite d'être reconnue pour son savoir-faire, son dynamisme, et sa volonté de moderniser son outil de travail. L'occasion est d'autant plus belle que cette fonderie implantée à Roanne possède une histoire commune avec la fonderie FONTREY qui a fait il y a quelques mois l'objet d'un article dans notre revue [technews-fonderie-27.pdf](#)

En effet ces deux entreprises ont été fondées par deux frères Noël et Joseph au cœur de la période des Trente Glorieuses.

La fonderie est passée par plusieurs phases depuis sa fondation en 1956 par M Joseph REY. Très active à ses débuts dans le maniement de la fonte et des alliages cuivreux, la fonderie se tournera ensuite vers le moulage en sable avant de se spécialiser dans les alliages d'aluminium, une métallurgie dont les développements étaient très importants et prometteurs au cours des Trente Glorieuses. À la fin des années 80, la découverte du mou-

lage vertical poussera, l'entreprise à investir dans un chantier DISAMATIC, ce qui mettra pratiquement fin à l'utilisation du moulage à plat.

Dans les années 90, les fils de M. REY Jean-Noël et Bernard, reprennent la direction de la fonderie aluminium et optent pour la modernisation du parc machines par l'acquisition d'un modèle plus productif, afin d'offrir plus de souplesse à leurs clients.

Aujourd'hui, avec un effectif de 10 personnes, Roanne fonderie produit des pièces de 0.1 à 8 kg de petites et moyennes séries.

>>> HISTOIRE DE LA REPRISE

Après avoir dressé en quelques lignes l'histoire, le passé de cette fonderie, qui est le mieux placé pour vous parler de leur entreprise, de son évolution, de son actualité ? Pour ce faire, notre revue s'est rapprochée naturellement de ses dirigeants actuels MAXIME ET FLAVIENNE DEBONO

>>> Introduction

Pour connaître un peu mieux cette entreprise, vous donner une première impression de celle-ci, de son évolution nous vous proposons chers lecteurs, une vidéo réalisée par l'entreprise dans le cadre de sa communication.

Cette vidéo ne présente pas toutes les évolutions de cette entreprise, mais vous permettra de visualiser en quelques minutes comment le cœur de son atelier de production s'est modernisé au cours de ces dernières années.



Interview menée auprès de FLAVIENNE & MAXINE DEBONO Dirigeants de l'entreprise.

TECH News FONDERIE :

Première Question à Maxime Debono : pouvez-vous nous faire un bref résumé, votre regard sur l'histoire de cette reprise ?

La reprise a commencé en septembre 2014 et s'est parfaitement déroulée, Jean-Noël et Bernard REY ont été transparents sur les

forces et faiblesses de leur entreprise et les investissements à réaliser à court, moyen et long terme. Venant pour ma part de l'industrie du logiciel, l'accompagnement était crucial et Jean-Noël a parfaitement tenu son rôle durant l'année d'accompagnement. Flavienne est venue rejoindre l'équipe en mars 2016, elle travaillait auparavant chez un fabricant d'équipements médicaux.

Cela fait maintenant presque 10 années que vous présidez aux destinées de l'entreprise. Quelles ont été vos plus grandes satisfactions ?

D'être toujours présents 10 ans après la reprise, la greffe ne prend pas systématiquement dans ce type d'opération. Notre méconnaissance du métier a été une source d'inquiétude (doux euphémisme) chez nos collaborateurs, nos clients et nos partenaires. Nombre d'entre eux nous ont avoué, quelques années plus tard, qu'ils ne pensaient pas que nous allions réussir. Nous restons, malgré tout, très prudents, de nombreuses fonderies ont disparus durant ces 2 dernières décennies.

Quelles ont été les plus grandes difficultés à surmonter ?

L'apprentissage du métier fut long et difficile, et il n'est pas fini, mais je pense que notre méconnaissance du métier fut un atout. Les différentes parties prenantes n'avaient aucun intérêt à nous voir sombrer, elles ont été, pour la plupart, bienveillantes à notre égard. Notre méconnaissance du métier a été enrichie, par des périodes où nous avons tous les deux avec Flavienne, dû remplacer nos opérateurs aux différents postes de travail.

Plus récemment, La période du COVID a été éprouvante pour nos équipes, même si nous tenions un discours rassurant sur la solidité financière de l'entreprise, nos collaborateurs étaient très inquiets.

Pourquoi ces difficultés que peuvent représenter certaines absences, deviennent avec le temps des motifs de satisfaction ?

Et bien tout simplement parce que ces périodes vécues au cœur de nos ateliers, nous ont permis par exemple de prioriser et de mieux appréhender les différents investissements de modernisation que notre entreprise devait réaliser. Ce tant pour améliorer nos conditions de travail que notre productivité à court moyen et long terme.

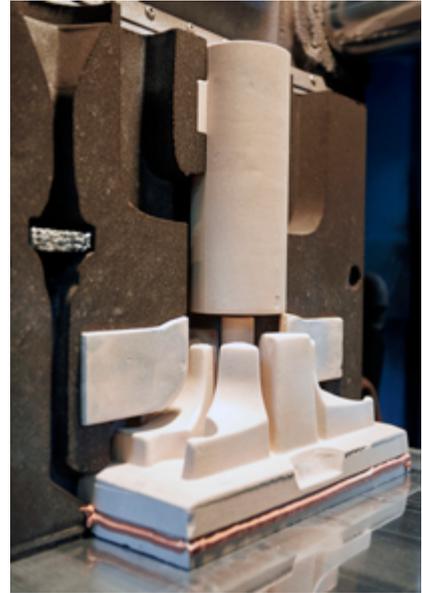
Tous les détails comptent et ces fréquentes plongées au cœur des détails du fonctionnement de nos ateliers, nous ont aidées et nous aident dans nos prises de décisions.

Depuis quelques années vous avez beaucoup investi dans l'entreprise : Pourriez-vous nous lister les investissements majeurs mis en œuvre et leurs impacts sur la marche de votre société ?

Notre machine de moulage est, sur le papier, très performante mais elle fait partie d'une chaîne. Lors de mon arrivée, j'ai sollicité nos collaborateurs pour savoir si les arrêts de production provenaient essentiellement d'un sous-dimensionnement de la sablerie ou des capacités de fusion/maintien de l'aluminium. Ils m'ont répondu « *cela dépend des pièces que nous coulons...* », réponse pleine de bon sens. Nous avons tranché et décidé, dans un premier temps de changer le malaxeur (Août 2015). Par la suite, pour avons également investi dans un nouveau four fusion (Août 2015) de maintien (décembre 2017) et depuis peu (Août 2024), un nouveau four de fusion a pris place dans l'atelier. En 2019, nous avons investi dans un centre de parachèvement robotisé. En septembre 2022, dans un robot de coulée. Suite au départ à la retraite de notre fondeur en Avril 2018, nous avons également recruté une personne qui a obtenu un CQPM de fondeur.



Ces investissements ainsi que d'autres (rotoir de dégazage, spectromètre, poche de transfert sur chariot) ont permis de réduire les arrêts de production (arrêt métal, arrêt sable), d'améliorer les conditions de travail et la qualité des pièces. Je pense que ces investissements ont également permis de maintenir la motivation de nos collaborateurs, car ils sont dorénavant persuadés que leurs conditions de travail ne devraient pas cesser de s'améliorer.



Pourriez-vous en quelques mots nous présenter 2022-2024 en comparaison de la période précédant la pandémie COVID ?

La période post COVID (2021, 2022 et 2023) fut plutôt bonne pour Roanne Fonderie. Notre entreprise a repris un bon niveau d'activité même si nous pensons que l'année 2025 devrait être plus calme.

Comme de nombreux industriels, nous avons dû faire face à une hausse rapide des prix de l'énergie et des matières premières lors de l'apparition de tensions internationales. La plus grande difficulté pour nous, comme pour d'autres industriels, a été de répercuter ces variations matières et énergie de façon juste pour nos clients et pour notre entreprise. Cela prend beaucoup de temps et d'énergie. Rien n'est jamais définitif dans ce domaine et nous demande une grande vigilance. Elle nous guide également dans nos choix d'investissements car pour notre métier les coûts énergétiques et matières sont d'une importance plus que primordiale.

Sans reprendre in extenso les informations de votre site internet pourriez-vous nous décrire les principaux moyens de production utilisés par la fonderie les alliages qu'elle élabore ?

A notre arrivée en 2014, 80% de l'activité concernait des pièces réalisées sur notre chantier automatique de type DISAMATIC, 15% environ sur des chantiers secousses pression et 5% sur un chantier sable chimique. Nous avons très rapidement arrêté le chantier sable chimique et nous arrêtons progressivement les lignes secousses-pression. Ces lignes sont vétustes, le travail est exigeant pour nos collaborateurs et les marges

sont négatives. Sur ce dernier exercice fiscal, les pièces réalisées en secousses-pression n'ont représenté que 2% de notre chiffre d'affaires, nous souhaitons arrêter complètement l'activité en 2025. Notre objectif est clairement de charger et d'optimiser le fonctionnement de notre ligne de moulage automatique.

Nous sommes équipés de 2 fours de fusion gaz basculant de 300 kg, 2 fours de maintien électrique de 500 kg montés sur un carrousel, d'un rotor de dégazage automatique. Le robot de coulée est équipé d'un changeur d'outil automatique, nous disposons de 3 tailles de louches : 4, 8 et 12 kg. Le point de coulée est déterminé grâce à un système de vision. Nous sommes équipés d'une noyautéuse H5. Au niveau du parachèvement, on retrouve les grands classiques comme la scie à ruban, la ponceuse à bande et le grenailage ainsi qu'un centre d'ébarbage à commande numérique KOYAMA. Le traitement thermique est réalisé en interne. En termes de contrôle, nous disposons d'un spectromètre, d'un duromètre et d'une balance double pesée.

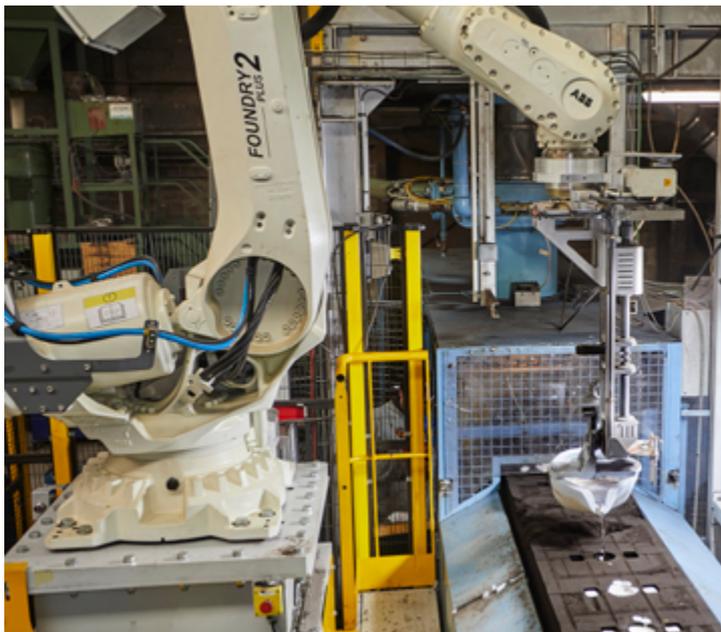
Depuis longtemps la collaboration entre fondeurs n'est pas un vain mot, comment participez-vous à cette collaboration ?

Nos confrères ont été d'un très grand soutien pendant toutes ces années, je tenais à remercier particulièrement Fonderie Boisson et FONTREY qui ont toujours été bienveillants et inspirants.

Avant le lancement du projet de robot de coulée et à notre demande, deux de nos confrères nous ont également accueillis dans leurs locaux pour échanger sur le sujet. Je tenais également à les en remercier.

Parlons du futur de l'entreprise, quels sont les grands projets les grandes lignes de son futur développement ? Bien entendu celles que vous souhaitez présenter à la profession où sur lesquels les questions de confidentialités ne se posent pas.

La mécanisation reste au centre de nos préoccupations. Elle reste délicate car difficile à rentabiliser pour de petites structures comme les nôtres travaillant en une seule équipe et qui réalise des pièces très variées en petites et moyennes série. Nous continuerons, dans



la mesure de nos moyens, à automatiser tout ce qui peut l'être.

Est-ce qu'un procédé révolutionnaire va remplacer la fonderie dans les 10 ans à venir ? Je ne sais pas. Cependant, il est certain que le nombre de travailleurs en France va s'amenuiser dans les prochaines décennies. Nos métiers, déjà peu attractifs, pourraient s'arrêter faute de combattants. Il est essentiel d'augmenter la valeur ajoutée par collaborateur, la formation et la mécanisation sont essentielles pour rendre nos métiers plus attractifs.

Il est important de souligner ici et comme exemple le nucléaire ou l'armement à l'heure où certains experts économiques nationaux déplorent la perte de savoir-faire notamment dans nos filières métallurgiques ?

A qui la faute ? Durant mon enfance, je voyais régulièrement au 20h des entreprises industrielles qui fermaient leurs portes. Peut-on en vouloir à nos parents de nous avoir déconseillés, à l'époque, de suivre ces carrières ? Peut-on en vouloir à nos responsables politiques qui ont martelé à nos jeunes la fin de l'utilisation de l'énergie nucléaire dans les prochaines décennies ? Peut-on en vouloir aux consommateurs de vouloir toujours plus pour toujours moins ? J'aime la citation « Quelqu'un s'assoit à l'ombre aujourd'hui parce quelqu'un d'autre a planté un arbre il y a longtemps ». Dans l'industrie, nous sommes dans le temps long, il faut beaucoup de temps pour former des collaborateurs, du temps et beaucoup de capital pour construire des lignes de production. Il nous est impossible d'absorber des fortes variations de charge. Si l'état considère que certains secteurs sont stratégiques (énergie, armement,

télécommunications), il se doit de maintenir une politique d'investissement sur le long terme afin de préserver les outils de production et le savoir-faire. A l'époque du COVID, les rares fabricants français de masques étaient surveillés par l'armée. Je crois que la plupart d'entre eux ont déposés le bilan faute de commande de l'état, édifiant.

Quelle est l'actualité de votre entreprise à court et moyen terme ?

Notre objectif est d'être certifié ISO 9001, idéalement fin 2025 ou début 2026. Cela reste un objectif. Nous avons commencé ce travail en fin d'année dernière avec l'aide de 2 consultants, un expert fonderie et un expert qualité. Nous avons vite réalisé que nous n'étions pas en capacité d'absorber cette charge de travail supplémentaire, nous avons recruté une technicienne qualité en Juin, à mi-temps.

>>> CONCLUSION

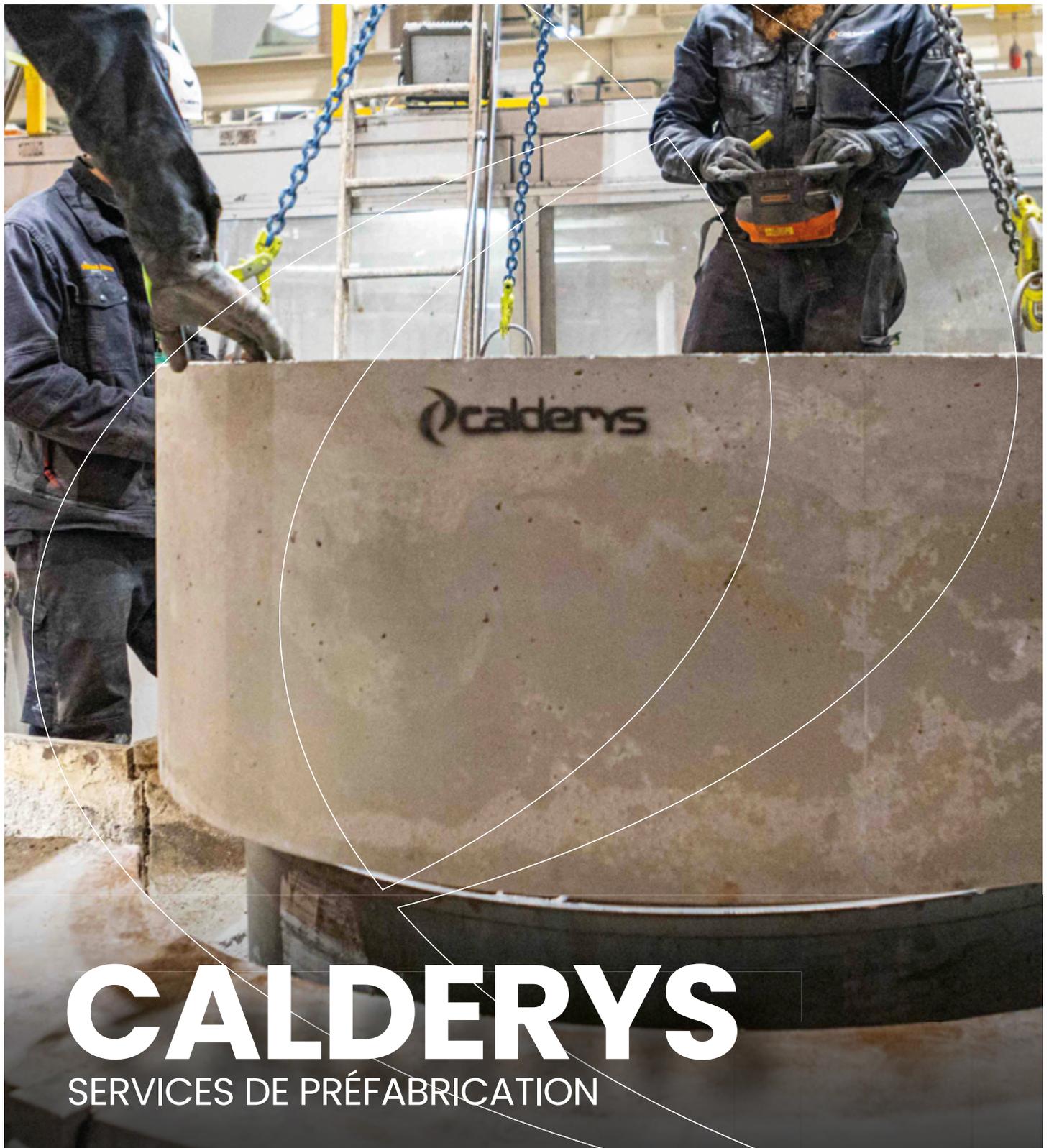
Même si beaucoup reste à écrire tant l'entretien et la visite de la fonderie furent intéressants et enrichissants, nous concluons cet entretien et reportage **TECH News FONDERIE** en souhaitant à votre entreprise un futur aussi radieux que possible.

Elle le mérite, elle présente de belles et modernes évolutions techniques. Comme écrit en introduction, notre revue consacrée à notre profession LA FONDERIE se doit de souligner les évolutions positives que vit notre profession.

En cela, montrer qu'une PME a comme l'annonçait une publicité de la fin des années 80 début des années 90 : « tout d'une grande » et peut-être plus, est l'occasion de souligner ces évolutions positives que vit notre profession.

Patrice MOREAU - ATF **//////////**
Rédaction et relais de cet Interview réalisé
par Maxime et Flavienne DEBONN
ROANNE FONDERIE





CALDERYS

SERVICES DE PRÉFABRICATION

- Un gain de temps et une simplification pour le regarnissage de vos fours, poches et autres unités de production
- Un large éventail de pièces, géométries et dimensions
- Un service d'étude et d'ingénierie adapté à vos procédés
- Une production variée : de la pièce unitaire aux pièces en série
- Un service rapide et flexible grâce notamment aux techniques de moules imprimés en 3D



www.calderys.com



principaux thèmes s'est avérée judicieuse», note M. Boss avec satisfaction.

Les visites guidées, extrêmement bien accueillies, ont permis aux visiteurs du salon de découvrir l'avenir de la coulée en masse. Les présentations des praticiens sur la mise en œuvre de la nouvelle technologie ont fait salle comble. Par exemple, Volvo Cars, qui est actuellement en train d'amener le giga-casting au niveau de la production de masse dans des usines en Suède et en Slovaquie, a présenté les «leçons apprises» lors de la conférence sur le moulage sous pression. La plus grande machine jamais vue sur le site de l'exposition de Nuremberg, une presse à ébavurer géante, a également attiré les foules.

➤ FOCUS SUR LES PME

Malgré un niveau d'innovation élevé, l'industrie du moulage sous pression se trouve dans une situation difficile, caractérisée par des coûts énergétiques élevés, qui faussent la concurrence en Allemagne en particulier, une bureaucratie excessive et une économie incertaine. Le secteur, qui est fortement caractérisé par des petites et moyennes entreprises, considère qu'il est nécessaire d'agir au niveau de la politique et de la société, mais aussi à l'intérieur de lui-même.

➤ DURABILITÉ DES CHAÎNES D'APPROVISIONNEMENT

La question de savoir comment les entreprises de fonderie peuvent produire et opérer de manière durable étant devenue encore plus pressante en raison de l'extension de la réglementation légale - dans le contexte de la loi sur la chaîne d'approvisionnement (LkSG) en particulier - les événements sur ce sujet ont fait partie intégrante d'EUROGUSS. Sous le titre «Sustainability in the casting industry - Quo Vadis ?», des représentants des milieux scientifiques et économiques se sont entretenus avec le professeur Matthias FIFKA de l'université d'Erlangen-Nuremberg sur les meilleurs moyens de décarboner l'industrie du moulage sous pression. Il est apparu clairement qu'il sera crucial de considérer la mise en œuvre des exigences de la LkSG comme un travail d'équipe entre les entreprises concernées, afin que les fournisseurs ne soient pas surchargés.

➤ 23^E CONFÉRENCE SUR LE MOULAGE SOUS PRESSION

La conférence sur le moulage sous pression, ouverte par Hartmut Fischer Président de l'association des fonderies allemandes de moulage sous pression (VDD), s'est tenue pour la 23^e fois. Vingt-six exposés ont permis



de présenter et de discuter de nouvelles technologies, de l'évolution des processus et des matériaux et de nouveaux domaines d'application avec les experts lors d'une session plénière bien remplie. La numérisation, la construction légère et la durabilité ont été les principaux sujets abordés ainsi que le giga-casting. Après une première édition réussie il y a deux ans, le concours européen de moulage sous pression s'est tenu pour la deuxième fois. Un jury d'experts a décerné des prix pour des composants moulés dans les trois catégories suivantes : magnésium, zinc et aluminium. Les lauréats sont BMW AG, Landshut (aluminium), HDO Druckguss- und Oberflächentechnik GmbH (zinc) et TCG UNITECH GmbH de Kirchdorf/Krems en Autriche (magnésium).

On regrettera que ce type d'organisation, même de manière élargie n'existe pas en France. Un nouveau sujet à traiter pour l'ATF pour l'année prochaine.

➤ PRIX DU TALENT

Un secteur innovant et tourné vers l'avenir a constamment besoin de jeunes talents bien

formés pour pouvoir rivaliser avec d'autres secteurs. Lors de la première journée de l'étudiant, les étudiants se sont vus proposer un vaste programme comprenant des exposés, des conférences et des visites. Les jeunes scientifiques sont également récompensés à EUROGUSS par le Talent Award. Ce prix récompense les diplômés et les thèses exceptionnelles dans le domaine du moulage sous pression. Le lauréat de cette année est Danny Rohde de l'université de Kassel.

*Guillaume ALLART // // // // //
Président de l'ATF*

EUROGUSS MAGACASTING
TREND REPORT



EUROGUSS WHITEPAPER RESTART



COMMODITY PRICE INFORMATION
FOR THE THIRD QUARTER OF 2024:
ALUMINIUM & ZINC



L'analyse thermique avancée pour les fonderies d'aluminium

L'AFFINAGE



Aluminium Martigny France,
Partenaire et Distributeur officiel en Europe

Le contrôle et la traçabilité des propriétés des alliages d'aluminium à l'état liquide, juste avant la coulée, est important pour réduire les non-conformités dans la pièce moulée, comme les porosités et les micro-retassures. Dans un processus industriel, sable ou coquille, on cherche à garantir la robustesse en maintenant sous contrôle l'ensemble des paramètres impactant la solidification, avec en particulier un métal de bonne qualité métallurgique.

Outre la composition chimique, la modification dans le cas des alliages Aluminium Silicium et l'affinage du grain contribuent en premier lieu, à l'atteinte de cet objectif. Le développement de l'analyse thermique et notamment d'appareils adaptés à la mesure dans les ateliers, donne aujourd'hui aux fondeurs la possibilité de vérifier ces deux paramètres avant la coulée et non plus a posteriori via un test destructif.

Dans ce court article, nous allons présenter notre technologie d'analyse thermique avancée SFTA. Nous commencerons avec la mesure de l'affinage que nous comparerons aux systèmes classiques développés dans les années 90. Ensuite, nous donnerons des exemples pour l'affinage et la modification. Dans un prochain article, nous discuterons du principe newtonien et de la mesure des intermétalliques comme Mg_2Si et Al_2Cu .

La variation de qualité du métal liquide a des conséquences diverses sur les propriétés finales de la pièce après traitement thermique. Par exemple, la proportion d'intermétalliques (Mg_2Si) et de phases complexes (α , PI , Q) change selon le niveau d'affinage et la quantité d'éléments résiduels. Ces derniers influencent le temps de la mise en solution. En effet, le magnésium ou le cuivre présents dans les phases complexes citées plus haut sont plus difficiles à remettre en solution par rapport aux intermétalliques Mg_2Si et Al_2Cu .

Temps de mise en solution^{Ref1}

Mg_2Si et $Al_2Cu < \alpha, \beta < PI, Q$

Les propriétés mécaniques trop faibles après

traitement thermique génèrent des délais supplémentaires et un coût en cas de retraitement. Lorsqu'ils sont découverts à l'étape d'usinage, ces défauts occasionnent des coûts importants puisqu'ils sont synonymes de rebut. Ces variations peuvent être prévenues par l'analyse thermique avancée comme le SFTA. Certaines fonderies vont avoir de très longs temps de mise en solution pour couvrir leurs variations et éviter les non-conformités. Il y a du potentiel d'optimisation des cycles de traitement dans cette ère de décarbonation.

>>> L'ANALYSE THERMIQUE : MÉTHODOLOGIE ET PRINCIPES

Les systèmes classiques d'analyse thermique utilisent la mesure de température en fonction du temps, d'un échantillon prélevé dans un petit creuset. Le support doit permettre un remplissage aisé par l'opérateur tout en ayant une condition thermique stable.



Fig. 1: Exemple de montage pour la prise d'échantillon.

La mesure de l'affinage utilise habituellement la recalescence du liquidus (ΔT) et le temps de la recalescence (s). J.Charbonnier^{Ref2} fût l'un des premiers à tenter de corréler la dimension des grains en utilisant ces 2 critères. La courbe bleue de la **figure 2** montre cet effet.

Les développements récents dans le traitement et l'analyse du signal permettent aujourd'hui de gagner en précision, mais aussi d'extraire davantage d'informations sur la qualité métallurgique de l'échantillon. Le SFTA utilise la courbe de vitesse de refroidissement (première dérivée inversée de la courbe $T = f(t)$) ainsi que les dérivées supérieures pour définir les phases. La **figure 2** ci-après montre la correspondance entre l'analyse

thermique classique et le SFTA. La relation avec l'affinage des grains utilise le minimum de la vitesse de refroidissement (CR = cooling rate en anglais) au liquidus. Le principal avantage de cette méthode est qu'elle quantifie le phénomène de surfusion (et donc la qualité de l'affinage) même en l'absence de recalescence.

Dans une autre famille d'alliage (7000 - Al-Zn), S.Mostafapoor^{Ref3} a montré dans son étude sur l'affinage, qu'en utilisant le maximum de la première dérivée au liquidus (MFD), la corrélation avec les tailles de grains mesurées était excellente. Les coefficients de corrélation calculés sont identiques à ceux obtenus avec la méthode qui consiste à mesurer le ΔT correspondant à la recalescence (même R^2). Surtout, l'extraction de ce paramètre permet d'explorer des fenêtres de taille de grains où la recalescence n'existe pas ou plus.

L'utilisation de l'une ou l'autre de ces méthodes permet a priori de surmonter le problème souvent rencontré avec les systèmes classiques d'analyse thermique où l'indice de grain est toujours au maximum de l'échelle, alors que des problèmes métallurgiques (retassures notamment) sont rencontrés dans les pièces.

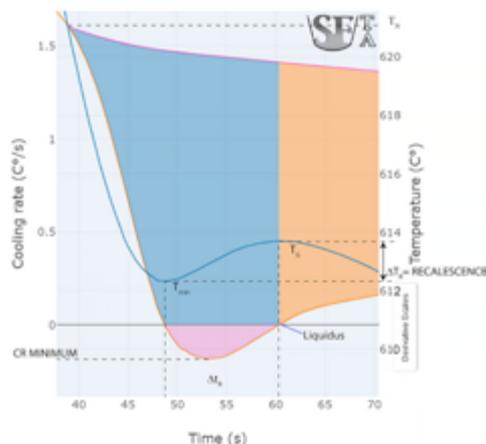


Fig. 2: Comparaison entre la température et la vitesse de refroidissement au liquidus ($AlSi_1Mg_{0.3}$). La courbe bleue est la température (Échelle à droite) et la courbe orange, la vitesse de refroidissement (Échelle à gauche).

Termes	Définitions
T_N	Température de nucléation
T_{min}	Température minimum du liquidus
T_G	Température du liquidus de croissance
ΔT_R	Recalescence du liquidus
Δt_R	Temps de la recalescence

Comme expliqué plus haut, les fonderies qui suivent les bonnes pratiques de traitement et de maintien du métal vont facilement obtenir un métal sans recalescence. Dans leur cas, la mesure de l'affinage avec les appareils classiques est souvent plafonnée au maximum. Ce manque de sensibilité a probablement contribué à la baisse d'intérêt envers l'analyse thermique chez les fondeurs. De plus, les alliages aluminium-cuivre (Al-Cu-Mg, Al-Cu-Ag, Al-Cu-Ni) ne présentent pas de recalescence au liquidus. Néanmoins, ces alliages sont plus difficiles à couler vu leur tendance à la fissuration à chaud et ils demandent un affinage du grain parfaitement maîtrisé pour garantir de bonnes caractéristiques d'étanchéité et l'absence de criques. L'analyse thermique avancée et l'exploitation des paramètres décrits ci-dessus a donc un fort potentiel pour les fonderies.

Les technologies modernes de traitement des signaux et la puissance des calculs sont essentielles pour utiliser les dérivées supérieures. Le rôle du filtre mathématique est d'enlever le « bruit » provenant du thermocouple, du convertisseur ou de l'environnement, tout en conservant les événements thermiques. La puissance de calcul des processeurs va évaluer rapidement les dérivées, sans ralentir le processus.

>>> ESSAIS DE RÉPÉTABILITÉ

Nous avons effectué un essai de répétabilité pour évaluer les variations et la sensibilité du système. Pour cela, nous avons prélevé des échantillons toutes les 20 minutes pendant 4 heures sur 4 supports en parallèle (48 échantillons). Le four était en maintien à 725°C avec un alliage AlSi7Mg_{0,3} dans un état stable.

Résultats pour un intervalle de confiance de 95% pour les événements thermiques principaux¹

Grandeurs	Répétabilité
Température	± 0,2°C
Vitesse de refroidissement	± 0,02°C/s
Accélération	± 0,007°C/s ²

¹ Excluant la température de germination et le solidus qui sont plus variables. Poids des échantillons : 213,4 ± 2,6 g

La répétabilité de 0,2°C obtenue pour la température peut paraître surprenante si nous comparons avec l'erreur typique d'un thermocouple (de 0,4% à 0,75%). A 600°C, le thermocouple a une erreur de mesure d'environ 2,4 à 4,5°C selon la classe. Il faut se rappeler que la température est le résultat filtré. Nous utilisons les meilleurs thermocouples à limites spéciales (erreur type de 0,4%).

Ces résultats montrent l'intérêt d'utiliser la vitesse de refroidissement (la dérivée première inverse). Nous obtenons une sensibilité 12 fois

plus grande. Pour mesurer les phases secondaires comme les intermétalliques (Mg₂Si), nous utilisons l'accélération (2^e dérivée inverse) qui se trouve 3 fois plus sensible que la vitesse de refroidissement ou 30 fois plus que la température. En fait, les dérivées jouent le rôle d'un microscope mathématique. Plus la réaction est faible et plus il faut prendre une dérivée supérieure. D.Larouche^{Ref4} a prouvé mathématiquement ce concept dans son étude sur l'analyse thermique.

>>> EXEMPLE DE COURBES D'ANALYSE THERMIQUE AVANCÉES

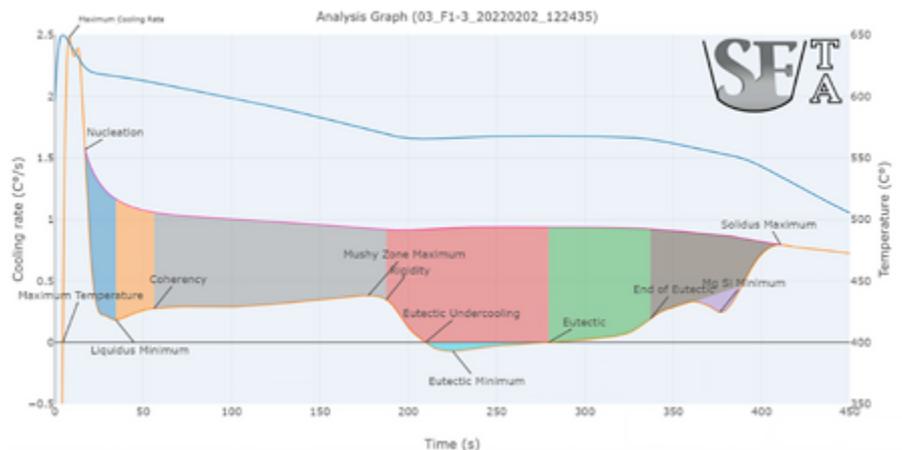


Fig. 3 : Température en fonction du temps (courbe bleue). Vitesse de refroidissement (courbe orange) et les différents événements thermiques d'un échantillon AlSi₇Mg_{0,3} après affinage. Courbe complète.

La figure 3 montre la courbe complète d'un échantillon après affinage. La figure 4 montre l'effet de l'affinage sur le liquidus et les figures 5 et 6 (page suivante) leurs microstructures correspondantes. L'effet de l'affinage a été expliqué plus haut dans cet article.

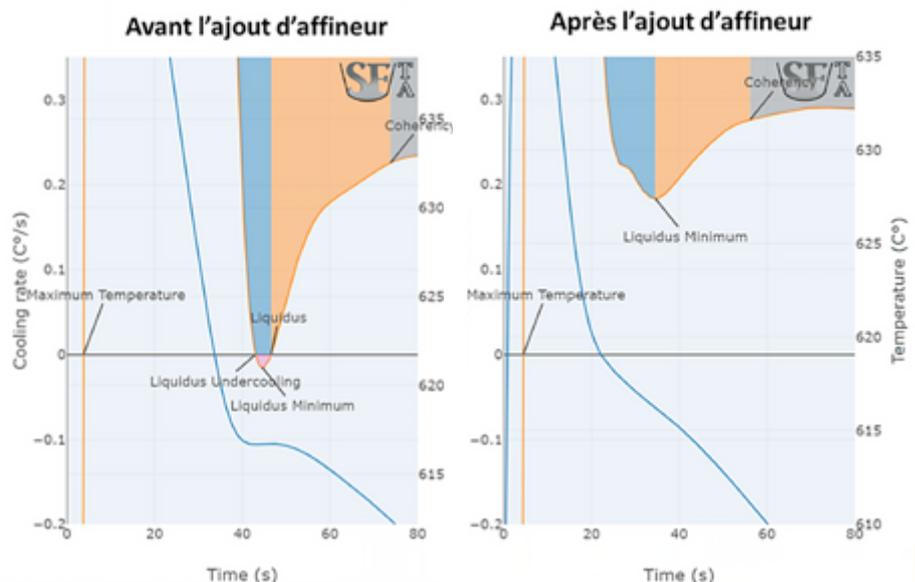


Fig. 4 : Effet de l'affinage sur la courbe d'analyse thermique d'un échantillon AlSi₇Mg_{0,3}. Zoom sur le liquidus



Fig. 5 : Microstructure avant affinage, attaque Baker, 141 grains/cm²

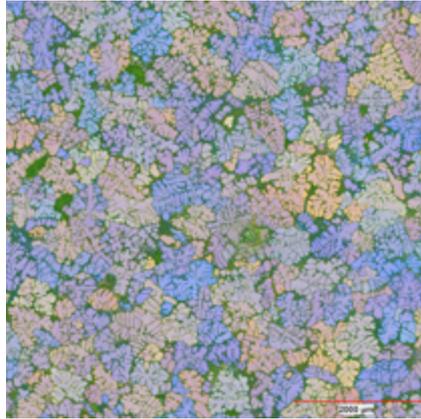


Fig. 6 : Microstructure après affinage, attaque Baker, 291 grains/cm²

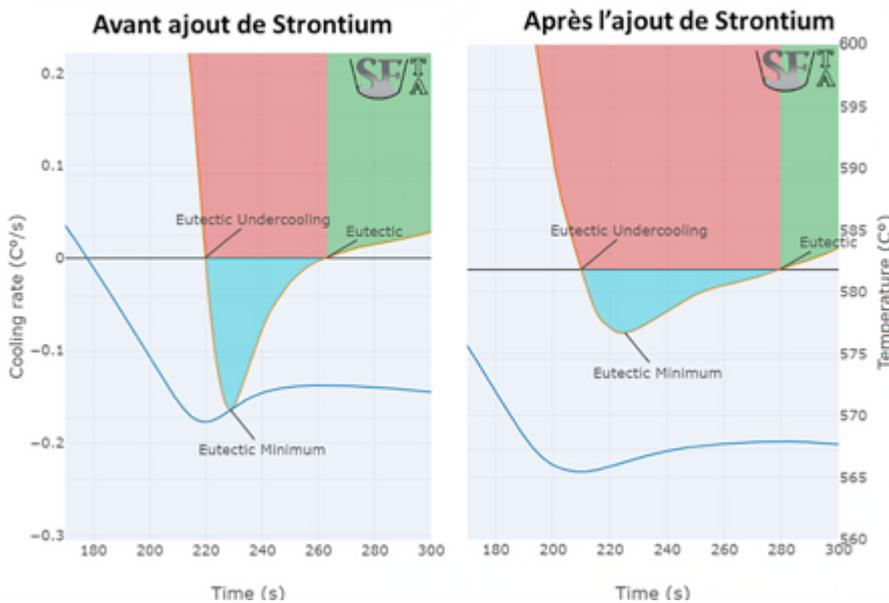


Fig. 7 : Effet de la modification sur la courbe d'analyse thermique d'un échantillon AlSi7Mg_{0.3}. Zoom sur l'eutectique

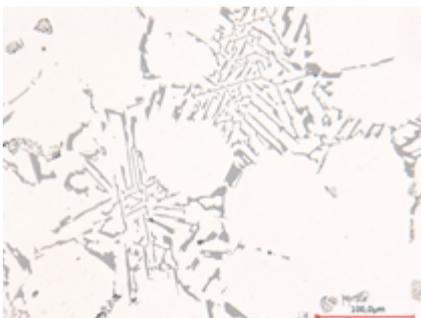


Fig. 8 : Microstructure avant modification - 400X

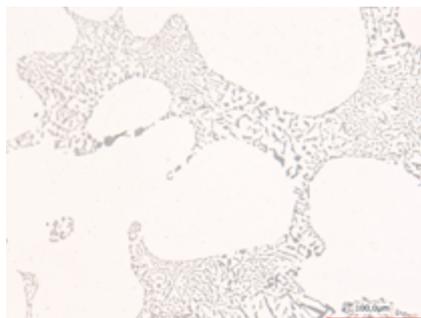


Fig. 9 : Microstructure après modification - 400X

De son côté, l'ajout d'agents modifiants de la structure eutectique comme le strontium ou le sodium, réduit la température de l'eutectique (figure 7). Surtout, la modification va changer la morphologie du silicium eutectique d'aciculaire à fibreuse (figure 8 et 9). Ajouter trop de strontium peut toutefois conduire à la formation de porosités et à des phénomènes de ségrégation. C'est la raison pour laquelle il est essentiel de bien maîtriser cette opération en ajoutant la juste quantité d'agent modifiant pour obtenir l'effet désiré.

>>> CONCLUSION

L'analyse thermique avancée permet de mesurer la qualité métallurgique avec une plus grande sensibilité que les systèmes classiques. Cet outil est un allié pour les fonderies modernes qui souhaitent être stables et produire des pièces de bonne qualité. En complément avec la simulation de solidification et de bonnes pratiques, cela permettra de trouver plus rapidement les conditions de fabrication optimales.

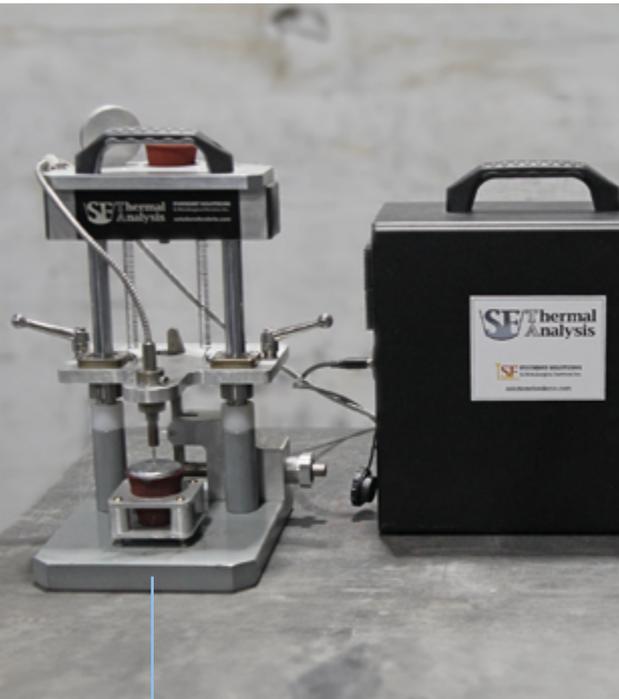
Références

1. Best practice in Aluminum Metalcasting, Chapter 9 Thermal Analysis, Geoffrey K.Sigworth, ASM International, 2014
2. Microprocessor Assisted Thermal Analysis Testing of Aluminum Alloy Structures, J.Charbonnier, Aluminum Pêchiney, France
3. Effect of Zr addition on solidification characteristics of Al-Zn-Mg-Cu alloy using thermal analysis, S.Mostafapoor, M.Malekan, Hungary- Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, <https://doi.org/10.1007/s10973-018-7426-1>
4. Thermal Analysis of Aluminum Alloys, Chapter in Encyclopedia of Aluminum and its Alloys, two-volume set, 2018, CRC press, Daniel Larouche PhD, Laval University



Yohan TREMBLAY et François AUDET // Solutions Fonderie Services Métallurgique Inc.

MAITRISEZ VOTRE MÉTALLURGIE AVANT LA COULÉE ET VALIDEZ VOS PROCESS

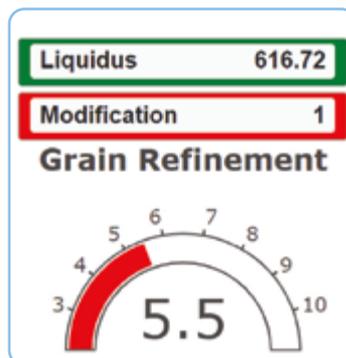


SFTA Analyse Thermique

Aluminium Martigny France commercialise l'analyse thermique SFTA

Grâce à une approche innovante, validez :

- Le niveau d'affinage de votre alliage
- Le niveau de modification de votre alliage (pour les Al Si)
- La détection des phases en présence (Mg₂Si, Al₂Cu et autres intermétalliques)
- La courbe de fraction solide nécessaire pour votre logiciel de simulation de solidification
- Obtenez des propriétés mécaniques constantes après le traitement thermique
- Interface moderne et conviviale, compatibilité avec votre ERP



Designing high-quality cast aluminium series sustainably

Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik GmbH is a manufacturer of green sand moulding systems and casting machines for ferrous materials and aluminium. Through technology transfer and further development in the SINTO concert, HWS offers a wide range of tilting moulding and low-pressure casting machines.

The foundry industry is changing, especially for energy-intensive production such as aluminium foundries. Larger components, so-called GIGA casting, flexibility and constant quality improvements present foundries and equipment manufacturers with new challenges every day.

Energy efficiency, ergonomics and productivity are parameters that have a major influence on the design and layout of production machines. Sinto offers a range of diverse machines and systems for this purpose.

>>> PLS-I

SINTO developed the PLS tilting casting machine to produce high-quality castings in medium series. Adjustable tilting angles of the machine from 0° to 105° and tilting speeds of up to 30° per second, together with a tilting movement of the sprue ladle, which can work independently or synchronously, ensure improved and smooth mould filling. The innovative combination of rotary movement around the centre of gravity of the mould and the independent tilting movement of the sprue ladle can reduce the introduction of oxide into the casting and thus improve quality.

Furthermore, there is potential for optimisation that can be used for the sprue and casting runs, thus this saves on circulation material and reduces component costs.

The basic work sequence, as shown in Fig. 1, is

the preparation of the mould (A), followed by closing the mould and pouring the molten metal into the sprue ladle (B), followed by the tilting movements and filling the mould with subsequent cooling (C). At the end of the cycle, the machine is turned back to the starting position and opened so that the casting can be removed.

Movements, such as the tilting movement, are efficiently controlled with intelligent drive concepts for the individual axes using Siemens Motion Control and servo technology controlled.

>>> PLS +

The PLS+ tilting casting machine has been developed to combine ergonomics, productivity and efficiency. To make work steps such as finishing, core insertion and casting removal as ergonomic as possible for the

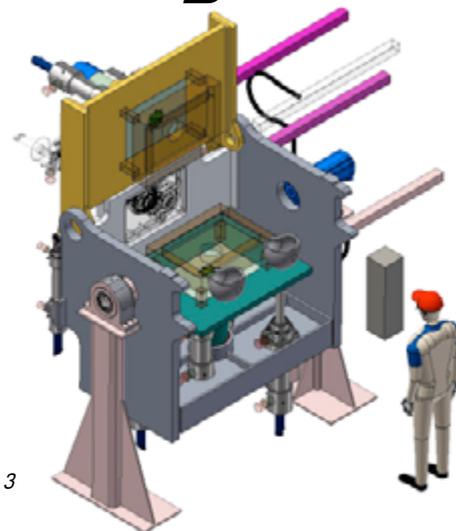


Fig. 3

machine operator, the PLS+ is equipped with a variety of options for integrating core pulls, ejector plates, etc. (Fig. 3). A tilting angle of 120° enables largely turbulence-free filling of the mould. Adapted to the respective customer requirements, the PLS+ represents a flexible option for taking special requirements into account.

>>> TIM-Y



Fig. 4

Planned as a concept study, the TIM-Y 3D tilt moulding machine offers the option of tilting both forwards and backwards as well as moving the moulds in lateral axes during the filling process. This patented type of mould filling is particularly suitable for high-quality castings such as automotive structural components, chassis components or high-density components. The new filling process offers previously unknown possibilities for optimising gating systems and saving costs. (Fig. 4)

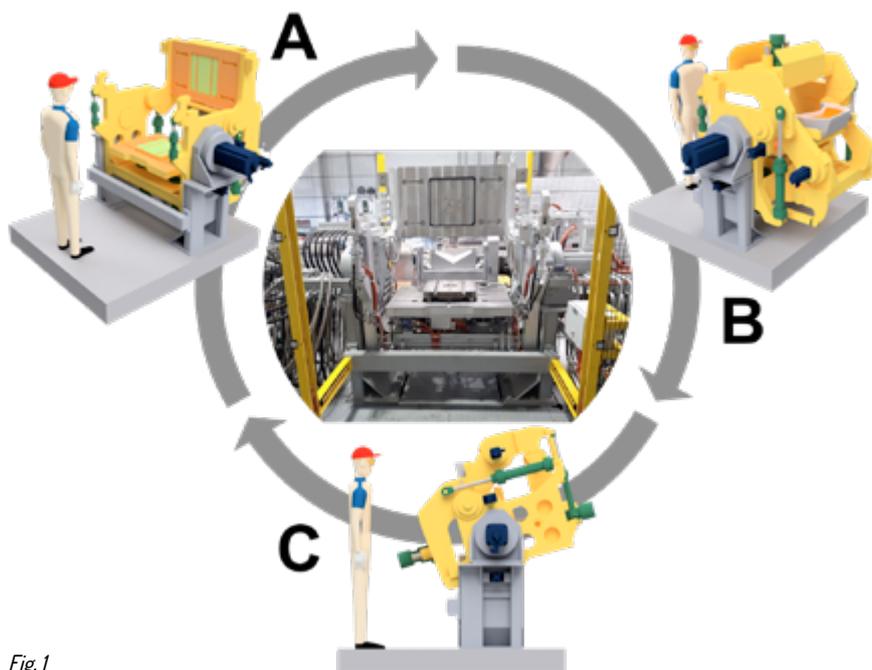


Fig. 1

>>> **LPD-II**

SINTO offers the LPD-II low-pressure moulding machines especially suitable for large series components (GIGACasting). (Fig. 5) SINTO's well-known robust design offers the possibility of using moulds up to 2000x1400 mm or several smaller moulds in multiple use.

Combined with a multi-chamber furnace, mould filling is possible via several sprue systems. It is also possible to refill the aluminium alloy during the casting phase with the multi-chamber furnace used.

Alternatively, the use of conventional crucible furnaces is possible.

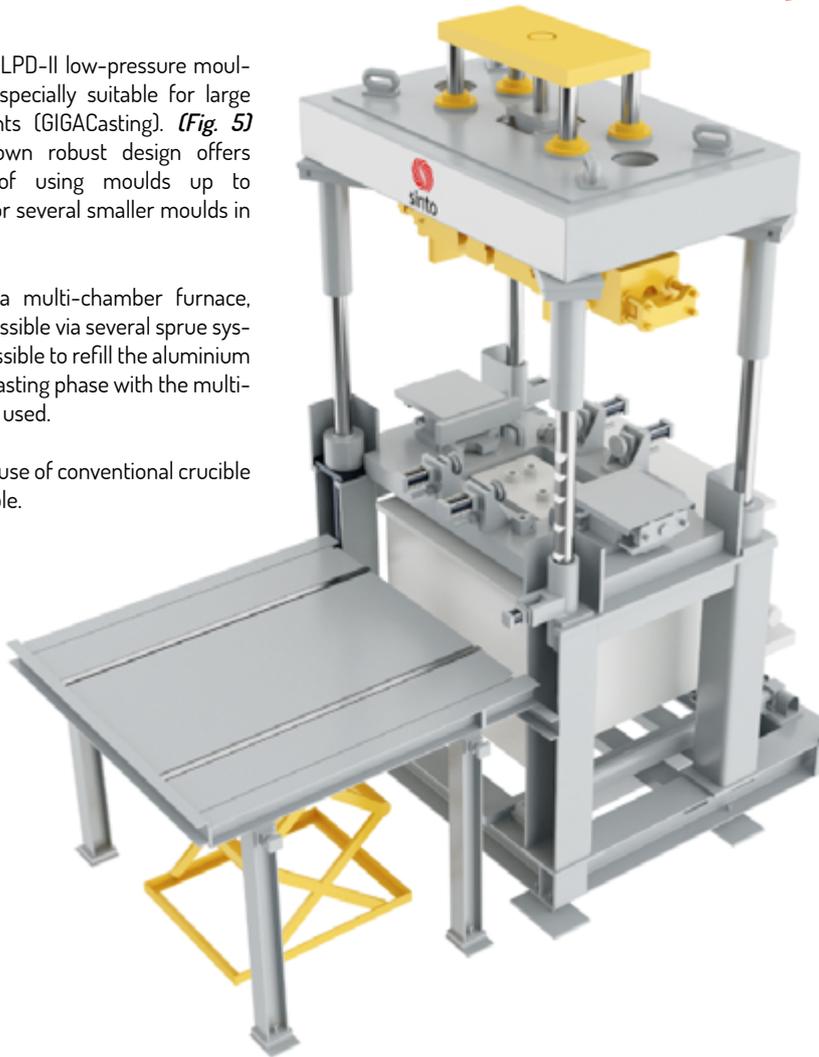


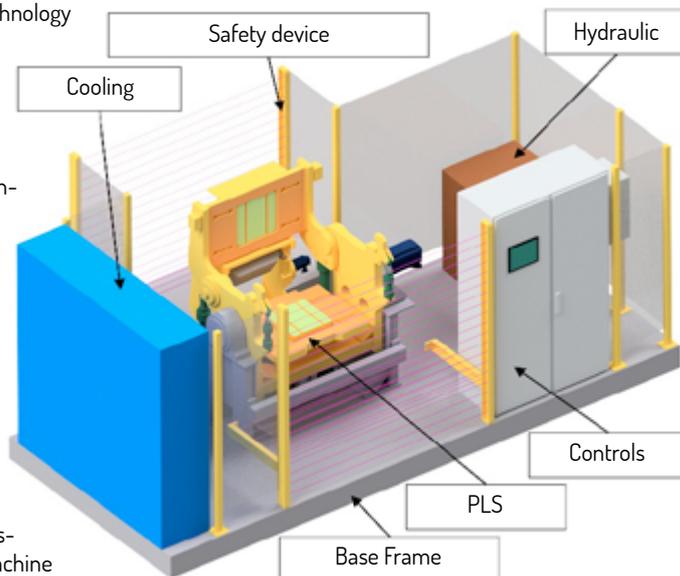
Fig. 5

The wide range of aluminium gravity die casting machines is completed by the unique HWS control concept. Together with the developed man-machine interface, this creates a production system with an intuitive operating concept and simple process control, without compromising on safety for man and machine. Comprehensive sensor technology and software solutions through to mobile real-time monitoring via HWS SmartDashboard and the A.L.S. plant control system for improved transparency, data acquisition and traceability of production information are available if required.

In addition to semi-automated operating concepts, automatic loading and unloading solutions for the mould and the melt supply are also possible. The compact and powerful machine units at the heart of the customised production concepts can be expanded on a modular basis and integrated into existing and new system concepts. From the individual machine to compact plug-and-play complete solutions

on a transportable base frame (see Fig. 2) to the complete solution for an automated moulding cell, the concept is tailored to the respective requirements profile. Fig. 2.

Fig. 2



HEINRICH WAGNER SINTO
Maschinenfabrik GmbH

Heinrich Wagner Sinto Maschinenfabrik GmbH is part of the globally active Sintokogio Group, with approx. 4000 employees. Sintokogio is one of the leading manufacturers of foundry machines and products with an annual turnover of approx. 800 million US dollars.

Stefan ERMERT ///////////////
Heinrich Wagner Sinto
Maschinenfabrik GmbH

Améliorer les performances des creusets dans les applications non ferreuses

Les creusets sont essentiels pour améliorer l'efficacité énergétique et les performances environnementales des opérations de coulée de métaux non ferreux. Les progrès technologiques ont permis d'améliorer leurs performances thermiques et leur durée de vie. Cependant, une installation et un fonctionnement corrects sont essentiels pour maximiser ces avantages.



>>> INTRODUCTION

Les creusets ont trois fonctions qui se chevauchent dans la fonderie de métaux non ferreux :

- Fusion.
- Maintien du métal fondu à une température donnée.
- Transfert du métal fondu dans la zone de coulée.

La fusion et le maintien du métal consomment 60 % de l'énergie d'une fonderie et représentent 40 % de ses coûts. Améliorer l'efficacité de ces processus réduit coûts et impact environnemental. Cependant, optimiser le creuset est complexe : il doit conduire la chaleur pour fondre le métal et l'isoler pour maintenir la température. Les creusets varient en taille, compliquant la normalisation. La performance et la durabilité dépendent des propriétés thermomécaniques, des matériaux, de la fabrication et de la manipulation. La diversité des pratiques industrielles complique le lien entre efficacité du four et creuset. La formation des opérateurs et le respect des meilleures pratiques sont donc essentiels.

La plupart des creusets de coulée de métaux non ferreux sont fabriqués à partir de graphite lié à l'argile ou de carbure de silicium lié à la résine. Les améliorations techniques apportées à leur production, telles que l'ajustement du processus de fabrication, la modification de la recette du matériau et l'ajout d'émaux ou de revêtements, peuvent améliorer l'efficacité énergétique, la durée de vie et la résistance à l'oxydation.

>>> AMÉLIORER LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE : CREUSETS ENERTEK²

Les creusets ENERTEK sont conçus pour assurer l'efficacité thermique lors de la fusion et du maintien. Initialement développés pour l'aluminium, ils sont désormais adaptés au zinc, aux métaux précieux et au cuivre. Les principaux avantages de la gamme de produits ENERTEK sont les suivants :

- **Réduction de la consommation d'énergie** lors de la fusion et du maintien en température grâce à :
 - > Matériaux réfractaires de haute

qualité qui maximisent la conductivité thermique.

> Pressage isostatique qui améliore la densité.

- La **conductivité thermique maintenue** dans le temps garantit une efficacité durable.
- **Durée de vie maximale et économies d'énergie** grâce à un bon équilibre entre la conductivité thermique de base et la stabilité des réfractaires dans le temps.
- **Réduction de l'empreinte carbone** grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique et à la baisse de la consommation d'énergie qui en résulte.

Dans les applications de coulée de l'aluminium, les creusets ENERTEK standard peuvent être utilisés dans tous les fours de fusion et de maintien, en particulier les électriques, ce qui permet de réaliser des économies d'énergie de l'ordre de 5 % à 15 % et de réduire les variations de température. Par exemple, dans un four à arc électrique à 677 °C, le creuset ENERTEK a montré un delta de température de seulement 26 °C.



Creuset ENERTEK ZnO

Les creusets **ENERTEK ZnO** sont conçus pour la production d'oxyde de zinc et de poussière de zinc, à une température d'environ 1000 °C. Ils offrent une conductivité thermique et une durabilité élevées pour garantir une efficacité thermique optimale, ce qui permet de réaliser des économies d'énergie en réduisant la consommation d'énergie par tonne d'oxyde de zinc produite. Les producteurs d'oxyde de zinc ont également signalé une production d'oxyde de zinc plus élevée par équipe grâce au transfert de chaleur supérieur des creusets ENERTEK ZnO. Disponibles dans des formes et des capacités standard, ils s'adaptent à la plupart des fours à creuset sans modification.

Outre les solutions **ENERTEK standard** pour l'aluminium et le zinc, la gamme de produits a été mise à jour en 2022 avec l'introduction des creusets **ENERTEK ISO** pour la fusion par induction et la coulée continue, et **ENERTEK ATL** pour le transfert de l'aluminium.

Les creusets **ENERTEK ISO** sont des creusets isolants "duplex" dotés d'un revêtement isolant Vesuvius de 12 mm qui abaisse la conductivité thermique de 25-30 W/mK à moins de 2 W/mK. Ce revêtement améliore les performances des fours à induction et de



Creuset ENERTEK ISO

la production continue de cuivre en réduisant les températures des fours de plus de 60 °C, en améliorant la durée de vie des creusets, en augmentant le nombre de coulées et en réduisant les taux de rebuts.

Les creusets **ENERTEK ATL**, qui utilisent le même revêtement isolant Vesuvius, réduisent les besoins de préchauffage de la poche de coulée et abaissent la perte de température de la matière fondue à 1,5°C par minute, contre 2 °C à 3°C avec les poches de coulée standard. Ils nécessitent également un entretien minimal, améliorent la qualité de la fusion et réduisent l'accumulation d'oxydes et les dégagements gazeux pendant le transfert de l'aluminium. Les creusets ENERTEK ISO et ENERTEK ATL sont disponibles dans une large gamme de configurations et de tailles.



L'équipe MAHLE et FOSECO après le déchargement du creuset d'essai.

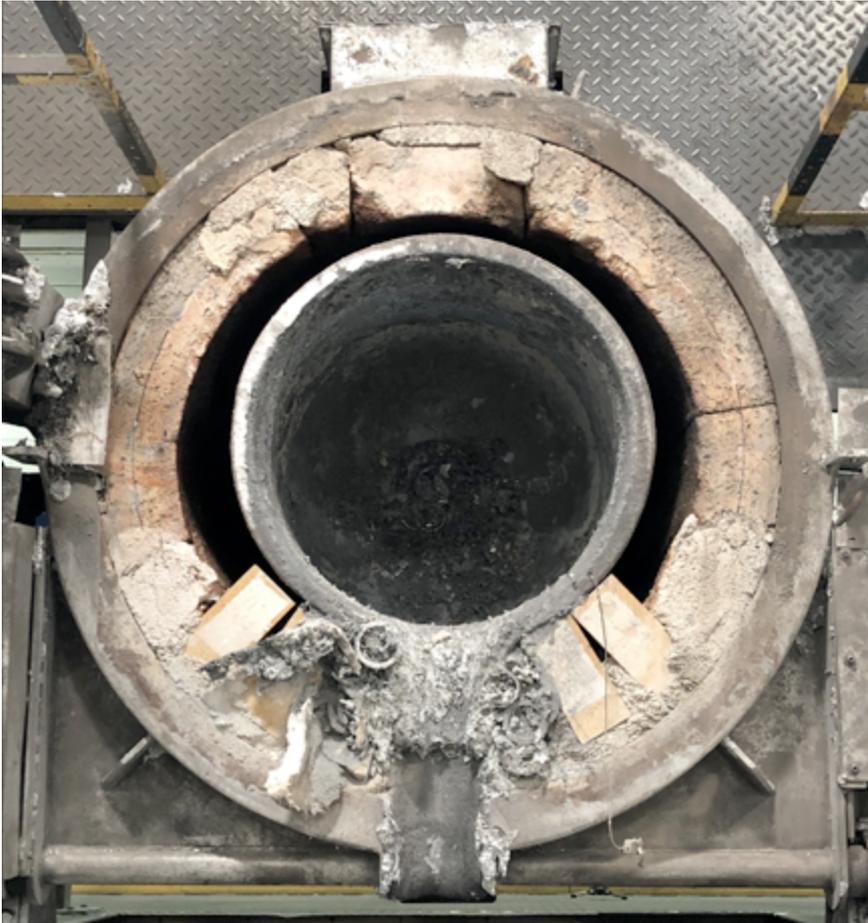
>>> AMÉLIORER LA DURÉE DE VIE : CREUSETS DURATEK

Les creusets **DURATEK**, fabriqués par pressage isostatique à haute pression, comprennent les modèles **DURATEK PM** et **DURATEK SUPERMELT**, tous deux conçus pour une durée de vie prolongée dans des conditions difficiles.

Les creusets **DURATEK PM** sont fabriqués à partir de carbure de silicium lié à une résine, offrant une densité, une conductivité thermique élevées, ainsi qu'une faible porosité et une excellente résistance aux attaques chimiques et à l'oxydation. Ils conviennent à une grande variété d'alliages, y compris l'aluminium, le cuivre et les métaux précieux, et fonctionnent de manière fiable dans des environnements agressifs tels que l'affinage de l'or avec du chlore gazeux.

Les creusets **DURATEK SUPERMELT** sont conçus pour la fusion de l'aluminium et offrent une durée de vie plus longue dans des conditions difficiles comme celles des fours à gaz. Ils augmentent considérablement la durée de vie, de 740 à 1284 cycles chez Mahle, et offrent des propriétés mécaniques améliorées et une oxydation réduite.

Les deux types de creusets garantissent des performances constantes, minimisent le besoin de changements et réduisent les temps d'arrêt.



Le DURATEK Supermelt après 1284 charges de fusion.

>>> ENTRETIEN DES CREUSETS : MEILLEURES PRATIQUES POUR OPTIMISER SÉCURITÉ ET DURÉE DE VIE

Outre les améliorations techniques, une bonne installation et un fonctionnement adéquat du creuset sont cruciaux pour sa durée de vie. Les meilleures pratiques sont :

- Inspection du creuset à la réception.
- Stockage dans un endroit sec.
- Manipulation à l'aide d'un chariot à main - éviter de rouler ou de caler.
- Utiliser le bon support (fromage), fabriqué dans le même matériau et de la même taille.
- Permettre au creuset de se dilater et de se contracter naturellement ; éviter le coincement.
- Prévenir l'étouffement par le haut en s'assurant que le couvercle du four ou la couverture en fibres ne repose pas sur le creuset ou ne le comprime pas.
- Entretien du revêtement du four afin d'éviter la déviation de la flamme et d'assurer une bonne fusion.
- Charger le creuset avec précaution afin d'optimiser la capacité et d'éviter les

dommages.

- Utilisation d'une flamme légèrement oxydante sans contact direct avec le creuset.
- Soutenir le fond du creuset à l'aide de tiges bien ajustées.
- Suivre les instructions du fabricant pour les flux (désoxydation, écrémage, ...) et les ajouter au métal en fusion.
- Maintenir le creuset propre en enlevant soigneusement les scories lorsqu'il est encore chaud.

>>> CONCLUSION

Améliorer l'efficacité énergétique du processus de coulée réduit les coûts, les émissions de carbone et les défauts. Les creusets sont cruciaux, avec des avancées techniques récentes. Le respect des meilleures pratiques d'installation, d'exploitation et de maintenance est essentiel pour maximiser ces avantages.

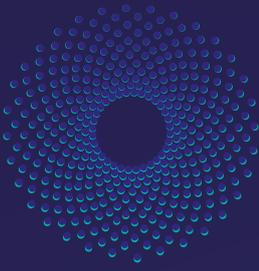
Références

1. K. Salonitis, B. Zeng, H.A. Mehrabi, M. Jolly, «The challenges of energy efficiency casting processes», Procedia CIRP 40 (2016), pp. 24-29 (p.28).
2. Pour en savoir plus sur les creusets ENERTEK, voir : Energy efficiency considerations for aluminium and zinc crucibles, livre blanc de Foseco (2021), p. 5.



Danièle UNG - FOSECO ///////////////
European Product Manager Crucible
daniele.ung@vesuvius.com





Laempe + Fischer

Fournisseur d'équipement pour fonderie depuis 1982

Z.I 1 rue Bartholdi
BP 20032
F-68190 Ensisheim
+ 33 (0) 3 89 81 18 38
info@laempefischer.fr
www.laempefischer.fr

Vous avez tous les atouts en main pour réussir !

Et plus encore...



- ▶ Stockage et transport de sable
- ▶ Malaxage
- ▶ Noyautage
- ▶ Traitement amines & SO₂

- ▶ Moulage
- ▶ Fusion et machine de coulée
- ▶ Décochage et convoyage
- ▶ Refroidissement

- ▶ Tri, régénération et recyclage du sable
- ▶ Parachèvement
- ▶ Automatisation



L'AGENDA 2024 DES FORMATIONS

Cyclatef®

FORMATION FONDERIE

INSCRIVEZ-VOUS
DIRECTEMENT À
UNE FORMATION

Fontes à graphite sphéroïdal

du 8 au 10 octobre (Le Mans)

Fonderie sous pression

du 19 au 21 novembre (Amiens)

Moulage de précision à la cire perdue

du 26 au 28 novembre (Toulouse)

Management des ateliers

du 3 au 5 décembre

Fonderie d'art et d'ornement

du 10 au 12 décembre

Défauts en fonderie d'alliages d'aluminium coulés
par gravité, basse pression, contre pression :
diagnostics et solutions

du 17 au 19 décembre (Brive-la-Gaillarde)

> 2025

Fours à induction

du 4 au 6 février (Laxou)

Initiation aux bases de la fonderie

du 11 au 14 mars (Creil)

Utilisation des données 3D pour la mise au point
en fonderie

du 18 au 20 mars (Metz)

Les aciers moulés : métallurgie, élaboration
et traitements thermiques

du 1 au 3 avril (Rouen)

Sables à prise chimique

du 13 au 15 mai (Châteaubriant)

Usage des réfractaires en fonderie

du 21 au 23 mai (Toulouse)

Défauts et imperfections en fonderie de fonte

du 3 au 5 juin (Saverne)

Élaboration métallurgique et traitements
thermiques des alliages d'aluminium moulés

du 17 au 19 juin (Châteauroux)

Réaliser un audit en fonderie

du 24 au 26 juin (Sablé-sur-Sarthe)

Défectologie et imperfections en fonderie d'aciers

du 9 au 11 septembre (Montbéliard)

Sables à vert

du 16 au 19 septembre (Vénissieux)

Fontes à graphite sphéroïdal

du 7 au 9 octobre (Saint-Quentin)

RÉFÉRENCE

Cyclatef® : Fontes à graphite sphéroïdal► **Public concerné & prérequis**

Prérequis : Tout niveau, mais un vernis/une connaissance « métallurgie fonte » serait un plus.

Public concerné : Toute personne œuvrant ou qui agira dans la métallurgie des fontes à graphite sphéroïdal. Dans tous les cas, les animateurs adapteront leurs présentations. Cependant, un niveau technicien ou opérateur confirmé serait un plus. Les ingénieurs et chefs de service ou de département sont également concernés.

► **Objectifs**

- Connaître, anticiper et comprendre les fontes à graphite sphéroïdal avec leurs mécanismes de solidification mais aussi appréhender les causes possibles des défauts sur les pièces.
- Définir et tester les recommandations techniques en vue d'obtenir les caractéristiques mécaniques requises par le client final.
- Donner aux participants, non pas une recette, mais des approches techniques et pratiques pour réussir à produire des pièces en fonte conformes aux cahiers de charges de votre client.

► **Méthodes & moyens pédagogiques**

Méthodes : magistrales, interrogatives, démonstratives, interactives.
Moyens : tableau blanc, paperboard, vidéoprojecteur, support de cours.

► **Synthèse du programme**

- Les fontes, la fonte à graphite lamellaire, la fonte à graphite sphéroïdal, leurs développements actuels ; toutes les nuances de fontes GS avec ou sans traitements thermiques seront abordées.

- Revue des fontes GS spéciales type Ni-resist, ADI, fortement alliées ou à hautes caractéristiques à basse ou haute températures mais aussi les fontes GL spéciales.
- Germination et croissance du graphite, recarburisation, fusion, inoculation, traitements du métal liquide, solidification, refroidissement, traitements thermiques d'optimisation ou de correction.
- Traitements thermiques des fontes, diagrammes et revue des procédés et processus de TTH.
- Défauts métallurgiques spécifiques aux fontes GS : une heure sera allouée à l'analyse des défauts ou à quelques études de cas des participants.

► **Suivi des formations & appréciations des résultats**

Moyens de suivi : Feuille d'émargement signée par demi-journée et attestation de fin de formation plus certificat de réalisation.

Moyens d'évaluation mis en œuvre : la validation des acquis peut se faire via des études de cas, des quizz, tout au long de la formation et à la fin.

DURÉE : 3 jours

LIEU : Nous consulter

PRIX HT (TVA 20%) : 1500 €

ANIMATEURS : X. MENNUNI, J.P. CHOBAUT, G. ALLART

TÉLÉCHARGEZ
LE CATALOGUE DES
FORMATIONS 2024

Cliquer
sur les fiches
pour les afficher.

Les dates peuvent
évoluer, merci de nous
consulter. Les formations
sont assurées tant en
présentiel qu'à distance,
en inter comme en intra
entreprise.

RÉFÉRENCE

Cyclatef® : Fonderie sous pression

NOUVEAU

► **Public concerné**

Public concerné : Ingénieurs et techniciens de bureau d'études fonderie, responsables et techniciens de production fonderie, clients de la fonderie.

► **Objectifs**

- Connaître et maîtriser les règles de conception d'un moule de fonderie sous-pression. Assurer le suivi de la réalisation d'un moule en interne ou en sous-traitance.
- Optimiser la durée de vie en adoptant une démarche rationnelle de conception et d'utilisation d'un outillage.
- Connaître les problèmes liés au moule (remplissage, déformation pièce) et savoir y remédier.
- Enjeux : réduire les coûts d'exploitation et améliorer les conditions de mise en fabrication.

► **Méthodes & moyens pédagogiques**

Méthodes : En présentiel. Le formateur alterne entre méthodes démonstrative, interrogative, active et participative.

Moyens : Présentations Powerpoint, tableau « blanc », « questions-réponses », échanges multiples durant les pauses, tour de table en début et fin de stage, visite d'usine pour avoir de visu la pratique recommandée durant les exposés.

► **Synthèse du programme**

- Principe de la fonderie sous-pression (vitesse, pression, précision dimensionnelle) et positionnement par rapport aux autres procédés de fonderie (sable, coquille). Les éléments constitutifs d'un moule (carcasse, empreinte, tiroir, partie fixe et mobile, buse et conteneur).
- Cahier des charges, prix de moule et dégradation des moules.

- Les aciers (5% de chrome et spéciaux), traitements thermiques et traitements de surface (Tenifer...).

- Conception du moule :

- dimensionnement des moules (en fonction de la pièce et de la machine).

- sens de moulage (pièce, éjection, refroidissement).

- mécanisation (tiroir, jeux fonctionnels, vérins, crémaillère, doigt de démoulage) et sécurité.

- système d'éjection (éjecteur, batterie).

- thermique (refroidissement et thermorégulation, canaux et puits).

- fabrication.

- Démarrage, entretien et durée de vie :

- cahier de suivi des outillages, préchauffage (brûleur, thermorégulation), réparation des outillages (procédure de soudure).

- Etude de cas concrets par les stagiaires pour mise en application des règles de conception. Illustrations concrètes et pratiques : Consulter nos sites Internet.

► **Suivi des formations & appréciations des résultats**

Moyens de suivi : Feuille d'émargement signée par demi-journée et attestation de fin de formation plus certificat de réalisation.

Moyens d'évaluation mis en œuvre : la validation des acquis peut se faire via des études de cas, des quizz, tout au long de la formation et à la fin.

DURÉE : 3 jours

LIEU : Nous consulter

PRIX HT (TVA 20%) : 1500 €

ANIMATEUR : A. LE NEZET

RÉFÉRENCE

Cyclatef® : Le moulage de précision à la cire perdue► **Public concerné & prérequis**

Prérequis : Niveau Bac ou équivalent.

Public concerné : Ingénieurs, techniciens de BE, acheteurs.

► **Objectifs**

- La cire perdue, pourquoi ?
- Connaître le mode opératoire de ce type de moulage.
- Connaître les limites et contraintes des procédés de moulage à modèles perdus, et plus spécifiquement à la cire perdue.
- Apporter un savoir-faire en termes de tracé des pièces.

► **Méthodes & moyens pédagogiques**

Méthodes : magistrales, interrogatives, démonstratives, interactives.
Moyens : tableau blanc, paperboard, vidéoprojecteur, support de cours.

► **Synthèse du programme**

- Le moulage de précision, ses origines.
- Les divers types de moulage (lost foam, cire perdue, carapace, moule bloc...).
- Le principe de fabrication.
- Les outillages.
- L'injection des cires, et le montage des grappes.

- Le déirage et la cuisson des moulages.
- Les métallurgies concernées et la coulée des alliages.
- La finition et le contrôle des pièces de fonderie.
- Les recommandations de tracé.
- Les défauts spécifiques à ces procédés de moulage.
- Illustrations concrètes et pratiques en entreprise.

► **Suivi des formations & appréciations des résultats**

Moyens de suivi : Feuille d'émargement signée par demi-journée et attestation de fin de formation plus certificat de réalisation.

Moyens d'évaluation mis en œuvre : la validation des acquis peut se faire via des études de cas, des quizz, tout au long de la formation et à la fin.

DURÉE : 3 jours

LIEU : Nous consulter

PRIX HT (TVA 20%) : 1500 €

Qualiopi
processus certifié

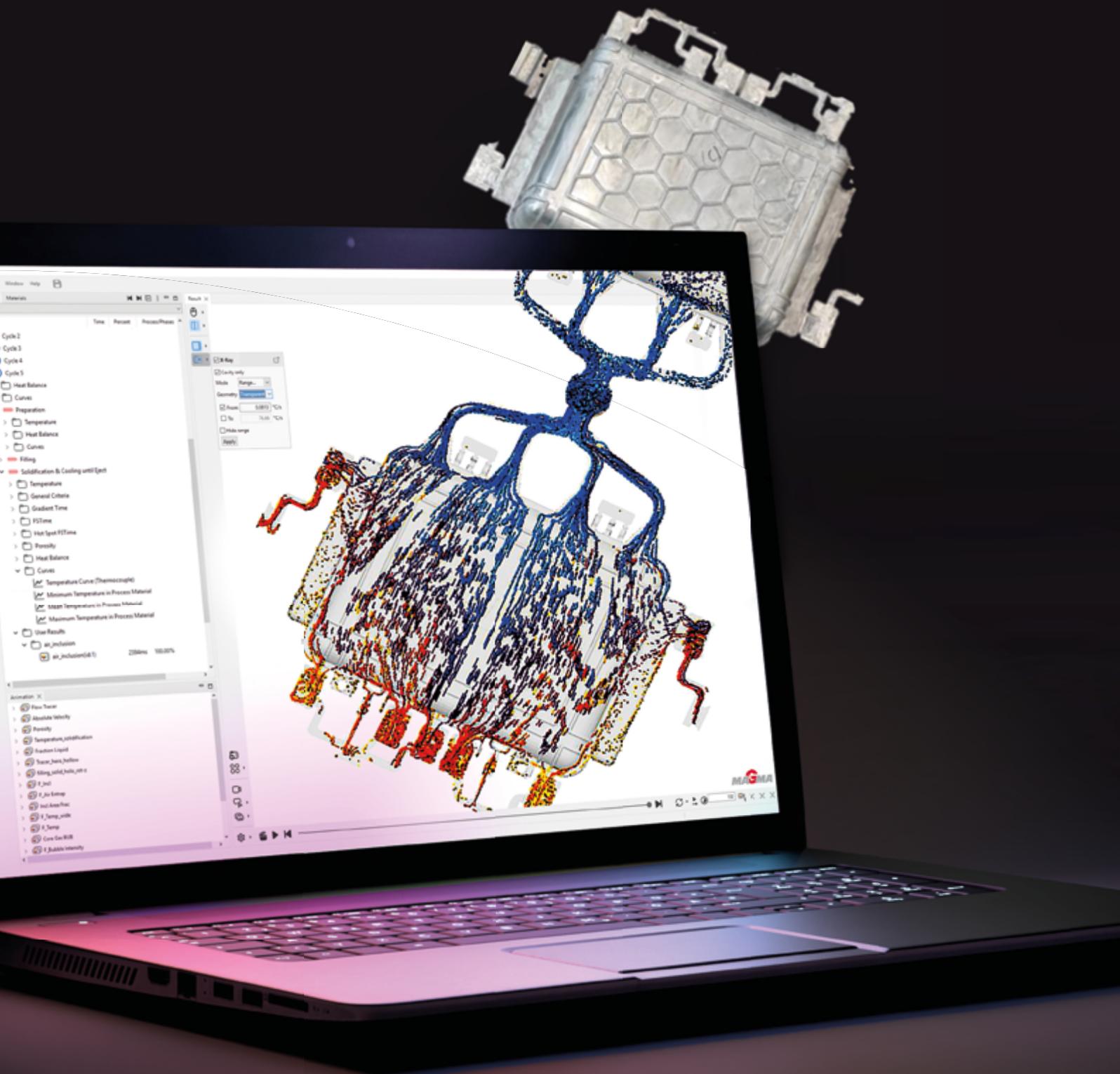
REPUBLIQUE FRANÇAISE

La certification qualité a été délivrée au titre de la catégorie d'action suivante :

ACTIONS DE FORMATION

Casting Knowledge. In a Software.

MAGMA
Committed to Casting Excellence



Curieux?



Évaluer le potentiel du
thixomoulage du magnésium!



MAGMASOFT[®]
autonomous engineering

Interdiffusion réactive rapide entre le laiton solide et l'aluminium liquide

Vanessa Glück Nardi ^{a,*}, Thomas Greß ^b, Babette Tonn ^a, Harald Schmidt ^c, Wolfram Volk ^b

^a Clausthal University of Technology, Institute of Metallurgy, Department of Foundry Technology, Robert-Koch-Str. 42, 38678, Clausthal-Zellerfeld, Germany

^b Chair of Metal Forming and Casting, Technical University of Munich, Waltherr-Meißner-Straße 4, 85748, Garching, Germany

^c Clausthal University of Technology, Institute of Metallurgy, Solid State Kinetics Group, Robert-Koch-Str. 42, 38678, Clausthal-Zellerfeld, Germany

Les mécanismes de formation des couches intermétalliques et le développement de l'interface entre le laiton solide et l'alliage d'aluminium fondu ont été étudiés expérimentalement en utilisant des couples de diffusion solide-liquide semi-infinis. Le recuit isotherme de couples de diffusion CuZn37 - AA7075 commerciaux a été effectué pour les températures sélectionnées de 650 °C, 660 °C, 680 °C et 700 °C, pour trois durées de recuit de 10s, 20s et 40s, suivies d'une trempe. Quelle que soit la température, l'interface était constituée de trois couches intermétalliques qui sont des produits de réaction tels que définis dans le diagramme de phase Al-Cu-Zn. Afin d'expliquer le comportement de croissance et de mieux comprendre les mécanismes de formation de l'interface, la thermodynamique de l'Al-Cu-Zn a été étudiée par CALPHAD (calcul des diagrammes de phase). Sur la base de ces résultats ex situ, trois phénomènes distincts ont été observés. Premièrement, les couches intermétalliques se dissolvent simultanément dans l'alliage d'aluminium fondu lorsque le temps de recuit dépasse 40 secondes. Deuxièmement, les parties de la couche intermétallique qui sont en contact avec l'aluminium fondu se détachent de la région d'interface en direction de l'alliage d'aluminium fondu, ce qui entraîne une diminution de l'épaisseur de la couche et une déviation de la géométrie de type planaire. Troisièmement, la formation des trois couches intermétalliques est exclusivement le résultat d'interactions solide-liquide suivies d'une trempe. Des études antérieures ont montré que l'interface entre le laiton solide et l'aluminium fondu était désordonnée, ce qui résulte d'interactions dans l'état solide-solide en raison de faibles vitesses de refroidissement. En conséquence, le concept de couches intermétalliques primaires a été introduit pour décrire la formation de l'interface lors du contact entre le laiton massif et l'alliage d'aluminium en fusion.

INTRODUCTION

Les phénomènes de dissolution et de diffusion thermiques aux interfaces métal solide-liquide sont couramment observés dans les processus de production de maté-

riaux hybrides, tels que le soudage [1], le revêtement, la coulée multi-matériaux [2-6] et la technologie d'impression 3D [7]. Il est essentiel de pouvoir combiner différents matériaux pour répondre aux exigences fonctionnelles et environnementales toujours plus grandes des composants conçus pour suivre les progrès de l'ingénierie. Le défi de la production de ces composants réside dans l'obtention d'une liaison solide entre les pièces composées de matériaux différents. Lorsque des matériaux différents sont en contact les uns avec les autres (à l'exclusion des solutions solides), des phases intermétalliques apparaissent dans certaines conditions dans la zone de transition d'un alliage à l'autre [8]. Par rapport aux alliages d'origine, les phases intermétalliques sont souvent très fragiles et leur formation et leur croissance peuvent détériorer l'application de la liaison [6]. Par conséquent, l'étude de la formation et de la croissance de ces couches intermétalliques dans la zone de transition est essentielle pour comprendre les facteurs pertinents qui affectent leurs mécanismes de formation. Ceci est essentiel pour s'assurer que le composant hybride répond aux exigences nécessaires pour l'application prévue.

La formation et la modification de la zone de contact sont déterminées par l'interaction entre la dissolution du métal solide dans l'alliage fondu, les réactions interfaciales et la diffusion globale [9-11]. La température à l'interface de contact et le temps de recuit à cette température jouent un rôle important dans l'évolution de la zone de transition [12]. Ces variables sont à leur tour influencées par les méthodes de fabrication et les paramètres du processus. Par conséquent, l'étude de l'effet isolé de la durée et de la température de recuit constitue la première étape pour permettre l'optimisation d'une méthode de fabrication hybride.

La bonne ouvrabilité et la conductivité thermique et électrique du laiton [13] combinées à la faible densité de l'aluminium [14] sont avantageuses pour la fabrication de produits de plomberie et d'électronique. Par conséquent, le désir de combiner les alliages d'aluminium et les alliages à base de CuZn a incité

les chercheurs à développer de nouveaux hybrides laiton/aluminium. Cette recherche présente donc une étude sur la formation et l'évolution de la zone de transition entre le laiton solide (CuZn37) et l'aluminium liquide (AA7075). Les recherches sont basées sur des expériences d'interdiffusion solide-liquide à des températures allant de 650 °C à 700 °C et des temps de recuit courts de l'ordre de 10s-40 s suivis d'une trempe.

Caractéristiques de l'interface

La compréhension des mécanismes de formation de l'interface entre le laiton et les alliages d'aluminium est encore limitée, comme en témoignent les quelques efforts de recherche investis dans l'étude détaillée de la zone de transition. Dans la plupart des cas, la zone de transition est composée de couches planes et d'une région de structures complexes à côté. La liaison par friction-soudure (FSW) de l'aluminium et du laiton a été étudié par Ref. [15]. Les auteurs ont utilisé une méthode sans verrouillage qui tend à réduire l'apport de chaleur, mais il a été observé que les structures interfaciales se développaient dans les processus d'assemblage solide-liquide en raison d'un apport de chaleur local élevé. En conséquence, les phases intermétalliques observées étaient θ -CuAl₂, γ -Cu₅Zn₈ et la phase ternaire τ' -Al₄₂Cu₃₂Zn_{0,7}. Un processus d'investigation courant pour l'assemblage solide-liquide est la coulée multi-matériaux, également appelée coulée composite, dans laquelle un substrat à l'état solide est mis en contact avec l'alliage en fusion. Ce contact intime à haute température entraîne une dissolution rapide du substrat solide et l'activation de processus de diffusion, ce qui provoque une réaction de surface à l'interface de deux matériaux dissemblables, donnant naissance aux couches intermétalliques. Dans Ref. [16], un processus de moulage composé centrifuge a été étudié pour produire un hybride laiton/Al.

Outre deux couches intermétalliques planes identifiées comme Al₂Cu₅Zn₄ et Al₃Cu₃Zn, une couche étendue de structures complexes était présente dans la zone de transition, résultant de la saturation en Cu et Zn de

l'aluminium fondu pendant la dissolution. Ces structures étaient des eutectiques primaires θ -CuAl₂, α -Al//AlZn et des eutectiques anormaux α -Al/ θ -CuAl₂. La microstructure interfaciale résultant d'un processus de moulage composé statique et semi-continu associant le laiton et différents alliages d'aluminium a été étudiée en détail par les auteurs actuels et est présentée dans la Réf. [3]. En conclusion, il a été suggéré que l'interface est principalement composée de couches planaires de β -CuZn, τ -Al₃Cu₅Zn₂, τ' -Al₄Cu₃Zn, η -AlCu et également d'une couche étendue avec des structures complexes, similaire à ce qui a été observé dans la Réf. [16]. En outre, les auteurs ont étudié les effets de différents alliages d'aluminium. Malgré la teneur plus élevée en Mg (jusqu'à 5,4 %) et en Zn (jusqu'à 5,4 %) dans les différents alliages d'aluminium, les structures de la zone de transition sont restées les mêmes. Cependant, les différents alliages ont produit des zones de transition d'épaisseurs différentes, ce qui révèle que le choix d'un alliage d'aluminium affecte directement les phénomènes cinétiques interfaciaux, même s'il a un impact mineur sur la préférence de précipitation des structures interfaciales, en particulier pour les phases intermétalliques planes. Dans Ref. [4], la production d'hybrides laiton/Al par coulée continue verticale a été étudiée. Les taux de refroidissement initialement rapides ont produit une zone de transition plus fine, contrairement aux résultats de [3]. Les auteurs ont également souligné l'existence d'une couche intermétallique plane, qui est une phase mélangée composée de β -Al₃Cu₅Zn₂ et de γ -Cu₅Zn₈. Contrairement à l'assemblage solide-liquide du laiton et de l'aluminium, le processus d'assemblage solide-solide donne lieu à un caractère d'interface complètement différent, avec des couches planes composées principalement d'intermétalliques β -CuZn et Al_x-Cu_y [1,17].

La littérature sur le caractère de l'interface et ses mécanismes de formation des hybrides laiton/Al est limitée. Les efforts les plus importants sont consacrés à la corrélation entre les paramètres d'un processus de fabrication spécifique et les structures finales dans la zone de transition, et peu de choses sont discutées concernant les mécanismes de formation. En général, les différents procédés de fabrication ne permettent pas de mesurer directement la température à l'interface de contact. Il est donc difficile de dévier des mécanismes de formation de l'interface des résultats disponibles dans la littérature, car la zone de transition présente un caractère désordonné avec différentes épaisseurs de couches et lois de croissance. Le **tableau 1** résume la combinaison de matériaux, la méthode et les structures interfaciales résultantes disponibles dans la littérature pertinente pour la recherche actuelle.

Tableau 1.
Résumé de la combinaison de matériaux, de la méthode et structures interfaciales observées

Author (year)	Materials		Method	Suggested intermetallic layers
	Aluminium	Brass		
Avettand-Fenoëla (2020) [15]	AA1050	70 % Cu 30 % Zn	Pinless friction stir welding	θ -Al ₂ Cu, γ -Cu ₅ Zn ₈ , τ' -Al _{4,2} Cu _{3,2} Zn _{0,7}
Gholami (2018) [16]	99.8% pure aluminium	65 % Cu 35 % Zn	Centrifugal Casting Process	Al ₃ Cu ₅ Zn ₄ , Al ₃ Cu ₃ Zn, θ -Al ₂ Cu + α -Al//AlZn eutectic + α -Al/ θ -Al ₂ Cu anomalous eutectic
Greß (2020) [3]	AA7075 AA5083 AA6060	63 % Cu 37 % Zn	Static die casting and semi-continuous casting	β -CuZn, τ -Al ₃ Cu ₅ Zn ₂ , τ' -Al ₄ Cu ₃ Zn, η ₂ -AlCu, α -Al/ θ -Al ₂ Cu anomalous eutectic
Greß (2021) [4]	AA7075	63 % Cu 37 % Zn	Vertical continuous casting	β -CuZn, τ -Al ₃ Cu ₅ Zn ₂ + γ -Cu ₅ Zn ₈ , τ' -Al ₄ Cu ₃ Zn, η ₂ -AlCu, α -Al/ θ -Al ₂ Cu anomalous eutectic
Esmaeili (2011) [1]	AA1050	70 % Cu 30 % Zn	Friction Stir welding	β -CuZn, θ -Al ₂ Cu, γ -Cu ₅ Al ₄
Timsit (1985) [17]	AA1350	70 % Cu 30 % Zn	Solid-solid diffusion couple	β -CuZn, θ -Al ₂ Cu, and no clearly identified Al _x Cu _y phases

Expériences de diffusion réactive solide-liquide

Pour comprendre comment l'influence de la température et du temps affecte la zone de transition, les échantillons à l'échelle du laboratoire jouent un rôle important. Dans Ref. [18], les phénomènes de réaction-diffusion entre le Cu solide et l'Al liquide ont été étudiés. Les auteurs ont préparé des échantillons colonnaires de chaque matériau et les ont encapsulés ensemble dans une capsule de silice. La capsule a ensuite été chauffée à la température voulue et trempée dans l'eau à la fin de la période de recuit. Un dispositif similaire a été utilisé pour étudier la diffusion réactive solide-liquide dans les références [19,20]. Dans la Réf. [21], un appareil pour les essais d'immersion a été construit pour étudier l'interaction cinétique entre l'aluminium fondu et le fer solide. L'appareil chauffe l'aluminium à la température voulue et préchauffe le fer séparément avant de l'immerger dans le bain d'aluminium. Les tests d'immersion ont également été utilisés dans les références [22,23] pour étudier la cinétique de la réaction interfaciale entre des interactions solide-liquide dissemblables. Un autre exemple est présenté dans Ref. [24], où un four à miroir a été adapté pour étudier la liaison métallurgique d'hybrides de cuivre et d'acier. Des études détaillées sur la diffusion réactive solide-liquide entre le laiton solide et l'Al liquide font encore défaut dans la littérature, malgré l'intérêt de combiner ces alliages par différentes techniques de fabrication, comme indiqué dans le tableau 1.

Mécanisme de formation des interfaces

Les mécanismes de formation d'interface entre métaux purs ont été largement étudiés par Dybkov [10,11,25,26]. Pour les mécanismes de formation d'interface solide-liquide dans les systèmes ternaires et d'ordre supérieur, la formation de l'interface devient très complexe. Des études ont été menées dans les références [27-29]. Au cours de l'interaction solide-liquide, des effets de dissolution communs sont observés dans la formation de la couche intermétallique. La dissolution et la croissance compétitives des phases intermétalliques au cours de la diffusion réactive solide-liquide ont été étudiées dans Ref. [11].

Dans [30], une méthode dite thermodynamique-cinétique a été proposée pour décrire les mécanismes de formation de l'interface. Dans cette méthode, la thermodynamique est étudiée pour révéler quelles phases peuvent se former à l'interface de contact ou pour clarifier les mécanismes de formation de l'interface, et la cinétique est étudiée pour apprécier la vitesse de formation de l'interface. De fait, il est essentiel de comprendre la thermodynamique du système Al-Cu-Zn pour étudier la formation de l'interface entre les différentes qualités d'alliages de laiton et d'aluminium, car la formation de l'interface entre eux donne lieu à des phases et à des structures de ce système ternaire, comme le résume le **tableau 1**. Pour mieux comprendre ces phases intermétalliques, le **tableau 2** pré-

Phase name	Temperature range (°C)
θ -CuAl ₂	≤591
γ -Cu ₅ Zn ₈	≤835
η_2 -AlCu	≤561
α -Al	≤660.5
α -Cu	≤1083
β -CuZn	566.7-1052
τ -Cu ₅ Zn ₂ Al ₃	≤740
τ' -Cu ₃ ZnAl ₄	<440

Tableau 2. Plage de température des phases stables dans le système Al-Cu-Zn communément trouvées comme produits de réaction à l'interface Laiton/Al.

sente leur plage de stabilité en température, d'après les références [31-34].

Des questions subsistent quant aux mécanismes impliqués dans la formation de l'interface entre l'aluminium et le laiton. A cet égard, le présent travail se concentre sur l'élucidation des effets de la température et du temps à l'interface entre un alliage d'aluminium liquide et un laiton solide, comme décrit dans les sections suivantes.

»» MATÉRIELS ET MÉTHODES

Échantillons

Les matériaux utilisés pour produire les échantillons hybrides sont l'alliage de laiton CuZn37 et l'alliage d'aluminium AA7075. Le laiton a été fabriqué à partir de copeaux de CuZn37 pur, coulés dans un moule en acier et refroidis à température ambiante. De son côté, l'alliage d'aluminium industriel AA7075 a été utilisé. La composition chimique des matériaux a été analysée par spectroscopie d'émission optique (OES) et les résultats sont présentés dans le **tableau 3**.

Les propriétés thermophysiques des deux matériaux, qui sont essentielles pour l'analyse ultérieure, ont été extraites de Ref. [3] et sont répertoriées dans le **tableau 4**.

Les échantillons ont été préparés en usinant des cylindres de 5 mm de diamètre et de 10 mm de hauteur pour chaque matériau. Les surfaces de contact entre les cylindres en laiton et en aluminium (voir **figure 1**) ont été poncées à l'humide avec du papier SiC de grain 1200. Les petits cylindres ont ensuite été soumis à un processus de décapage pour détacher la couche d'oxyde. Pour ce faire, les cylindres en laiton ont été traités dans un bain de nettoyage, tandis que les cylindres en aluminium ont été traités par immersion dans une solution de soude caustique (100 g/l) et neutralisés dans de l'acide nitrique (-30 m-%). Les cylindres ont ensuite été stockés dans de l'éthanol et transférés dans une boîte à gants sous atmosphère protectrice pour l'assemblage des échantillons. Les échantillons hybrides finaux ont été assemblés comme le montre la **figure 1**. Les surfaces planes des

Tableau 3.

Composition chimique de CuZn37 et AA7075 en % en poids.

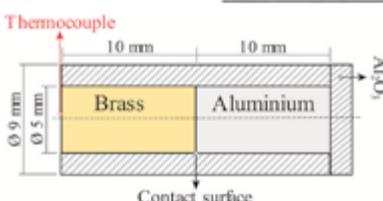
Alloy	Al	Cu	Si	Fe	Mg	Zn	Cr
AA7075	90.05	1.63	0.18	0.27	2.20	5.48	0.19
CuZn37	0	62.27	0.01	0.02	0	37.70	0

Tableau 4.

Propriétés thermophysiques de CuZn37 et AA7075 [3].

Property	CuZn37	AA7075
Solidus temperature T _{sol}	899 °C	466 °C
Liquidus temperature T _{liq}	925 °C	640 °C
Specific latent enthalpy	139 J/g	348 J/g
Thermal conductivity (solid)	121 W/(m K)	151 W/(m K)
Thermal conductivity (liquid)	68 W/(m K)	69 W/(m K)
Density (solid)	8.9 g/cm ³	2.7 g/cm ³
Density (liquid)	7.8 g/cm ³	2.4 g/cm ³

Fig 1. Représentation de l'échantillon.



matériaux ont été mises en contact et placées dans une capsule céramique en Al₂O₃, scellée du côté de l'Al.

Expériences sur le couple de diffusion solide-liquide

Un dilatomètre de trempe, illustré à la **figure 2a**, a été utilisé pour réaliser les expériences de diffusion réactive solide-liquide, car il permet un contrôle précis de la température et du temps. En outre, il permet également de refroidir l'échantillon immédiatement après l'expérience tout en la réalisant dans une atmosphère contrôlée.

L'échantillon est placé dans la chambre, comme le montre la **figure 2a**, et maintenu au centre de la bobine d'induction par des tiges de quartz, comme le montre la **figure 2b**. Pour garantir une distribution homogène de la température dans l'échantillon hybride pendant le recuit, la vitesse de chauffage a été fixée à 30 K/s. Cette valeur était basée sur des tests préliminaires et devait être suffisamment lente pour assurer l'équilibre thermique entre les deux matériaux et suffisamment rapide pour éviter que le processus d'interdiffusion ne commence avant que l'aluminium ne fonde et ne mouille le laiton.

Les expériences ont été réalisées dans une atmosphère inerte et ont été menées pour les températures sélectionnées de 650 °C, 660 °C, 680 °C et 700 °C. Pour chaque température, les durées de recuit étaient de 10s, 20s et 40s. À la fin de chaque expérience, les échantillons ont été refroidis avec du gaz He. Comme le montre le **tableau 4**, les températures étudiées sont supérieures à la température de liquidus de l'alliage d'aluminium et inférieures à la température de solidus du laiton, ce qui correspond à la première étape des processus de coulée composée, le mouillage de l'alliage d'aluminium dans le substrat solide.

Caractérisation de la microstructure

Pour procéder aux investigations, la capsule en céramique a été retirée et l'échantillon hybride a été usiné sur sa longueur pour produire une section longitudinale. Les sections longitudinales de chaque échantillon hybride ont été préparées pour l'analyse microstructurale en encastrant, meulant et polissant l'échantillon avec une suspension de diamant jusqu'à une taille de particule de 1 µm. Des images métallographiques de l'interface ont été prises à différents grossissements. Pour quantifier la quantité de laiton dissous pendant les expériences, une vue d'ensemble de toute la section longitudinale a été produite en assemblant une série d'images métallographiques prises à un grossissement de ×50.

Identification des phases

L'identification des phases a été réalisée à l'aide d'un microscope électronique à balayage équipé d'une spectroscopie de rayons X à dispersion d'énergie (EDX). Un balayage linéaire des phases intermétalliques a été effectué pour déterminer la distribution et la composition chimique relative des éléments à l'interface. Une analyse ponctuelle

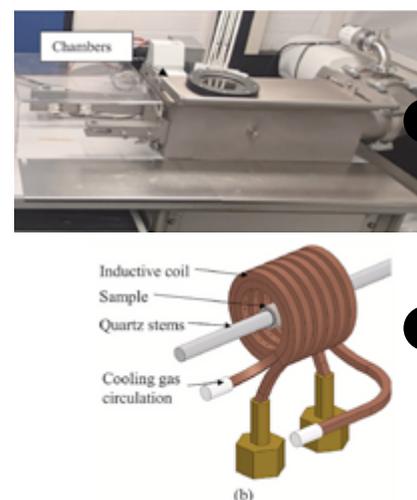


Fig 2. (a) Dilatomètre à trempe. (b) Représentation schématique de l'échantillon à l'intérieur de la chambre du dilatomètre, maintenu au centre de la bobine inductive.

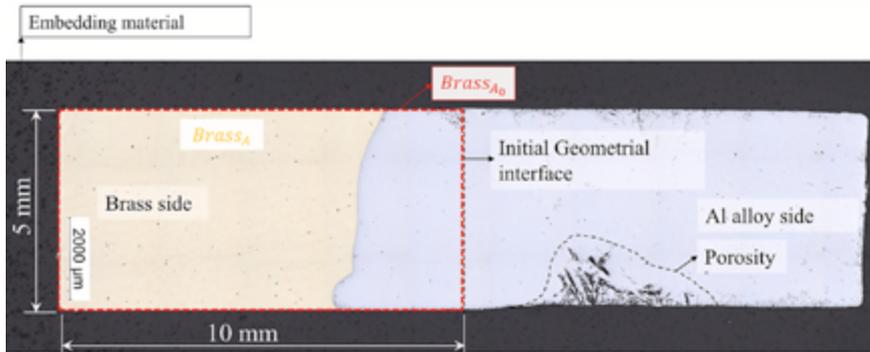


Fig 3. Vue d'ensemble de l'échantillon après un recuit de 20s à 700 °C.

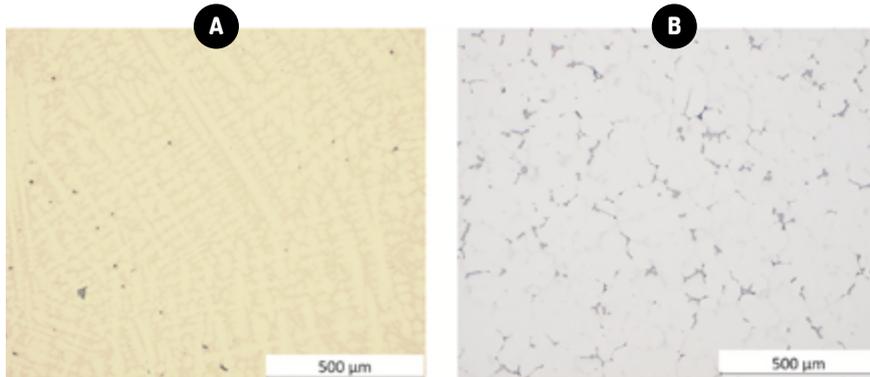


Fig 4. Microstructure des matériaux de base avant les expériences. (a) tel que coulé CuZn37 et (b) tel que coulé AA7075 grossissement x 100.

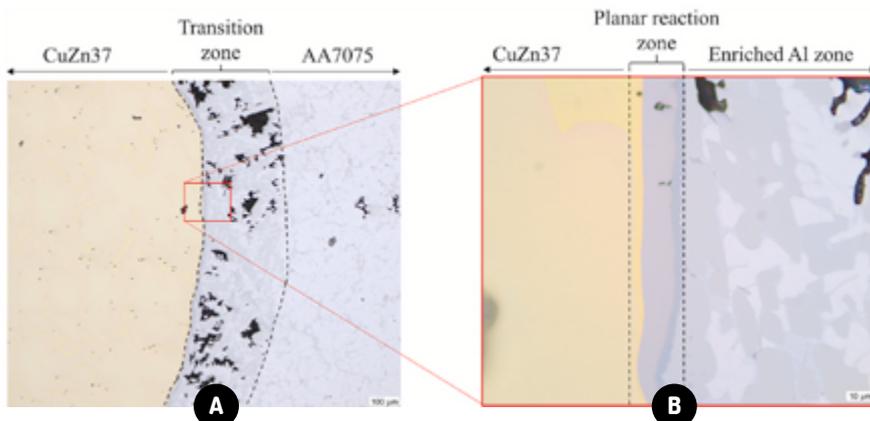
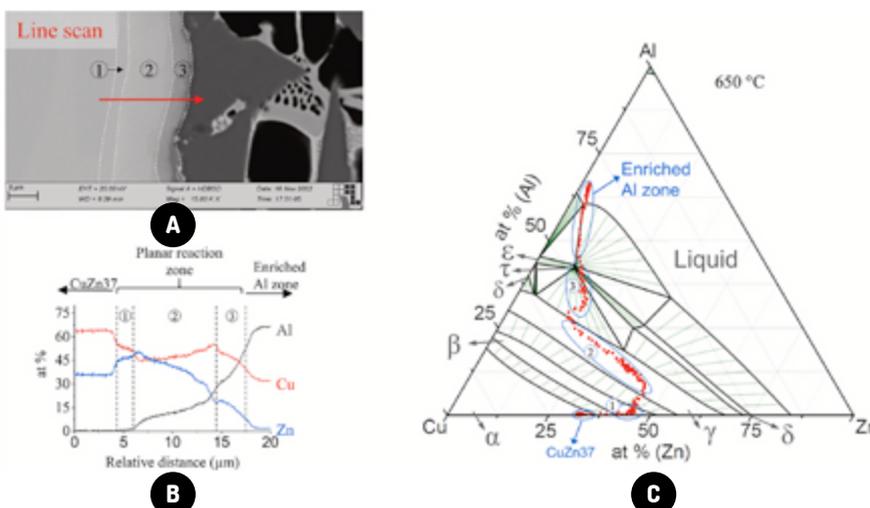


Fig 5. Image au microscope optique de la zone de transition entre l'AA7075 initialement fondu et le CuZn37 solide. Résultats des échantillons recuits à 650 °C pendant 20s suivis d'une trempe. (a) Détails de la zone de transition à un grossissement de x100 et (b) Détails de la zone de réaction planaire à un grossissement de x1000.



a été effectuée sur les différentes structures dans la zone de transition et les suggestions de phase ont été assistées par des calculs thermodynamiques effectués avec le logiciel thermodynamique Pandat fonctionnant avec la base de données PanAluminium (CompuTherm LLC).

Épaisseur des couches intermétalliques et quantité de laiton dissous

Les images métallographiques ont été traitées dans l'environnement Matlab pour déterminer l'épaisseur des couches intermétalliques. Comme les phases intermétalliques n'ont pas la même épaisseur dans toute l'interface, une analyse statistique a été effectuée pour mesurer les épaisseurs des couches individuelles, comme décrit dans la Réf. [35]. L'épaisseur moyenne est utilisée pour l'analyse. La quantité de laiton dissoute pendant les expériences a été déterminée en traitant l'image d'ensemble, comme le montre la figure 3. Elle a été quantifiée en comparant la surface originale occupée par le laiton (Brass_{A0}) et la surface totale occupée par le laiton après les expériences (Brass_A), comme indiqué dans l'équation (1).

$$\% \text{ of Brass dissolved} = \frac{\text{Brass}_{A0} - \text{Brass}_A}{\text{Brass}_{A0}} \times 100$$

>>> RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

La figure 4 montre les études microstructurales des matériaux tels que coulés, utilisés comme matériaux de base pour réaliser les expériences d'interdiffusion solide-liquide. Le CuZn37 tel que coulé, illustré à la Fig. 4a, présente un matériau biphasé, composé d'une α-phase dendritique et d'une β-phase en tant que constituant mineur intégré entre les dendrites, conformément à [36]. La microstructure de l'AA7075 tel que coulé, montrée dans la Fig. 4b, révèle une phase α dendritique riche en Al et des phases eutectiques formées dans les bras interdendritaires, comme cela a également été observé dans la Réf. [37].

Les résultats concernant les mécanismes de formation de l'interface entre les matériaux de base illustrés à la figure 4 sont présentés et discutés ci-dessous.

Fig 6. (a) Image SEM de la zone de réaction planaire et (b) Profil de concentration des éléments à travers les 3 phases intermétalliques planaires après un recuit de 20 s à 650 °C. (c) Diagramme de phase stable du système Al-Cu-Zn à 650 °C calculé avec Pandat avec le chemin de diffusion superposé.

Caractérisation de la zone de transition

Indépendamment de la température et du temps de recuit, la zone de transition entre l'AA7075 et le CuZn37 est composée de deux régions distinctes. Pour démontrer le caractère de l'interface, une image au microscope optique de la zone de transition de l'échantillon recuit à 650 °C pendant 20s est présentée dans la **Fig. 5a**. Une image agrandie des deux différentes régions de la zone de transition est présentée à la **figure 5b**. Une région est caractérisée par une zone de réaction plane composée de trois couches intermétalliques formées par diffusion réactive. L'autre région est la zone enrichie en Al qui se développe en raison de la dissolution du Cu et du Zn dans la fonte de l'AA7075.

Après solidification, la microstructure de la face en AA7075 est radicalement modifiée et une couche avec des structures de phase complexes et une porosité se forme à côté des trois couches intermétalliques. À des températures et des durées de recuit plus élevées, l'alliage AA7075 a été complètement affecté par la dissolution du Cu et du Zn, et la couche complexe s'est développée jusqu'au bord final de l'alliage AA7075. La distribution des éléments dans la zone de réaction plane a été mesurée à l'aide d'un balayage linéaire EDX. Le résultat pour l'échantillon recuit à 650 °C pendant 20s est présenté dans la **Fig. 6**. La **Fig. 6a** montre l'image d'électrons rétrodiffusés (BSE) obtenue avec le MEB et met en évidence la position du balayage linéaire, tandis que la **Fig. 6b** montre le résultat du balayage linéaire.

La distribution des éléments observée à la **figure 6b** est superposée à la section isotherme calculée du système Al-Cu-Zn à 650 °C, comme le montre la **figure 6c**. La superposition révèle le chemin de diffusion entre le CuZn37 et l'Al enrichi. Les deux premières couches intermétalliques formées dans la zone de réaction plane sont clairement identifiées comme (1) β -CuZn et (2) γ -Cu₅Zn₈. La troisième couche serait (3) τ -Al₃Cu₅Zn₂, conformément à la littérature présentée dans le **tableau 1**. Pour une meilleure caractérisation, une analyse par diffraction des rayons X (XRD) ou par diffraction des électrons rétrodiffusés (EBSD) est nécessaire. Les trois couches sont constituées de phases intermétalliques stables dans le diagramme Al-Cu-Zn dans la plage de température étudiée.

Le comportement de diffusion pour les courtes durées de recuit étudiées ici, jusqu'à 40s, montre une interaction complexe entre les éléments Al, Cu et Zn à l'intérieur de la

zone de réaction planaire. Une diffusion croissante du Cu est observée dans la couche identifiée comme γ -Cu₅Zn₈. Les temps de recuit relativement courts ne sont pas suffisants pour atteindre un état d'équilibre et des divergences sont observées entre le diagramme de phase d'équilibre et le chemin de diffusion expérimental. En particulier, pour le τ -Al₃Cu₅Zn₂ suggéré, les expériences indiquent une gamme de solubilité plus large par rapport à la gamme de solubilité très limitée de cette phase déterminée avec CALPHAD. L'existence d'une gamme de stabilité plus étendue est également indiquée dans les références [34,38].

La zone d'Al enrichi est composée principalement d'eutectiques primaires θ -Al₂Cu et α -Al/ θ -Al₂Cu, qui se forment pendant la solidification. Le θ -Al₂Cu primaire précipite sous la forme d'une phase colonnaire typique des alliages Al-Cu hypereutectiques [12]. Le θ -Al₂Cu n'est pas une phase intermétallique stable dans la plage de température étudiée (de 650 °C à 700 °C). Par conséquent, même si la phase primaire θ -Al₂Cu est adjacente à la troisième couche (τ -Al₃Cu₅Zn₂), elle ne devrait pas influencer la formation de la zone de réaction pendant l'interaction solide-liquide.

Concept de couches intermétalliques primaires

Dans la gamme de température étudiée et pour des durées de recuit allant jusqu'à 40 secondes, même si les couches intermétalliques présentent des épaisseurs différentes, la distribution des éléments dans la zone de réaction est très similaire. En comparant les couches intermétalliques obtenues ici à l'aide d'expériences d'interdiffusion solide-liquide avec celles que l'on trouve généralement dans la littérature (énumérées dans le **tableau 1**), on peut tirer les conclusions suivantes : si les vitesses de refroidissement ne sont pas suffisamment élevées, les couches formées à la suite de l'interaction solide-liquide dans le système Al-Cu-Zn peuvent subir d'autres transformations de phase et peuvent également diminuer à la suite de réactions de surface modifiées, étant donné que les nouveaux composés intermétalliques sont plus stables à des températures plus basses. Un exemple est la couche intermétallique τ -Al₄Cu₃Zn généralement observée lors des expériences de coulée de composés multi matériaux [3,4,16], qui est un composé intermétallique stable uniquement à des températures inférieures à 440 °C, comme le montre le tableau 2. Par conséquent, les trois couches intermétalliques dans la zone de réaction sont appelées ici couches intermétalliques primaires, résultant exclusive-

ment des interactions rapides à des températures plus élevées, lorsque le laiton est à l'état solide et que l'alliage d'aluminium est en fusion, suivies d'une trempe. Cela supprime toute interdiffusion ou transformation de phase ultérieure.

Le concept de couches intermétalliques primaires est démontré dans la **Fig. 7**, où une comparaison de la distribution des différents éléments à travers l'interface à partir des résultats présentés ici (**Fig. 7a**) et des résultats de deux expériences de coulée composites de Ref. [3] (**Fig. 7c**) et [4] (**Fig. 7b**). La principale différence qualitative entre les expériences est la vitesse de refroidissement imposée à la région de contact pendant les expériences. Alors que dans la **figure 7a**, les échantillons ont été trempés, dans la **figure 7b**, les expériences de coulée continue verticale [4] imposent des vitesses de refroidissement qualitativement plus faibles, favorisant de nouvelles interactions solide-solide au cours des expériences, ce qui entraîne la formation de couches intermétalliques secondaires. Dans la **figure 7c**, les vitesses de refroidissement sont encore réduites par les expériences de coulée statique composée [3] et une deuxième couche intermétallique secondaire est observée.

Il est cependant reconnu que les couches intermétalliques formées dans la zone de transition entre des matériaux dissemblables peuvent varier de manière significative en fonction de la température à laquelle les couples de diffusion sont étudiés [39]. Des températures plus basses peuvent donner lieu à des formations de couches intermétalliques différentes de celles obtenues à des températures plus élevées. Le concept de couches intermétalliques primaires s'est avéré nécessaire dans les cas où les matériaux dissemblables interagissent à différentes températures. Les couches intermétalliques primaires formées à des températures plus élevées servent de distribution initiale de la composition pour les interactions solides-solides ultérieures à des températures plus basses.

Dans [4], il a été identifié que la couche (2) représente une combinaison possible des phases τ -Al₃Cu₅Zn₂ et γ -Cu₅Zn₈, comme le montrent les **Fig. 7b et c**. Les résultats EBSD présentés dans Ref. [4] confirment que la plupart des grains présentent un mélange de phases τ -Al₃Cu₅Zn₂ et γ -Cu₅Zn₈. En fait, il y a un écart par rapport à la gamme de composition γ -Cu₅Zn₈ lorsque l'interface est soumise à des vitesses de refroidissement plus faibles. Ceci est mieux visible dans la **figure 8**, qui montre le chemin de diffusion de la couche (2) pour les trois cas décrits dans la **figure 7**. Dans la **figure 8a**, seule la distribution des

éléments est superposée au diagramme pour mettre en évidence l'effet de vitesses de refroidissement qualitativement plus faibles. Dans la **figure 8b**, la superposition des températures est effectuée sur la section isotherme à la température la plus basse étudiée, qui est déjà très proche de la température de liquidus de l'AA7075 (voir **tableau 3**). Il convient de noter que la distribution des éléments de la couche (2) provenant des expériences d'interdiffusion réactive solide-liquide correspond parfaitement à la plage de solubilité calculée du γ -Cu₅Zn₈. Cependant, les distributions élémentaires de la couche (2) pour les expériences des références [3,4] s'écartent de la plage de solubilité calculée du γ -Cu₅Zn₈. Cet écart est attribué à la précipitation accrue de la phase τ -Al₃Cu₅Zn₂ sur la phase γ -Cu₅Zn₈ précédemment formée, résultant de nouvelles interactions solide-solide étant donné les taux de refroidissement relativement plus faibles utilisés dans les références [3,4] par rapport aux expériences de diffusion solide-liquide. Comme le montre la **figure 8c**, la distribution des éléments de la couche (2) tirée des références [3,4] correspond bien à la région à deux phases dans la section isotherme calculée à une température plus basse (450 °C).

Le présent document porte sur l'interdiffusion réactive entre le laiton solide et l'aluminium liquide, c'est pourquoi seul le comportement

de croissance des couches intermétalliques primaires est discuté ici. La quantification des taux de refroidissement critiques pour la formation et la croissance des couches intermétalliques secondaires sera discutée séparément dans une autre publication.

Comportement de croissance des couches intermétalliques primaires

Pour la gamme de températures et les durées de recuit étudiées, la zone de transition présente un caractère similaire, mais le comportement de croissance des couches intermétalliques primaires dans la zone de réaction est distinct à différentes températures. Les épaisseurs finales des couches intermétalliques dépendent de l'interaction entre la réaction interfaciale, l'interdiffusion et la dissolution dans l'aluminium fondu. L'interconnexion entre les processus de réaction, de diffusion et de dissolution a été analysée séparément pour chaque température une fois que l'état énergétique du système et son état d'équilibre respectif changent en relation avec la température. Même si le processus à différentes températures conduit à la formation des mêmes couches intermétalliques, leur comportement de croissance change à différents niveaux de température. Lors de l'observation métallographique des

échantillons pour déterminer l'épaisseur des couches intermétalliques primaires, un phénomène spécifique a été observé. Pour des températures et des durées de recuit plus élevées, l'interface entre la 3^e couche et la région d'aluminium enrichi devient irrégulière et s'écarte de la géométrie plane, comme le montre la **figure 9**. Il semble qu'une partie de la 3^e couche irrégulière se détache de la zone de réaction et est transportée vers l'aluminium fondu. De ce fait, lors du calcul de l'épaisseur de la troisième couche, seule la quantité de phase intermétallique restée attachée à la zone de réaction plane a été prise en compte.

La **figure 10** montre la microstructure de chaque couple de diffusion. Généralement, une croissance irrégulière sur la 3^e couche ou son détachement de la zone de réaction planaire a été observée sur les échantillons recuits à 650 °C, 660 °C et 680 °C avec un temps de recuit de 40s. À 680 °C, les écarts par rapport à la géométrie planaire ont pu être observés dans quelques zones dès 20s, et à 700 °C, ils sont déjà présents dans les 10s du recuit.

Les **figures 11a-d** montrent les épaisseurs des couches intermétalliques primaires et la quantité de laiton dissous en fonction du temps pour les différentes températures de recuit. À la plus basse température étudiée de 650 °C (**Fig. 11a**), il est évident que la dissolution du laiton augmente en fonction du temps de recuit. Cependant, contrairement aux attentes, les couches intermétalliques ne présentent pas un schéma de croissance cohérent. En fait, leurs épaisseurs restent constantes dans les limites d'erreur ou diminuent légèrement à mesure que le temps de recuit augmente. À cet état énergétique inférieur, la vitesse de formation des couches intermétalliques primaires,

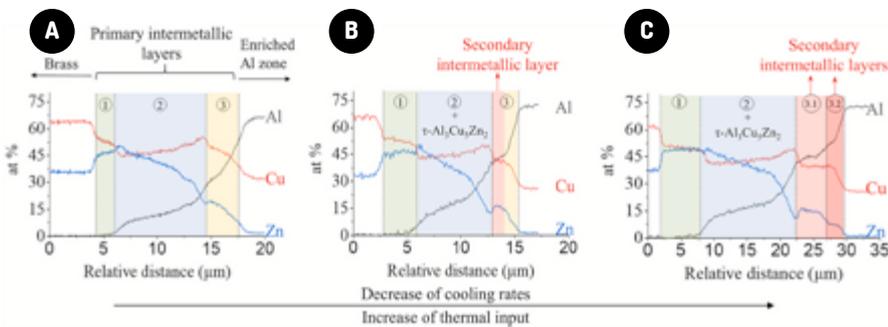
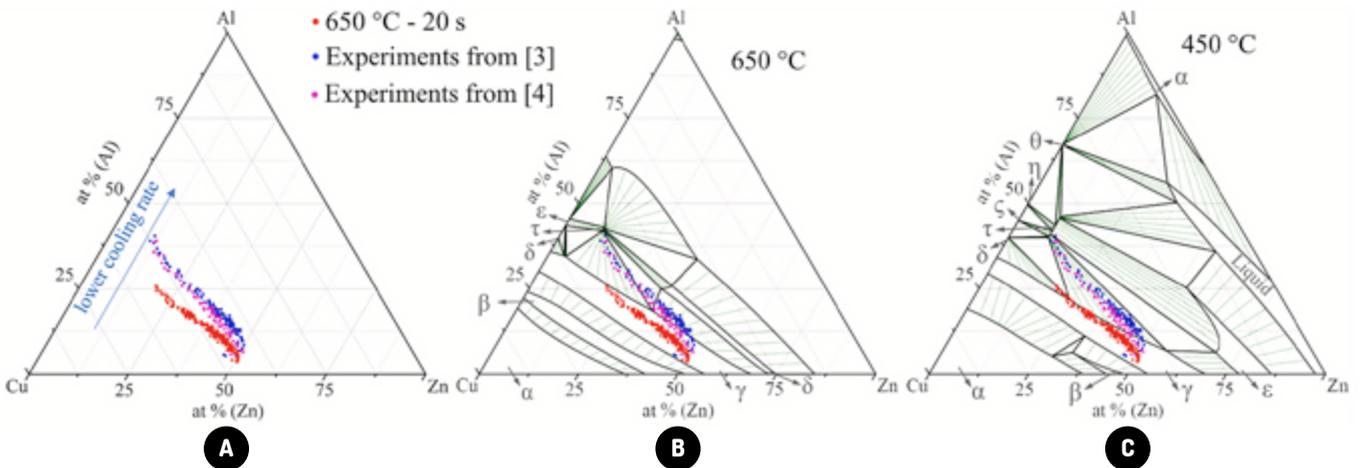


Fig 7. Distribution des éléments à travers l'interface à partir de (a) expériences d'interdiffusion réactive solide-liquide, (b) coulée continue verticale de composés [4] et (c) coulée statique de composés [3]. Phases : (1) β -CuZn, (2) γ -Cu₅Zn₈, (3) τ -Al₃Cu₅Zn₂, (3.1) τ -Al₃Cu₅Zn et (3.2) η -AlCu.

Fig 8. Superposition de la distribution des éléments de la couche (2) de la Fig. 7 au diagramme de phase Al-Cu-Zn. (a) L'effet des vitesses de refroidissement qualitativement plus faibles, (b) superposition à la section isotherme calculée à 650 °C et (c) superposition à la section isotherme calculée à 450 °C.



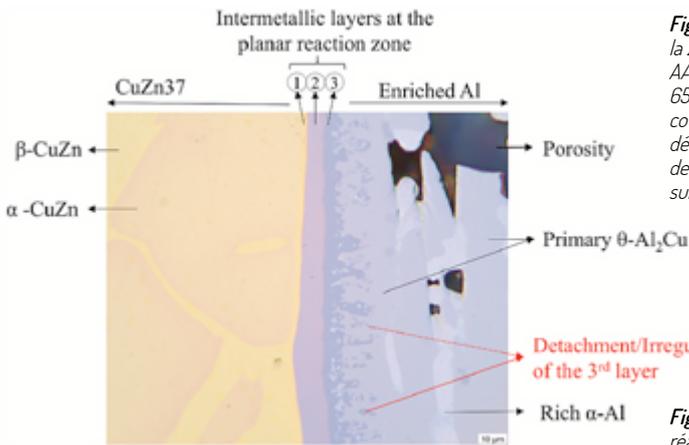


Fig 9. Image au microscope optique de la zone de transition entre le liquide AA7075 et le solide CuZn37 recuit à 650 °C pendant 40s, montrant les trois couches intermétalliques. Le détachement de la troisième couche de la zone de réaction plane est surligné en rouge.

de l'épaisseur de la couche intermétallique primaire, avec une exception à 680 °C. À cette température spécifique, les couches intermétalliques primaires étaient plus minces par rapport aux autres températures de la gamme. En fait, à 680 °C, les couches étaient systématiquement plus minces pour toutes les durées de recuit étudiées.

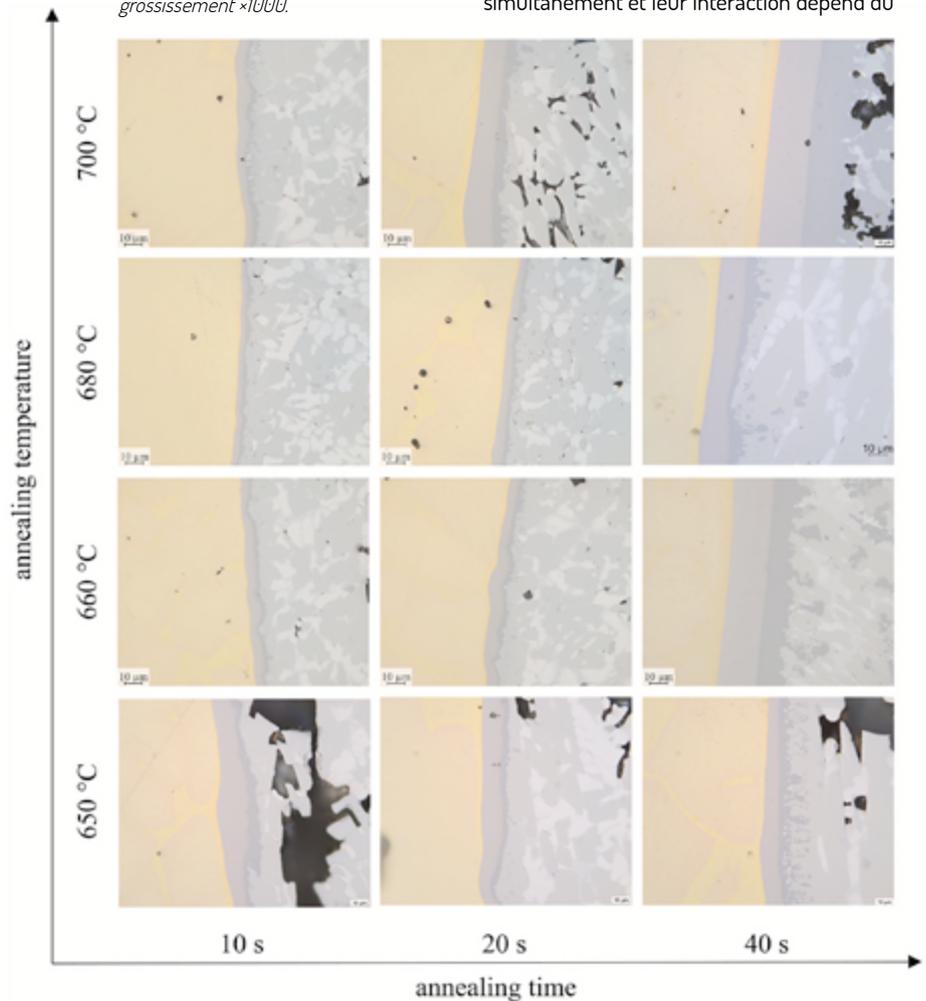
L'épaisseur finale des couches intermétalliques primaires est déterminée par une interaction complexe entre des processus constructifs, tels que la réaction et l'interdiffusion ternaire, qui favorisent leur croissance, et des processus destructifs, tels que la dissolution et le détachement, qui favorisent leur réduction. Ces processus se produisent simultanément et leur interaction dépend du

qui est principalement déterminée par des processus de réaction et de diffusion, est relativement lente par rapport à la vitesse à laquelle elles sont détruites par dissolution et détachement. Nous pourrions noter qu'à 650 °C, les mécanismes destructifs l'emportent sur les mécanismes constructifs, ce qui entraîne une légère réduction nette de l'épaisseur des couches intermétalliques primaires au fil du temps. Il convient également de noter que, selon Ref. [40], il peut y avoir une période d'incubation dans les couples de diffusion multiphasique avant que la diffusion régulière ne se mette en place.

Aux températures de recuit étudiées, de 660 °C à 700 °C, l'épaisseur des couches intermétalliques primaires augmente avec le temps de recuit (Fig. 11b-d), suggérant que les mécanismes constructifs l'emportent sur les mécanismes destructifs dans cette plage de température sur la plage de temps étudiée. En outre, le taux de dissolution du laiton augmente avec la température de recuit, comme le montre la pente plus raide avec l'augmentation de la température observée dans la courbe représentant le pourcentage de laiton dissous, comme le montre la figure 11a-d.

En outre, à des températures plus basses, l'aluminium en fusion est plus facilement saturé en cuivre (Cu) et en zinc (Zn) provenant de la dissolution du laiton. Cela pourrait contribuer à la précipitation initiale et à la formation de phases dans la zone de contact, ce qui se traduit par des couches intermétalliques primaires initialement plus épaisses à des températures plus basses. Ce phénomène est mieux illustré dans la figure 12a, où les épaisseurs des couches intermétalliques primaires et la quantité de laiton dissous sont représentées en fonction de la température pour un temps de recuit de 10 secondes. À 650 °C, les couches intermétalliques primaires sont considérablement plus épaisses que celles observées à des températures plus élevées, tandis que leur épaisseur reste relativement constante de 660 °C à 700 °C. L'effet de la température pour les durées

Fig 10. Microstructure des produits de réaction pour les différents temps et températures de recuit. Images au grossissement $\times 1000$.



de recuit de 20s et 40s est illustré dans les figures 12b et c, respectivement. Pour un temps de recuit de 20s, une augmentation de la température de recuit de 650 °C à 680 °C a entraîné une réduction de l'épaisseur des couches intermétalliques primaires. Cependant, lorsque la température de recuit a atteint 700 °C, l'épaisseur des couches intermétalliques primaires a considérablement augmenté. D'autre part, pour le temps de recuit de 40s, illustré à la figure 12c, une augmentation de la température de recuit a généralement conduit à une augmentation

de l'épaisseur des couches intermétalliques primaires et de la température dans la plage de température et de temps de recuit étudiée.

Analyse thermodynamique du mécanisme de formation de l'interface initiale

À l'aide de calculs thermodynamiques, la formation de la zone de réaction et les particularités sur la formation et la croissance des couches intermétalliques primaires sont complétées.

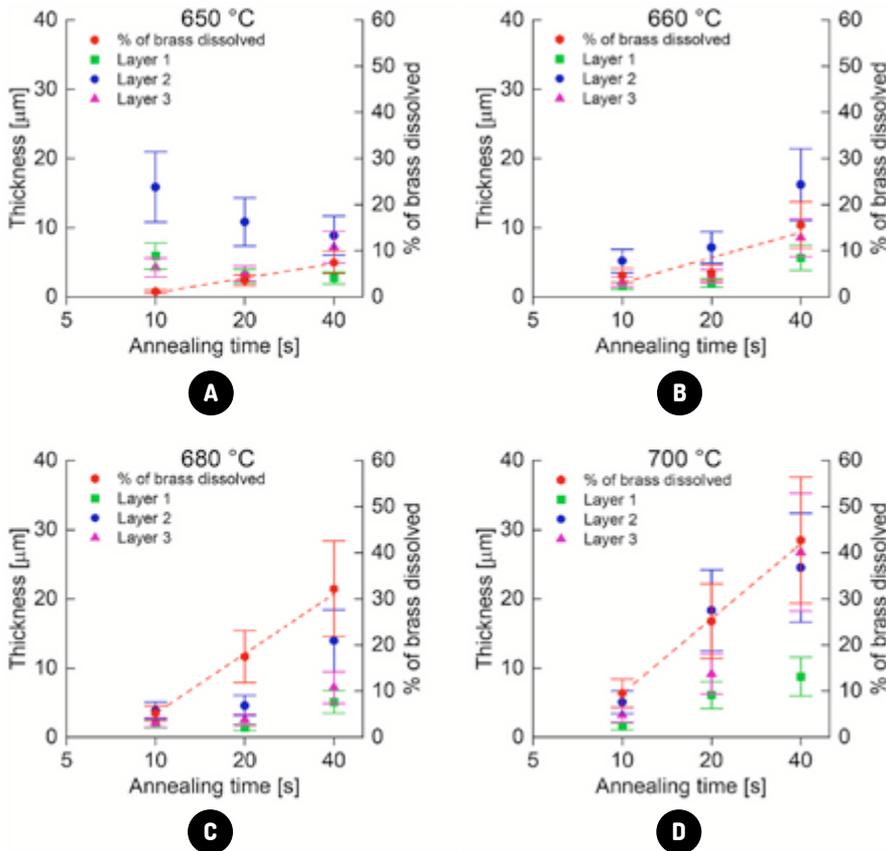
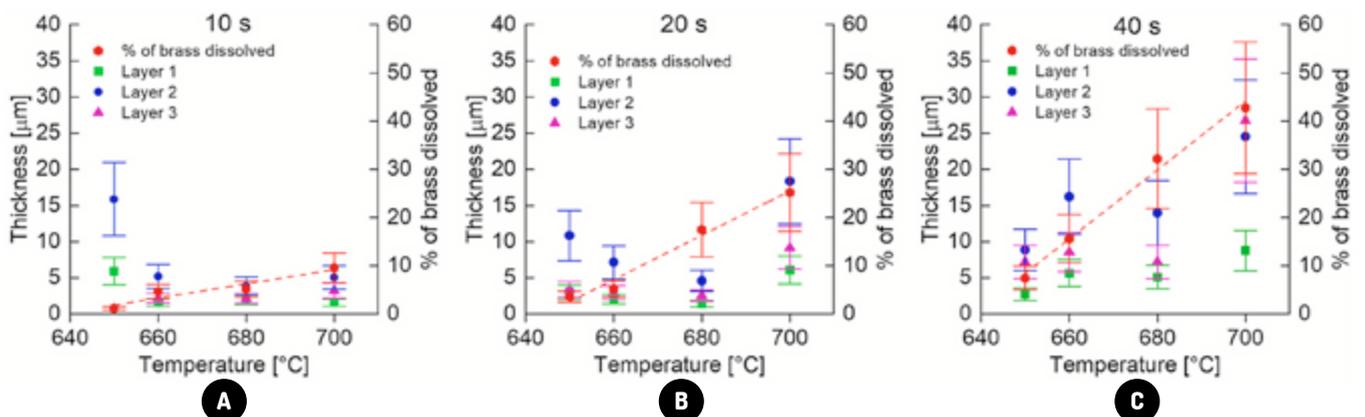


Fig 11. Effet du temps de recuit sur l'épaisseur des couches intermétalliques dans la zone de réaction plane et la quantité de laiton dissous. Expériences à (a) 650 °C, (b) 660 °C, (c) 680 °C et (d) 700 °C. La ligne pointillée rouge est une interpolation linéaire des valeurs pour le % de laiton dissous

La différence entre les potentiels chimiques de phases distinctes ($\Delta\mu$) est la force motrice de la diffusion dans les systèmes multi composants [41]. Pour vérifier les forces thermodynamiques agissant à l'interface au cours des premières étapes du recuit, les potentiels chimiques, μ , des éléments Al (μ_{Al}), Cu (μ_{Cu}) et Zn (μ_{Zn}) dans CuZn37 et AA7075 ont été calculés à l'aide de Pandat et tracés en fonction de la température, comme le montre la Fig. 13. La différence $\Delta\mu$ est, de manière approximative, la différence entre les valeurs

calculées de μ (l- Cu, Zn, Al) pour CuZn37 et AA7075, comme indiqué dans la Fig. 13. Les diagrammes de la figure 13 fournissent des informations précieuses sur les étapes initiales de la formation de l'interface entre le CuZn37 solide et l'AA7075 fondu, avant que des couches intermétalliques ne se soient formées. Il convient toutefois de noter que ces calculs ne fournissent aucune information sur la vitesse à laquelle un processus de diffusion ou de réaction peut se produire. Il s'agit uniquement d'une représentation de

Fig 12. Effet de la température sur l'épaisseur des couches intermétalliques dans la zone de réaction plane et sur la quantité de laiton dissous après le recuit pour (a) 10s, (b) 20s et (c) 40s. La ligne pointillée rouge est une interpolation linéaire des valeurs pour le % de laiton dissous.



l'état énergétique du système. Dans la figure 13a, la différence de potentiel chimique initiale est favorable à la diffusion du Cu de CuZn37 vers l'AA7075 pour toute la gamme de température. On voit qu'il y a un changement dans la pente de la courbe μ_{Cu} pour les températures proches et inférieures à 650 °C. L'abaissement de la température entraîne une réduction nette du $\Delta\mu_{Cu}$. Parallèlement, à proximité de 650 °C, on observe un comportement correspondant de la différence de potentiel chimique du Zn ($\Delta\mu_{Zn}$) en fonction de la température (voir Fig. 13b). Le signe de $\Delta\mu_{Zn}$ change, indiquant que pour des températures supérieures à ~650 °C, le Zn quitte CuZn37 et est incorporé dans AA7075. Cependant, pour des températures inférieures à ~650 °C, on peut s'attendre au processus inverse. En conclusion, puisque les couches intermétalliques primaires sont connues pour contenir une quantité significative de Zn (voir Fig. 6b), leur nucléation est susceptible d'être facilitée à 650 °C, où une tendance à l'augmentation de la teneur en Zn à l'interface est observée. Par conséquent, cette facilitation pourrait être l'un des facteurs contribuant à la formation initiale de couches intermétalliques primaires plus épaisses à 650 °C, comme le montre la Fig. 12a.

La différence de potentiel chimique initiale de l'aluminium entre l'AA7075 et le CuZn37 (Fig. 13c) est presque indépendante de la température. Il existe une force motrice constante pour la diffusion de l'Al de l'AA7075 vers le CuZn37.

>>> CONCLUSIONS

Les interactions entre CuZn37 solide et AA7075 fondu ont été étudiées pour des temps de recuit courts de 10s, 20s et 40s aux températures de recuit sélectionnées de 650 °C, 660 °C, 680 °C et 700 °C. Les remarques suivantes sont formulées :

- Le concept de couches intermétalliques primaires a été introduit car il a été démontré que les trois couches

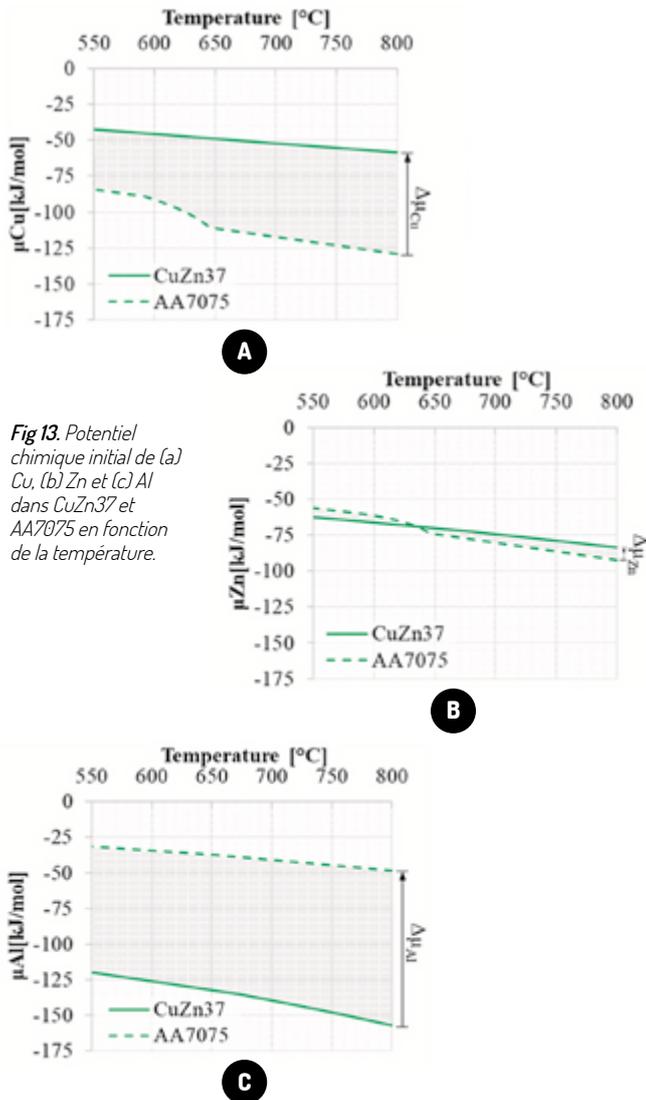


Fig 13. Potentiel chimique initial de (a) Cu, (b) Zn et (c) Al dans CuZn37 et AA7075 en fonction de la température.

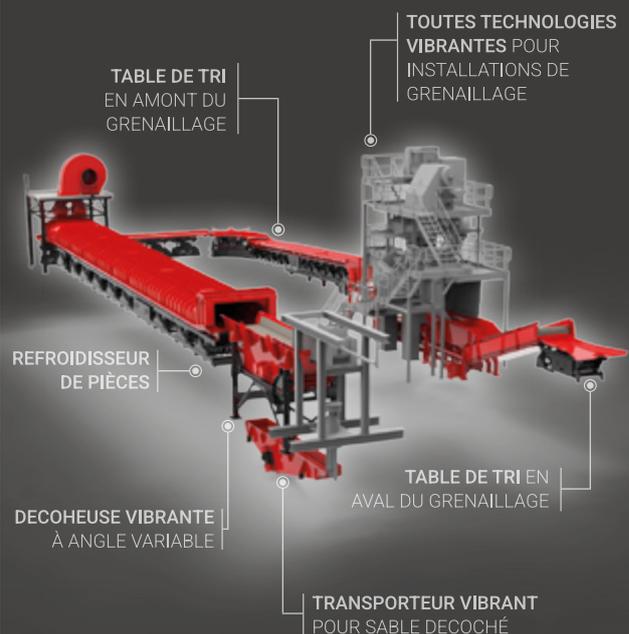
intermétalliques identifiées ici résultent exclusivement des interactions rapides solide-liquide suivies d'une trempe. Les faibles vitesses de refroidissement favorisent l'interaction solide-solide et laissent le temps de former des couches intermétalliques secondaires au cours du processus d'assemblage.

- La zone de transition entre le CuZn37 initialement solide et l'AA7075 en fusion comprend deux zones distinctes, une zone de réaction plane avec trois couches intermétalliques primaires et une zone d'Al enrichi. Les trois couches intermétalliques primaires ont été identifiées (du côté laiton au côté alliage d'Al) comme β -CuZn, γ -Cu₅Zn₈ et suggérées τ -Al₃Cu₅Zn₂. La microstructure dans la zone d'Al enrichi est le résultat de la dissolution du Cu et du Zn dans l'AA7075 fondu suivie d'une solidification, formant principalement des eutectiques primaires θ -Al₂Cu et α -Al/ θ -Al₂Cu.
- La formation et la croissance de la zone de réaction est une compétition entre des processus constructifs, tels que la réaction et l'interdiffusion ternaire, qui favorisent la croissance des couches intermétalliques primaires, et des processus destructifs, tels que la dissolution et le détachement, qui favorisent leur réduction. On a constaté que leur interaction dépendait de manière significative de la température en question.

TÉLÉCHARGER LA VERSION ANGLAISE
qui contient les références bibliographiques

JOEST group

DÉCOUVREZ L'AVENIR DU TRANSPORT DE MATÉRIAUX



JOEST vous propose des solutions et des lignes complètes automatisées parfaitement étudiées et adaptées à vos besoins en **décochage, refroidissement, transport et tri, pour vos pièces moulées.**

Faites appel à nos spécialistes !



JOEST France

+ 33 (0)5 45 67 45 00
info@joest-mpv.com
www.joest-mpv.fr



Laempe + Fischer
Fournisseur d'équipement pour fonderie
depuis 1982

L'Aluminium en fonderie

Le secteur de l'aluminium est sur le devant de la scène depuis quelques années, et plus particulièrement depuis que les bouleversements sont enregistrés sur le marché de l'énergie et sur les avancées dans le domaine de l'automobile et des transports de manière générale. Les acteurs de l'industrie primaire des métaux légers et de l'aluminium plus particulièrement sont relativement nouveaux dans le domaine de la chimie des matériaux coupant des industries largement développées des métaux ferreux, par les méthodes et équipements mis en œuvre.

Une industrie parallèle qui a pris une place considérable dans le domaine des matériaux performants et qui lance aujourd'hui les bases d'une nouvelle économie en concurrence des ferreux dans les applications les plus technologiques : transport, aérospatiale, énergie, consommation.

Au moment où les yeux sont tournés vers la transition énergétique et la maîtrise de l'environnement sous toutes ses formes, l'aluminium est devenu l'un des métaux recherchés par la plupart des industriels comme une alternative pouvant remplacer les métaux historiques dans la recherche du gain de poids, de la mise en œuvre à basse température, à l'amélioration de la performance écologique. Une ambition qui demande de nombreuses avancées pour remplir les objectifs fixés même si la marche vers le matériau doit se faire de façon plus ou moins forcée. **De nombreuses questions sont encore soulevées pour améliorer l'utilisation de l'aluminium dans des structures compétitives avec les métaux ferreux**, mais tout cela est rendu possible par des efforts concentrés tant des recherches universitaires que des recherches industrielles menées autant par les fondeurs que par les concepteurs industriels. Il n'y aura pas de retour en arrière, le chemin est tracé pour un succès industriel.

Nous allons passer en revue certains de ces progrès technologiques qui peuvent rendre la conversion un succès. Les deux gros pôles d'amélioration concernent l'augmentation de volume des quantités d'aluminium et de ses alliages disponibles et pour cela nous allons retrouver des recherches effectuées tant sur l'exploitation primaire que sur l'utilisation secondaire du métal (maîtrise de la fusion (énergie, thermique des transferts, introduction de combustibles non carbonés dans la fusion et le traitement métallurgique, mise au point des méthodes de recyclage des matériaux de coulée et des pièces de mise au mille ou déjà utilisées), mise au point des technologies de contrôle de la qualité du liquide jusqu'à la phase solide propre au service (réduction de l'hydrogène dans le bain de fusion, élimination des impuretés liées aux procédés

industriels de fabrication, développement de techniques capables de délivrer des pièces de qualité à coût toujours plus contrôlés, rheo-casting ou mise en forme semi-solide, élimination des traitements thermiques, développement des performances par la chimie plus que par la thermique de production, réalisation de liaisons hybrides lorsque nécessaires, recherche de compositions résistantes aux sollicitations mécaniques et aussi thermique dans la limite du raisonnable). La maîtrise des compositions et des additifs sont analysés par de nombreuses équipes de recherche et de développement, la mise en œuvre de IA et de simulations, l'intégration de senseurs et d'analyses structurelles permettent d'envisager la poursuite industrielle et le passage de ferreux au non ferreux pour des industries de base comme l'automobile.

Nous abordons dans cette veille technologique très exhaustive des sujets qui permettent de mettre en avant quelques un des domaines qui marquent l'évolution rapide des alliages légers dans la course aux défis qui nous sont posés. Nous n'avons pas l'ambition de répertorier toutes les avancées scientifiques mais de laisser une impression de concentration de ressources vers un

objectif commun, faire de l'aluminium un métal noble et performant répondant à l'attente industrielle.

>>> ÉVOLUTIONS TECHNOLOGIQUES



- La maîtrise de la qualité reste un domaine qui impose d'équilibrer entre chimie et physique, tout comme il permet de développer des méthodes propres aux basses températures de l'aluminium et la recherche de la performance par la conception de pièces adaptées aux besoins et aux propriétés du métal. L'introduction de mega-castings et de 3DP amène à de nouvelles structures tant dans la phase de conception ou de prototypage que dans les phases du développement industriel.

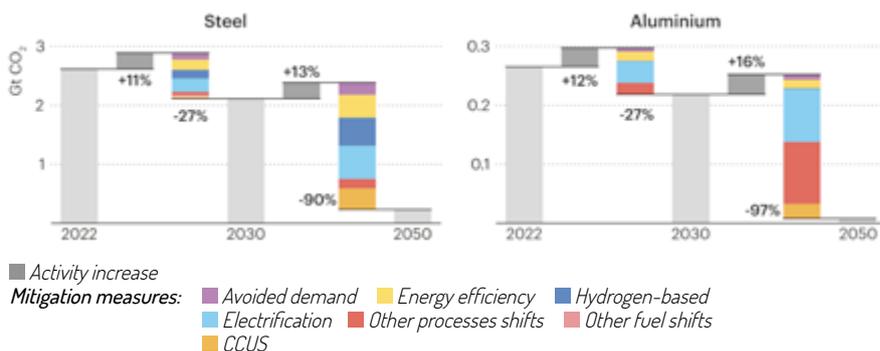
Une revue de la littérature et des évolutions technologiques dans le domaine est donnée en suivant certaines des demandes récentes exprimées par nos fondeurs. La recherche de solutions viables tant sur le plan environnemental qu'économique reste le focus de l'industrie. Un survey de publications par l'ATF sera ajouté à la veille technologique avec une attention particulière aux alliages légers (Al, Ni, Mg).

>>> RECYCLAGE

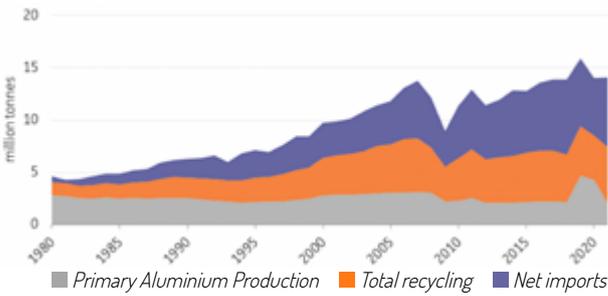


- Certains des aspects liés à la chimie des compositions et aux méthodes de mise en forme sont explorées dans le lien entre nouvelles technologies et maîtrise de l'environnement. Le contrôle des émissions gazeuses dans la réduction des éléments exogènes dans la phase liquide sont revus pour donner une idée des chemins envisagés.

Emissions reductions by mitigation measure



Europe relies on aluminium imports



>>> LA RECHERCHE DANS LES NON-FERREUX

- L'analyse de structure, les conceptions de moules et de pièces, l'utilisation d'énergie bas carbone, la balance entre traitement métallurgique et chimie des additifs sont revus dans une approche englobant les thèses les plus récentes de nos équipes universitaires dans le domaine de l'aluminium. L'approche de recherches industrielles est également soulevée par une investigation plus industrielle de la mise en forme et de la qualité métal.

>>> LES CONTRAINTES ÉCONOMIQUES

- La revue des tendances dans les secteurs géographiques sous tension ainsi que la vision de l'industrie seront analysées, les contraintes géopolitiques établies vers une industrie capable de relever les défis économiques et environnementaux

>>> L'ALUMINIUM DANS L'AUTOMOBILE

- Nous analysons les tendances et changements technologiques imposées par la transformation de la coulée en portant particulièrement une attention sur l'évolution de la coulée sous pression vers la mise au point du rheocasting

Average aluminium Content per Vehicle in 2022

Sheet (+14 kg by 2030)

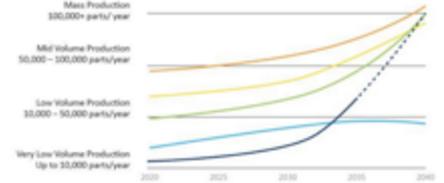
Aluminum sheet demand continues its growth, driven by electrification and weight reduction targets, as well as product mix leaning towards larger vehicles. Growth mainly comes from:

- EV Specific – primarily ballistic protection and battery cooling plates
- Discours – especially front and rear doors

Extrusions (+15 kg by 2030)

The fastest growing aluminum product form due to increasing penetration in:

- EV Specific – battery pack housing
- SUV – mainly sills and C/Ds
- Trucks – electric brake booster one-box system



- Gen-3 Cold Stamping
- High Pressure Thin Walled aluminium Die Casting
- Resin Transfer Molding
- Warm Form Aluminium
- Additive Manufacturing

et des giga-factories, le développement du 3DP et les tendances les plus marquantes autour de la coulée basse pression.

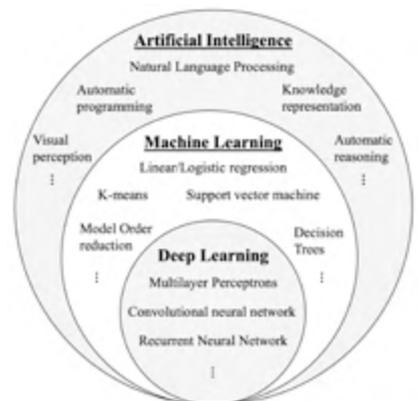
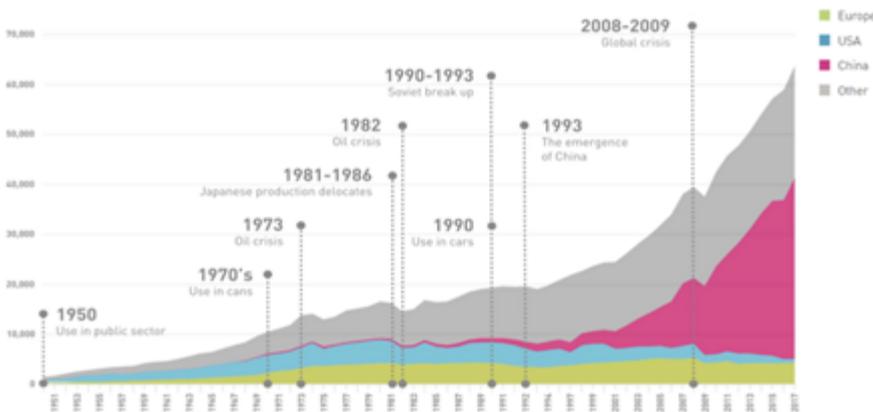
>>> INFLUENCE DU DÉVELOPPEMENT DE L'IA EN FONDERIE

- L'intelligence artificielle (IA) peut ressembler à un effet de mode dans le domaine industriel, mais cela fait bien longtemps que des outils de simulation sont entrés en fonderie du fait de la complexité des structures à créer, ou par le fait des petites séries qui demandent d'intégrer de trop nombreuses variables dans la réalisation des pièces. Plus le savoir-faire est mis en avant plus la connaissance des phénomènes de fabrication doit être soutenue par de l'IA. La coulée et la solidification métal ont imposé de maîtriser au mieux les échanges entre conception et réalisation, moules et pièce finale. Des senseurs sont venus compléter les possibilités d'acquisitions et d'analyses en temps réel du fondeur, lui fournissant les informations qui peuvent servir à définir son procédé et remplir la base de données nécessaire à l'analyse mathématique des corrélations. Il est des domaines plus propices que d'autres à l'approche statistique d'éducation de l'outil, mais tout commence par le fondeur et son environnement. Dans un marché concurrentiel

la rapidité de réaction et la qualité sont depuis toujours des critères déterminants de la fonderie. L'alliance de la tradition et de l'innovation technologique est un point fort de notre industrie face aux changements.

- > collaborative robots (cobots) working alongside humans;
- > robotic process automation (RPA) software handling tedious and repetitive tasks;
- > digital twins providing insight into the performance of machinery;
- > predictive maintenance improving safety and lowering costs;
- > lights-out factories utilizing a robotic workforce with minimal human interaction;
- > machine learning algorithms predicting demand;
- > inventory management systems smoothing out supply chain issues; and visual inspection systems detecting faults in real time.

Gilbert RANCOULE- ATF //////////////





OPTIMISEZ VOTRE PROCESSUS DE COULÉE AVEC LES SOLUTIONS DE GRENAILLAGE DE WINOA

Faites comme Volvo - visitez notre centre technique pour améliorer nettoyage et préparation de surface.

De la grenaille fine d'acier au fil de zinc coupé, en passant par des abrasifs en acier inoxydable, Winoa propose une gamme complète de solutions de sablage.

Découvrez vous-même notre savoir-faire et notre expertise technique.

winoa
preparing tomorrow's surfaces



INOX



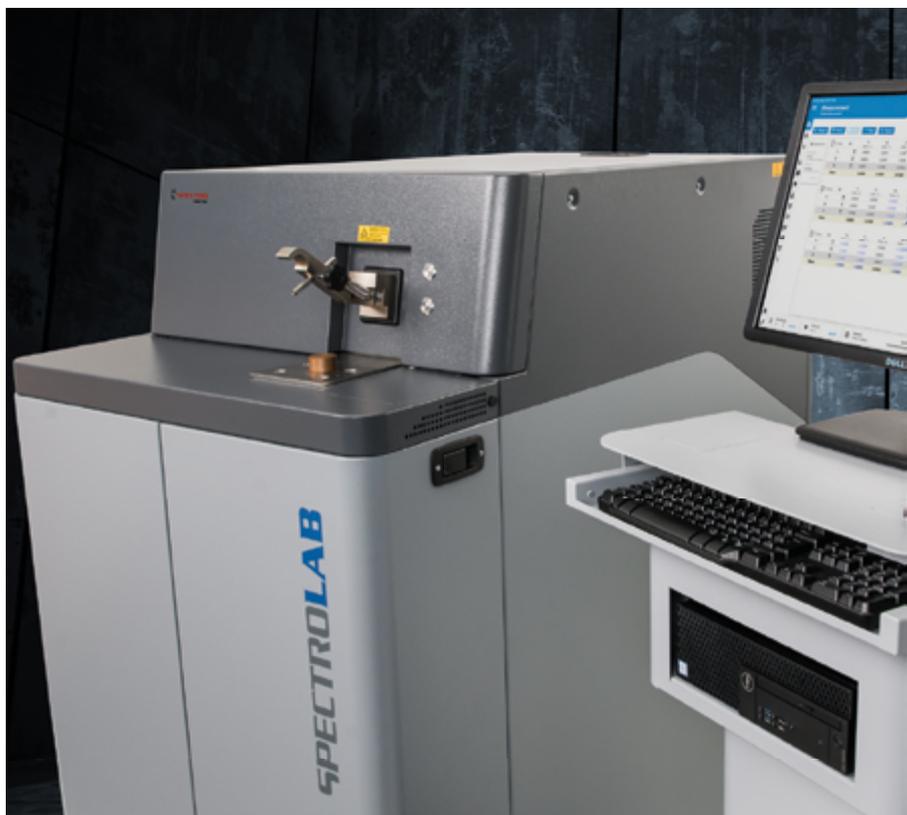
FIL COUPÉ



UFS

Planifiez votre essai
aujourd'hui !

Visitez nos centres
techniques pour essayer
votre prochain abrasif



Nouveau SPECTROLAB S: A la Tête de la Révolution dans l'Analyse des Métaux Haut de Gamme.

SPECTRO, le leader de l'innovation en matière d'Arc/Etincelle, développe depuis plus de 40 ans des instruments OES exceptionnels. Récemment, SPECTRO a perfectionné les détecteurs à l'état solide utilisant la technologie propriétaire CMOS+T pour révolutionner l'analyse OES haut de gamme en Arc/Etincelle — avec le SPECTROLAB S.

Le SPECTROLAB S est conçu pour fournir la rapidité de mesure optimale ; la plus haute cadence ; les limites de détection minimales ; la plus grande disponibilité ; et une flexibilité à l'épreuve du temps. Apprenez-en plus dès maintenant !

www.spectro.com/lab



AMETEK SAS • Rond Point de l'Épine des Champs • Buroplus, Bât. D • 78990 Elancourt • www.spectro.com • spectro-france.sales@ametek.com

L'aluminium (première partie)



Buste en aluminium de Henri Sainte-Claire Deville, d'après Gabriel Jules Thomas, 1882. Inv. 45386. © Musée des Arts et Métiers-Cnam / photo Denis Pruvrel.

Découvertes de l'aluminium et de sa production industrielle. De 1754 à 1886

A contrario de l'histoire de la métallurgie du bronze, du fer, du cuivre, de l'argent ou de l'or qui a pris naissance dans des temps très lointains, celle de l'aluminium est tardive et ne débute qu'au XIX^e siècle à la croisée des deux révolutions industrielles (la première (1770-1850) autour du charbon et marquée par le chemin de fer, la seconde (1850-1914) autour du pétrole, de l'électricité et de l'automobile).

Chronologie des découvertes entre 1754 et 1886



Andreas Sigismund Marggraf



Hyacinthe Théodore Baron



Louis-Bernard Guyton de Morveau



Antoine Laurent Lavoisier

1754 : le chimiste allemand, **Andreas Sigismund MARGGRAF (1709-1782)**, qui le premier a isolé l'alumine à partir de de la terre d'alun.

1760 : le médecin français **Hyacinthe Théodore BARON (1707-1787)** qui le premier soupçonne que la terre d'alun, jusqu'alors considérée comme un corps simple, cache un métal. Malgré sa conviction : « *Je pense qu'il n'est pas trop risqué de prédire qu'un jour viendra où la nature métallique de la base de l'alun sera incontestablement prouvée.* » ses expérimentations n'aboutissent pas. Mais la voie est tracée...

1787 : le chimiste français **Louis-Bernard GUYTON DE MORVEAU (1737-1816)** qui baptise la « terre d'alun » ; alumine.

1789 : le chimiste français **Antoine Laurent LAVOISIER (1743-1794)** émet l'hypothèse générale selon laquelle les terres pourraient ne pas être des corps simples : « *Il est à présumer que les terres cesseront bientôt d'être comptées au nombre des substances simples. Elles sont les seules de cette classe qui n'aient point de tendance à s'unir à l'oxygène, et je suis bien porté à croire que cette indifférence pour l'oxygène tient à ce qu'elles en sont déjà saturées. Les terres, dans cette manière de voir, seraient peut-être des oxydes métalliques [...].* »

1808 : l'existence de l'aluminium est prouvée. Le chimiste et physicien anglais **Humphry DAVY (1778-1829)**, isole par électrolyse le sodium, le potassium, le baryum, le strontium et le calcium. Il échoue dans ses tentatives à isoler le métal contenu dans l'alumine mais lui donne sa première appellation « alumium ».

1821 : découverte du minerai (France - Baux-de-Provence). Le minéralogiste et ingénieur français **Pierre BERTHIER (1782-1861)** analyse un minerai des environs des Baux-de-Provence et identifie une forte teneur en alumine. Plus tard, ce minerai rouge auquel on donnera le nom de bauxite, s'imposera comme le principal minerai d'aluminium.

Ceci peut s'expliquer par le fait que l'aluminium, élément abondant qui constitue 8% de l'écorce terrestre, n'existe pas à l'état natif dans la nature, mais que sous forme combinée avec d'autres éléments, constitution qui masque sa nature métallique. Autre point pour sa production : la nécessité de produire une énergie suffisamment importante, que « [la fée électricité](#) » va pouvoir fournir à compter de 1820 pour sa découverte avec l'invention de la pile électrique par **Alessandro VOLTA (1745-1827)** en 1800 et à compter de 1870 pour sa production industrielle avec la première génératrice de courant (dynamo) inventée par **Zénobe GRAMME (1826-1901)**.



Alessandro Volta



Zénobe Gramme

Utilisé en Chine, en Egypte, dans l'Empire Romain comme médicament, depuis l'Antiquité, comme fixateur pour la teinture des textiles, l'alun, est le premier minerai d'aluminium exploité.

« *Inventer l'aluminium* » c'est avant tout réussir à séparer l'alumine (oxyde d'aluminium) de la bauxite (minerai), et ensuite à séparer l'aluminium de l'alumine.

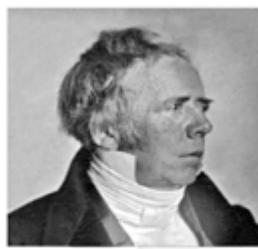
Une aventure intellectuelle, scientifique et technique qui a débuté vers 1754 pour aboutir en 1886 avec la découverte du procédé industriel de sa fabrication.



Humphry Davy



Pierre Berthier



Hans Christian Ørsted



Friedrich Wöhler

1825 : le chimiste danois **Hans Christian ØRSTED (1777-1851)** tente, en vain, d'obtenir l'aluminium à partir du chlorure dont il a réalisé la synthèse.

1827 : découverte de l'aluminium. Le chimiste allemand **Friedrich WÖHLER (1800-1882)**, en appliquant les méthodes que le physicien et chimiste danois Hans Christian Ørsted utilisa en 1825 sans succès. En les modifiant, il tente de réduire par la voie chimique le chlorure d'aluminium par le potassium. Il est le premier à obtenir le 22 octobre 1827 une poudre d'aluminium sous forme impure contenant du potassium résiduel, rendant cet aluminium attaquable par l'eau bouillante et ne suscitant que très peu d'intérêt. Wöhler reprend ses travaux en 1845 : il obtient de petits globules d'aluminium dont il mesure la densité du métal.

1852 : le chimiste allemand **Robert Wilhelm BUNSEN (1811-1899)** perfectionne les techniques d'électrolyse et réussit à préparer

par voie électrochimique divers métaux dont l'aluminium en utilisant pour ses expériences le minerai découvert par Pierre Berthier : la bauxite.

1854 : découverte du procédé de fabrication de l'aluminium. Par voie chimique : dans son laboratoire de l'École normale supérieure (ENS), le chimiste français **Etienne Henri SAINTE-CLAIRE DEVILLE (1818-1881)**, modifiant le procédé de M. Wöhler, obtient pour la première fois des globules d'aluminium pur, un procédé de réduction de chlorure double d'aluminium par le sodium. Il fait également des essais à l'aide de la pile électrique par voie électrochimique : en suivant la méthode générale de préparation des métaux déjà utilisée par Robert Wilhelm Bunsen, Henri Sainte-Claire Deville va obtenir de l'aluminium par électrolyse ignée, non pas à partir de la bauxite, mais en utilisant du chlorure double d'aluminium et le sodium fondu. Mais compte tenu du coût élevé de pro-

duction du courant électrique, le procédé électrochimique ne pouvait concurrencer le procédé chimique. C'est donc ce dernier que Deville va faire évoluer.

1886 : découverte du procédé de production industriel. De manière simultanée mais indépendante, le Français **Paul Louis TOUSSAINT HÉROULT (1863-1914)** et l'Américain **Charles Martin HALL (1863-1914)** mettent au point un nouveau procédé de production de l'aluminium en dissolvant de l'alumine dans un bain de cryolithe et en décomposant ce mélange par électrolyse pour obtenir le métal brut en fusion. Ils déposent des brevets la même année en 1886, Héroult le 23 avril et Hall le 9 juillet. Le procédé qui permet d'obtenir de l'aluminium de manière beaucoup plus économique va condamner celui de Henri Sainte-Claire Deville par voie chimique et s'imposer chez tous les producteurs.



Robert Wilhelm Bunsen



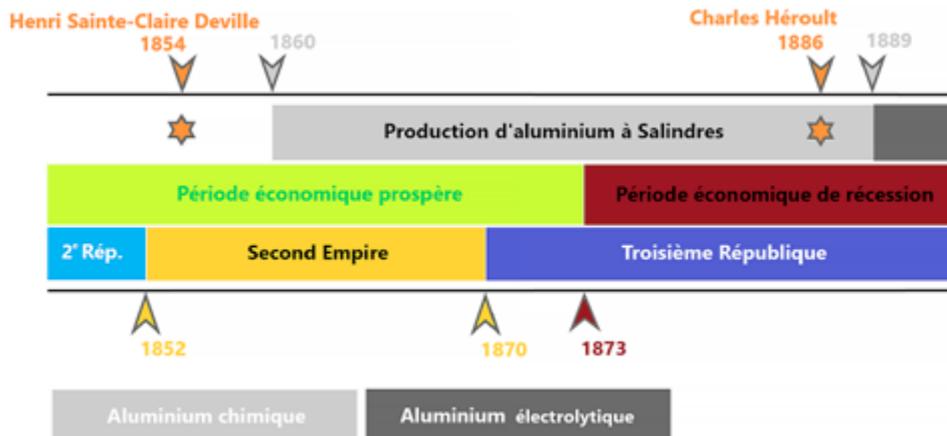
Henri Sainte-Claire Deville



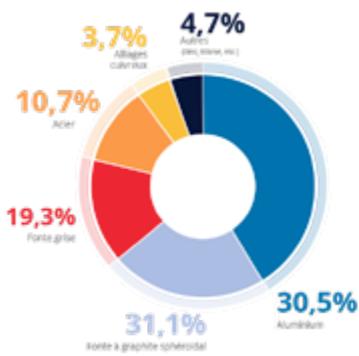
Charles Martin Hall



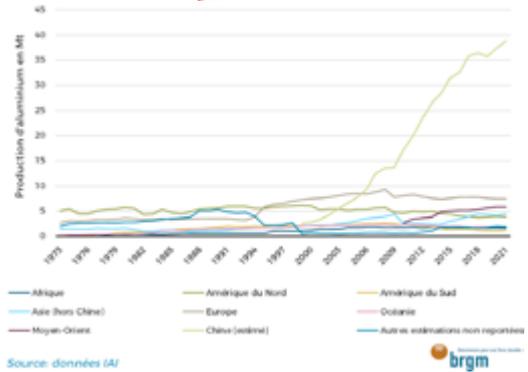
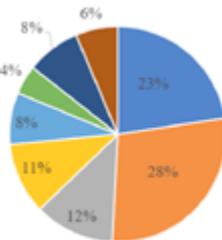
Paul Louis Toussaint Héroult



Découvertes des modes de fabrication par voies chimique et électrochimique, périodes de fabrication de l'aluminium et santé économique entre 1852 et 1900



- Construction
- Conditionnement
- Réseaux électriques
- Biens de consommation
- Transport
- Machine et équipement
- Secteur électrique hors réseaux
- Autres



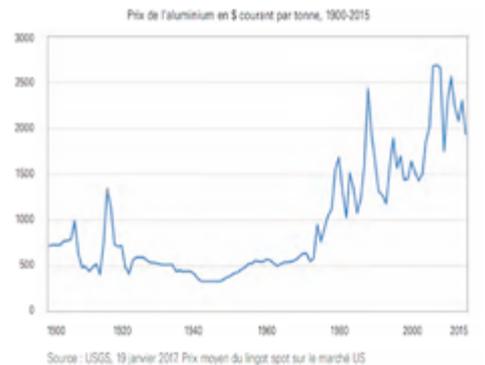
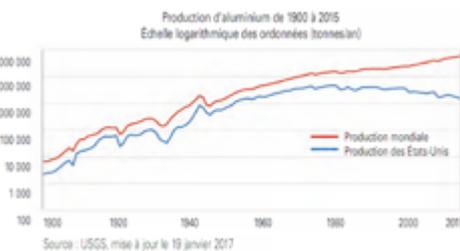
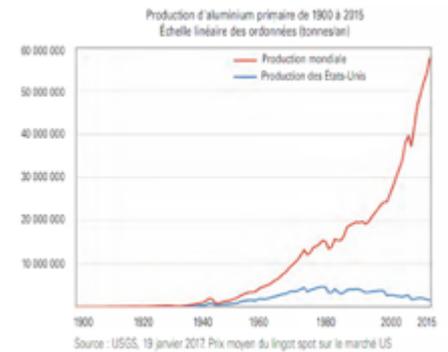
(G) Répartition de la fonderie par type d'alliage en 2022 - Source : Fédération Forge Fonderie
 (M) Utilisations finales de l'aluminium par secteur en 2017 - Source : World Aluminium, 2018
 (D) Evolution de la production d'aluminium primaire dans le monde entre 1975 et 2021 - Source : Minéral Info

Ce n'est qu'à partir de 1890 que la production deviendra industrielle. Considéré à sa découverte comme un métal semi-précieux, sans grand avenir sur le plan industriel compte tenu du coût de production, les avancées technologiques vont permettre d'en augmenter rapidement la production et avec cela ses applications. Associé à d'autres métaux, de nouveaux alliages à des compositions bien définies vont voir le jour : en 1906, l'Allemand **Alfred WILM (1869-1937)** invente le **duralumin** contenant du Cu (3-5 %), du magnésium (Mg) et du manganèse (Mn) en concentrations moindres, en 1920 le Hongrois **Aladar PACZ (1882-1938)** met au point l'alpax, un alliage de fonderie Al-Si à 12 % de silicium (Si) et progressivement jusqu'à nos jours, l'industrie met en place des grandes familles : Al - 1XXX ; Al-Cu - 2XXX ; Al-Mn - 3XXX ; Al-Si - 4XXX ; Al-Mg - 5XXX ; Al-Mg-Si - 6XXX ; Al-Zn-Mg - 7XXX afin de répondre aux besoins, faisant de l'aluminium l'un des métaux « Roi du monde », l'élément métallique le plus abondant de la croûte terrestre après le silicium et le **second métal le plus utilisé après le fer**.

Les chiffres du développement de la production mondiale d'aluminium primaire :

- 1885 : 2 500 tonnes (10% en France)
- 1918 : 120 000 tonnes (10% en France)
- 1945 : 1 500 000 tonnes (2,5% en France)
- 2010 : 40 000 000 tonnes (0,8% en France)
- 2021 : 67 000 000 tonnes (0,9% en France)

C'est à la vie, au travail et aux découvertes de **Etienne Henri Sainte-Claire Deville (1818-1881)** que nous allons nous attacher dans la partie suivante.



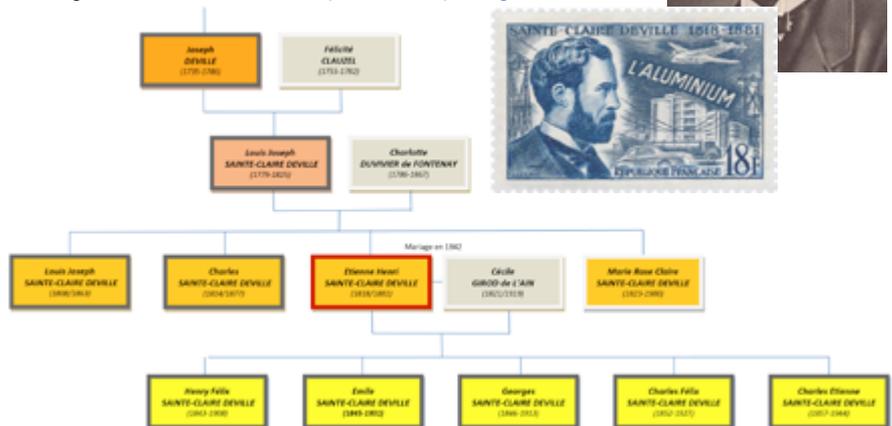
Henri Etienne SAINTE-CLAIRE DEVILLE (1818-1881)

1854 - Découverte du procédé chimique de fabrication de l'aluminium

Etienne Henri SAINTE-CLAIRE DEVILLE naît le 11 mars 1818 à Saint-Thomas (Antilles), fils de **Louis Joseph SAINTE CLAIRE DEVILLE (1779-1825)**, armateur et de **Henriette Charlotte DUVIVIER DE FONTENAY (1786-1867)** son épouse. 3^{ème} d'une fratrie de 4 enfants : **Louis Joseph (1808-1863)** Armateur ; **Charles (1814-1877)** Géologue ; **Etienne Henri (1818-1881)** Chimiste et **Marie Rose Claire (1823-1900)**.

En 1824, sa famille quitte les Antilles pour Paris. Après une brillante scolarité au collège Sainte-Barbe, en compagnie de son frère aîné Charles qui deviendra géologue, ayant obtenu en 1835 le baccalauréat ès-lettres, il débute des études de médecine.

Généalogie SAINTE-CLAIRE DEVILLE • Cliquez sur l'arbre pour l'agrandir





Louis-Jacques Thénard



Jean-Baptiste Dumas

Suivant à la Sorbonne les cours des chimistes Louis-Jacques THÉNARD (1777-1857) et de Jean-Baptiste DUMAS (1800-1884), il se passionne pour la chimie. Une passion qui va le pousser à créer son propre laboratoire dans un des greniers de la rue de la Harpe où il pratique diverses expériences. Il fait des recherches sur l'essence de térébenthine et c'est ainsi qu'il fit sa première découverte, celle du toluène contenu dans une résine naturelle, le baume de Tolu. Il poursuit ses travaux sur les essences végétales et il présente sa thèse de doctorat ès sciences sur ce sujet.

En 1841, il obtient le grade de docteur ès sciences physiques avec deux thèses : sur l'essence de térébenthine et sur la réfraction optique. La même année, il soutient sa thèse de médecine et obtient la licence de mathématiques.

En 1842, il épouse Cécile GIROD DE L'AIN (1821-1919). Il aura 5 enfants : Henry Félix

(1843-1908) Directeur des Manufactures d'Etat ; Emile (1845-1931) Ingénieur de la Compagnie du gaz ; Georges (1846-1913) Inspecteur des forêts ; Charles Félix (1852-1927) Colonel de la Cavalerie et Charles Etienne (1857-1944) Général de division.

>>> Séjour à Besançon <<<

En 1844, âgé de 27 ans, il est remarqué par MM. DUMAS et THÉNARD pour ses qualités de jeune savant. Il est envoyé à Besançon pour organiser la nouvelle Faculté des sciences qui a été victime des compressions budgétaires de la Restauration et qui en est restée au stade de l'inauguration. À la rentrée universitaire de 1845, sous la pression massive des personnalités locales, Paris vote les crédits nécessaires et la faculté des sciences entre en fonctionnement. Il y est nommé professeur de chimie et un poste de doyen lui est offert. Au cours des six années passées à Besançon, parmi ses travaux de recherche, deux vont lui apporter une renommée qui ne fera que croître au cours de sa carrière :

1. la municipalité de Besançon lui demande d'analyser les eaux du Doubs et celles des sources voisines de la ville. À cette occasion, il met au point

des méthodes analytiques nouvelles et pertinentes.

2. sa découverte expérimentale : isoler l'anhydride azotique.

Le 25 avril 1847, Il est promu Chevalier de la Légion d'honneur au titre de doyen de la faculté des sciences de Besançon.

>>> Les travaux de recherche en laboratoire à l'École Normale Supérieure <<<

En 1851, après avoir passé six années à Besançon, Il revient à Paris où il est nommé maître de conférences de chimie à l'École Normale Supérieure (ENS) sur le poste libéré par Antoine BALARD, nommé professeur au Collège de France. Il y trouve un jeune homme de vingt-quatre ans, M. Henri DEBRAY^[1] (1827-1888) entré à l'ENS en 1847 et attaché en 1850 au laboratoire de chimie comme agrégé préparateur. Liés bientôt d'une étroite amitié, H. DEBRAY va être associé aux recherches menées par H. DEVILLE et devenir rapidement son collaborateur.



Jules Henri Debray

[1] Jules Henri DEBRAY (1827-1888) : est né à Amiens le 26 juillet 1827, fils de Jacques Philippe DEBRAY (1786-1865) serrurier-mécanicien et de Joséphine SOULANGE BELCE (1788-1860), il a deux sœurs et un frère. C'est dans l'atelier paternel de la rue des Orfèvres qu'il apprend à manipuler la lime et le marteau. À l'âge de quinze ans, il suit, le soir, les cours publics de sciences appliquées de la ville d'Amiens. Remportant tous les prix dès la première année, il est remarqué des enseignants ainsi que de certains clients de l'atelier, pour beaucoup chefs de filatures. Ceux-ci convainquirent son père, qui a déjà un fils mécanicien, de faire apprendre le latin à Henri, ce qui permet à ce dernier d'être reçu bachelier à 18 ans. Envoyé à Paris, il suit pendant deux ans les cours du lycée Charlemagne. Au bout d'un an, il obtient le premier accessit de chimie au Concours général, puis le premier prix la seconde année. En 1847, il se présente à l'École normale supérieure (ENS) où il est admis grâce à l'indulgence perspicace de l'examineur de mathématiques. De caractère équilibré et agréable, Debray attire la sympathie et l'estime de

ses condisciples. Lorsqu'en juin 1848, le gouvernement de la République, en la personne de LAMARTINE, voulut avoir sous la main à titre d'officiers d'ordonnance des représentants des grandes écoles, DEBRAY est élu à l'unanimité par les élèves de l'ENS pour représenter la section des sciences. Reçu à l'agrégation en 1850, H. DEBRAY entre au laboratoire de chimie de l'ENS en tant qu'agrégé-préparateur de Jérôme BALARD.

En 1851 quand H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE qui a alors trente-trois ans, succède à BALARD comme maître de conférences à l'ENS, il y trouve un jeune homme de vingt-quatre ans, M. Henri DEBRAY. Liés bientôt d'une étroite amitié, H. DEBRAY va être associé aux recherches menées par H. DEVILLE et devenir rapidement son collaborateur. Ils vont ainsi travailler côte à côte pendant trente ans, une longue et fidèle col-

laboration qui va donner d'importants résultats. Formé durant son enfance au travail manuel dans l'atelier de serrurerie de son père, cette aptitude va être précieuse à H. DEVILLE lors de la fabrication d'appareils complexes. Il est difficile de dissocier le nom de Henri SAINTE-CLAIRE DEVILLE de celui de son collaborateur Henri DEBRAY à l'École normale. En 1855, il est nommé maître de conférences à l'ENS.

En 1856, à Paris, Henri DEBRAY épouse Alix Marie Camille MICHELLE (née en 1837) ; ils ont une fille, Jeanne DEBRAY (1857-1942).

En dehors des travaux sur l'aluminium, son œuvre est importante avec des études sur le glucinium, le molybdène, le tungstène, mais surtout sur le platine et les métaux qui l'accompagnent dans ses minerais. Sur ce point, la compétence et l'autorité de M. DEBRAY étaient hors de pair et reconnues universellement. Champ d'étude de prédilection sur lequel il va travailler plus de vingt ans avec son ami DEVILLE, créant une nouvelle métallurgie du platine et des métaux qui l'accompagnent : méthodologie pour la

fusion et détermination d'un grand nombre de leurs propriétés physiques et chimiques. Une autre étude très importante est celle sur la dissociation, étude ouverte par H. DEVILLE que M. DEBRAY va poursuivre, mettant en évidence par la mesure les conditions qui permettent ou limitent le phénomène afin de formuler les lois de manière précise. « **Quand M. DEBRAY publia ces lois sur la dissociation, H. DEVILLE fut sans doute heureux de voir que sa belle découverte recevait de si heureux développements ; mais je suis sûr qu'il fut plus heureux encore de penser qu'elle avait fourni à celui qu'il aimait si sincère-**

ment l'occasion d'un travail qui fera vivre son nom »

➤ **Source :**

La Nature N°793 - 11 août 1888 par Denis Blaizot.

M. H. Debray va succéder à H. DEVILLE à la Faculté et à l'ENS. Il va maintenir le laboratoire fondé par H. DEVILLE, lieu où l'on trouvait l'hospitalité scientifique ; les encouragements et les conseils du maître, au rang important qu'il n'avait jamais cessé d'occuper dans la science, de par ses travaux personnels mais aussi par des découvertes remarquables qui y seront accomplies par d'autres chimistes.

Il sera professeur au lycée Charlemagne, puis au lycée Napoléon (aujourd'hui lycée Henri IV), professeur à la Sorbonne où il succède à son maître Henri DEVILLE de 1875 à 1888). Il exercera pendant sept ans les fonctions d'examineur d'admission à l'École polytechnique. En 1868, il est nommé directeur du Bureau de la Garantie et prend la suite de VAUQUELIN et de GAY-LUSSAC. Il est promu le 12 août 1864 au grade de Chevalier de la Légion d'honneur et d'Officier le 29 décembre 1885.

Le 19 juillet 1888, Henri DEBRAY décède à Paris à l'âge de 61 ans.

En 1853, M. Paul François MORIN [2] (1818-1879), futur directeur de l'usine d'aluminium à Nanterre de 1857 à 1869, devient préparateur au laboratoire de chimie de l'ENS.

Dès son arrivée à l'ENS, DEVILLE prend l'habitude de recevoir le dimanche après-midi dans son laboratoire transformé en salon, ses collaborateurs comme Henri DEBRAY, Louis Joseph TROOST, Paul Gabriel HAUTEFEUILLE, Nicolas ISAMBERT, Alfred DITTE, Alexandre JOLY ; confrères comme Friedrich WÖHLER, Michael FARADAY ; collègues comme Louis PASTEUR ; mais aussi des hommes de lettres, philosophes, historiens comme Hippolyte TAINÉ et Ernest RENAN ; des ingénieurs comme Louis LE CHATELIER ; des hommes politiques comme Adolphe THIERS, Victor DURUY, ministre de l'instruction publique, auquel il s'adressait directement lorsque ses crédits étaient épuisés par suite de la trop grande activité de son laboratoire.



M. Henri SAÏNTE-CLAIRE DEVILLE entouré de ses collaborateurs, donnant en 1878 une leçon de chimie sur les composés de l'aluminium, dans l'amphithéâtre de physique et chimie de l'ancienne Sorbonne, Paris. De gauche à droite : MM. DITTE, HAUTEFEUILLE, SAÏNTE-CLAIRE DEVILLE, DEBRAY, TROOST et JOLY.



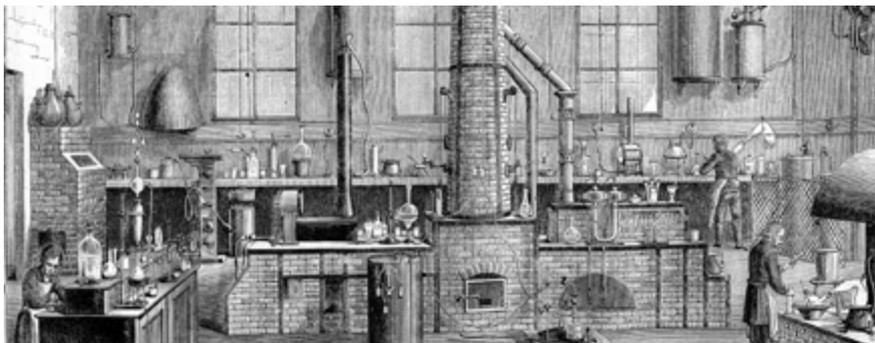
Paul François Morin

[2] Paul François MORIN (1818-1879) : est né à Romorantin (Loir-et-Cher) le 12 septembre 1818, fils d'un père commissaire de police. Il y passe une partie de son enfance puis à Saint-Germain-en-Laye. Titulaire du baccalauréat ès lettres à 17 ans, il étudie ensuite le droit à Paris. Bibliothécaire entre 1845 et 1848, il devient ensuite professeur libre à Paris et découvre la chimie en 1853, devient

préparateur au laboratoire de l'ENS du scientifique et homme politique influent, Jean-Baptiste DUMAS. C'est dans ce laboratoire que Paul MORIN rencontre Henri SAÏNTE-CLAIRE DEVILLE qui vient de mettre au point en 1854 le procédé de fabrication de l'aluminium pur. En 1857, DEVILLE et ses partenaires décident de créer une société pour développer le procédé Deville à l'échelle industrielle : la Société Paul Morin & Cie. Implantée à Nanterre où sont loués les locaux du Moulin noir. Durant treize années Paul MORIN se consacre à la société et à l'aluminium qui à compter de 1860 est fabriqué à Salindres (Gard) mais transformé et mis en forme à Nanterre. Il cherche d'autres débouchés et développe un alliage : le « bronze d'aluminium ». En 1862, il présente

ses réalisations à l'Exposition universelle de Londres. Le 21 janvier 1863 il est promu Chevalier de la Légion d'honneur. Régulièrement mis en cause pour sa gestion de l'entreprise, il quitte définitivement en 1869 le monde de l'industrie pour celui de la politique. Au Moulin noir, le travail de l'aluminium continue encore pendant dix années, la société étant reprise par la Société anonyme de l'aluminium. Entre 1870 et 1879, Il occupera les fonctions suivantes : Maire de Nanterre sur la période 1870 à 1876. Député de la Seine du 2 juillet 1871 au 15 décembre 1875, Sénateur inamovible de la Seine du 15 décembre 1875 au 23 janvier 1879.

Paul Morin décède à Nanterre le 23 janvier 1879 à l'âge de 61 ans



Le laboratoire de chimie de l'ENS au 19^e siècle

Dans ce lieu se déroulaient des réunions extrêmement animées, parfois agrémentées par l'utilisation de ses appareils comme par exemple, un jour où il fait assister ses hôtes à la première fusion d'une grande masse de platine.

Pour ses études, DEVILLE va transformer son laboratoire en centre d'études métallurgiques, seul endroit au niveau européen et on peut dire mondial à cette époque où étaient réunies toutes les techniques pour traiter des expériences à des températures élevées (Avec Jules Henry DEBRAY, SAINTE-CLAIRE DEVILLE va mettre au point la fusion du platine [Pt fusion 1768°C] au chalumeau oxyhydrique).

Fabrication de l'aluminium chimique : en 1853, dans son laboratoire de l'ENS, où il y restera toute sa vie, en modifiant le procédé de Friedrich WÖHLER (il remplace le potassium par le sodium et emploie le chlorure d'aluminium en excès), par un procédé de réduction de chlorure double d'aluminium par le sodium, il obtient pour la première fois des globules d'aluminium pur par voie chimique.

Après avoir étudié le métal obtenu, enthousiasmé, il précise dans sa note aux comptes rendus de l'Académie des sciences du 6 février 1854 : « On comprendra combien un métal blanc et inaltérable comme l'argent, qui ne noircit pas à l'air, qui est fusible, malléable, ductile et tenace, et qui présente la singulière propriété d'être plus léger que le verre, combien un pareil métal pourrait rendre de services s'il était possible de l'obtenir facilement. Si l'on considère, en outre, que ce métal existe en proportions considérables dans la nature, que son minerai est l'argile, on doit désirer qu'il devienne usuel. J'ai tout lieu d'espérer qu'il pourra en être ainsi ».

Alors que WÖHLER avait pu à partir des globules obtenus en 1845 établir la densité du nouveau métal, SAINTE-CLAIRE DEVILLE dans cette première communication, y annonce ses propriétés : « L'aluminium est malléable et ductile au plus haut point. On peut le

réduire à l'état de lames très minces ou de fils très fins. Son point de fusion est peu différent du point de fusion de l'argent, il conduit très bien la chaleur. L'aluminium est complètement inaltérable à l'air sec ou humide. L'acide nitrique faible ou concentré n'a aucune action sur lui. »

Cette communication relatée dans la presse lui apporte de la reconnaissance mais aussi des protestations de la part de personnes voulant protéger les intérêts de WÖHLER. Jean-Baptiste DUMAS qui admirait le travail de DEVILLE prend sa défense dans une communication de l'Académie des Sciences dont voici quelques extraits : « En ce qui concerne la découverte de l'aluminium, qui donc a eu la pensée de mettre en doute les droits évidents de M. WÖHLER ? Ce qu'on dit, c'est que M. DEVILLE, ayant obtenu facilement l'aluminium pur, avait constaté :

1. *Que ce métal peut se fondre et se couler en lingots sans s'oxyder.*
2. *Qu'il se travaille très facilement au marteau, qu'il se comporte au laminoir comme l'argent.*
3. *Que les recuits ne l'altèrent pas.*

A tous ces titres, M. DEVILLE a donc révélé à l'industrie l'existence d'un nouveau métal, qui est fait pour devenir usuel... En répétant que M. WÖHLER a découvert l'aluminium, on peut donc répéter aussi que M. DEVILLE croit l'avoir obtenu plus pur et avoir révélé ses qualités au point de vue industriel... » « Je conclus, disait-il, que l'aluminium est susceptible de devenir un métal usuel ; en effet, il est remarquable par son inaltérabilité à l'air, par sa résistance aux acides autres que l'acide chlorhydrique, par ses propriétés physiques pour lesquelles il est permis de le comparer à l'argent, par sa densité si faible qu'elle égale à peine celle du verre et lui assure, de ce fait, des applications particulières, par l'innocuité absolue de ses combinaisons avec les acides peu énergiques. »

En plus des propriétés énoncées ci-dessus, SAINTE-CLAIRE DEVILLE met en évidence sa grande conductibilité électrique. Au moyen de l'appareil de Wheatstone II en déduit que l'aluminium conduit le courant huit fois mieux

que le fer. Dans ses publications, DEVILLE insiste aussi sur l'abondance de l'aluminium dans la nature et pour cette raison, de son grand avenir dans l'industrie.

Il obtient la première année 5 kg d'aluminium au coût de 900 fr/kg.

Malgré la décroissance du prix au kilogramme au cours des années : 300 fr en août 1856, 101 fr en 1860, 72 fr en 1863, pour atteindre 61 fr en 1880, 36 ans après sa découverte, la fabrication de l'aluminium par voie chimique sera arrêtée en 1890, date à laquelle le prix du kg d'aluminium électrolytique utilisant le procédé Héroult n'est que de 29,6 fr puis de 6 fr en 1892...

Fabrication de l'aluminium électrolytique: la même année en 1854,

il montre également que l'aluminium peut être aussi obtenu par électrolyse ignée du chlorure double d'aluminium et de sodium (AlCl₃, NaCl) fondu. Pour cela, il suit la méthode générale de préparation des métaux utilisée deux ans auparavant à partir de la bauxite par le chimiste allemand **Robert Wilhelm BUNSEN** (1811-1899) pour la préparation du magnésium. SAINTE-CLAIRE DEVILLE fait part de ses travaux et nouveaux résultats à l'Académie le 14 août 1854, juste après la publication par BUNSEN d'un mémoire sur la préparation de l'aluminium par la pile. BUNSEN, fut piqué au vif par l'appropriation de sa méthode et des divergences d'opinion sur certaines propriétés du métal, et donna lieu à quelques échanges de notes entre les deux confrères. L'incident n'eut pas de suite. Le 14 janvier 1855, DEVILLE publie un mémoire dans les Annales de Physique et de Chimie « [Recherche sur les métaux et plus particulièrement sur l'aluminium et sur une nouvelle forme du silicium](#) ».

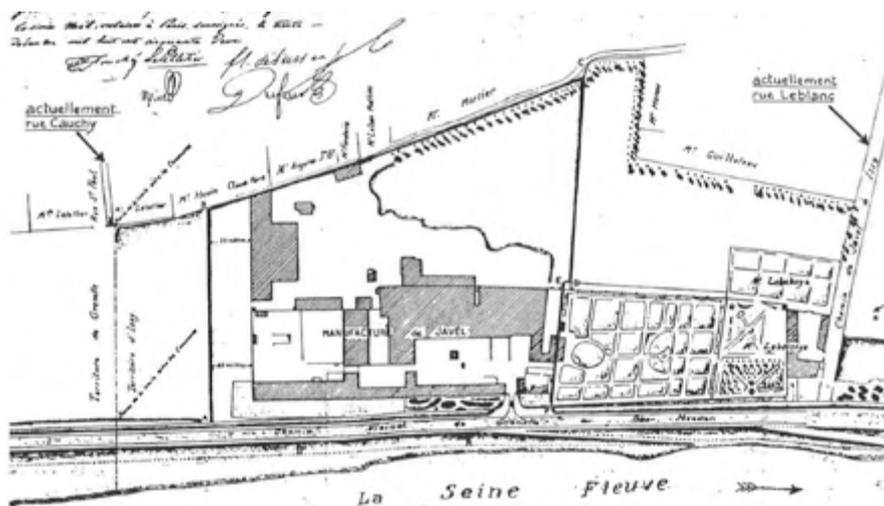
➤ Source : BnF Gallica

Malgré l'intérêt porté par les deux chimistes sur cette méthode, le coût de l'énergie électrique, produite par des piles au zinc, condamne pour le moment ce procédé.

C'est donc le procédé chimique que SAINTE-CLAIRE DEVILLE choisit de développer industriellement.

Le 13 mars 1855, il est promu Officier de la Légion d'honneur au titre de maître de conférences à l'ENS. Napoléon III, qui portait un grand intérêt à la production de l'aluminium nomma le même jour Friedrich WÖHLER Officier de la Légion d'honneur.

En 1856, le chimiste français Henri DEBRAY, assistant de Henri SAINTE-CLAIRE DEVILLE fait connaître la préparation et les propriétés du « bronze d'aluminium », alliage de 85 à 95 % de cuivre et 5 à 15 % d'aluminium.



La manufacture de Javel où fut mise au point la fameuse Eau de Javel et coulés les premiers lingots d'aluminium. Téléchargez l'histoire de la manufacture Source - Société Chimique de France

>>> L'usine de Javel <<<

Suite à l'intervention de M. Jean-Baptiste DUMAS auprès de S. M. l'Empereur Napoléon III, SAINTE-CLAIRE DEVILLE est aidé pour ses travaux. Une subvention de 175 000 francs or lui est allouée. Il consacre alors toute son activité à essayer de mettre au point un procédé industriel suffisamment rentable pour le pérenniser.

En 1855, M. CHANU fonde à proximité de Rouen, Amfreville-la-Mi-Voie, usine devant utiliser le procédé Sainte-Claire Deville.

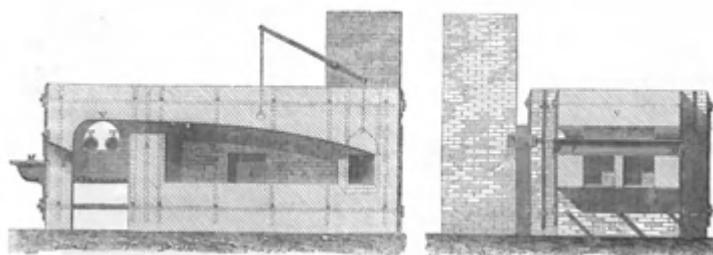
Au mois de mars 1855, il s'installe aux frais de S. M. l'Empereur dans un hangar appartenant à la manufacture de produits chimiques de Javel que le directeur-gérant M. MELDON DE SUSSEX a bien voulu mettre à sa disposition.

Durant deux mois, SAINTE-CLAIRE DEVILLE installe et met en service des appareils qui, sur le principe de ceux du laboratoire de l'ENS, vont produire l'aluminium à plus grande échelle.

Utilisant la propriété de malléabilité de l'aluminium, Sainte-Claire Deville, en sympathie envers son confrère Friedrich Wöhler, fait frapper avec le premier aluminium obtenu, une médaille à l'effigie du chimiste allemand, marquée de son nom et de 1827, année de ses premiers travaux sur l'aluminium. Envoyée au chimiste, celui-ci, reconnaissant de ce geste va se lier d'amitié à Sainte-Claire Deville, dont il deviendra le collaborateur pour des travaux de recherche dont ceux sur le bore et le titane. Friedrich Wöhler, lui gardera fidèlement son amitié jusqu'à la fin de sa vie.

La production d'aluminium sera effective du 15 juin jusqu'au 29 juin 1855, date à laquelle les expérimentations sont interrompues, suite au désaccord entre le directeur **M. DE SUSSEX** et **MM. Charles et Alexandre TISSIER**, jeunes chimistes attachés au laboratoire de Javel qui étaient pressentis pour piloter la nouvelle usine fondée en 1855 par **M. CHANU** à proximité de Rouen, Amfreville-la-Mi-Voie, usine devant utiliser le procédé Sainte-Claire Deville.

En quelques semaines, le procédé fut perfectionné. Obligé de restituer les lieux, plusieurs kilogrammes d'aluminium pur avaient malgré tout été produits. Les deux chimistes sont alors admis dans le laboratoire de Sainte-



Four pour la fabrication en continue du sodium à l'usine Javel

>>> L'alumine est fabriquée à partir d'alun ammoniacal synthétique du commerce ou de sulfate d'alumine impur, par calcination. Elle contient du fer comme impureté. On la mélange avec du goudron de houille et c'est par réaction à chaud du chlore sur ce mélange qu'on obtient le chlorure d'aluminium.

Le sodium est obtenu par réduction du carbonate de soude par la houille, en présence de craie qui facilite la circulation du sodium gazeux, dans des cylindres « T » en fer (1200 mm de longueur, 140 mm de diamètre intérieur et 12 mm d'épaisseur). L'aluminium, enfin, résulte de l'action du chlorure d'aluminium, gazeux dès 200°C, sur le sodium <<<

Claire Deville et initiés par lui-même pour le démarrage des installations de l'usine de Rouen.

A la demande de M. CHANU et MM. TISSIER, une étude est lancée sur la décomposition par le sodium d'un minéral récemment introduit sur les marchés industriels du Danemark et de Prusse, sous l'appellation de cryolithe. Des essais réalisés à Londres par le **Dr PERCY** et à Berlin par **M. H. ROSE** avaient permis d'en extraire de l'aluminium.

L'usine de Rouen, Amfreville-la-Mi-Voie, fermera au printemps 1956 et sera reprise par **M. W. MARTIN** avec à sa tête les Frères TISSIER.

Yves LICCIA - ATF

Dans le prochain numéro de **TECH News FONDERIE**, seront traités les chapitres : *L'aluminium, nouvel or blanc de Napoléon III ; Paris, l'usine de la Glacière ; Nanterre, l'usine du Moulin noir ; Salindres, la Compagnie des Produits Chimiques d'Alais et de la Camargue Henry Merle & Cie et les autres travaux de Sainte-Claire Deville.*

OFFRES D'EMPLOI

Chef d'Atelier Fonderie (F/H)	S.I.F.	VOIR L'ANNONCE
Technicien Méthodes (F/H)	FBM	VOIR L'ANNONCE
Alternant BTS Fonderie (F/H)	FONDERIE D'ANOR	VOIR L'ANNONCE
Technicien qualité (F/H)	FOCAST SAINT-DIZIER	VOIR L'ANNONCE
Technicien BE / méthodes (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Ingénieur qualité (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Electromécanicien maintenance (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Commercial (B to B) (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Chef d'équipe maintenance (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Technicien Méthodes (F/H)	CRONITE	VOIR L'ANNONCE
Couleur (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Fondeur (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Modeleur Traditionnel (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Tourneur Fraiseur (F/H)	PTP INDUSTRY	VOIR L'ANNONCE
Technicien laboratoire métallurgique (F/H)	FAD	VOIR L'ANNONCE
Responsable Contrôle Qualité produit (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Technicien confirmé Qualité Atelier Fonderie (F/H)	FDB	VOIR L'ANNONCE
Commercial expérimenté (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Coordinateur Technique Finition (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Deviseur Usinage (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Ingénieur Qualité (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Responsable usinage (F/H)	FMGC	VOIR L'ANNONCE
Chef d'équipe (F/H)		VOIR L'ANNONCE
Technico-commercial export (F/H)	ALUMINIUM MARTIGNY	VOIR L'ANNONCE
Responsable Environnement-Hygiène-Sécurité (F/H)	FFF	VOIR L'ANNONCE
Agent de Maîtrise Moulage (F/H)	FGHM	VOIR L'ANNONCE
Coordinateur QHSE (F/H)	FONDERIE GIROUD	VOIR L'ANNONCE
Technicien méthodes (F/H)		VOIR L'ANNONCE

Découvrez les autres offres d'emploi sur le site ATF • [Cliquez ici](#)

ALUMINIUM MARTIGNY	P 29
AMETEK	P 50
ATF	3 ^e de couverture
CALDERYS	P 23
ERVIN	P 12
ESI GROUP	P 18
FOSECO	Publi-reportage P 32
GTP SCHAFFER	P 04
HUTTENES ALBERTUS	P 07
HW SINTO	Publi-reportage P 30
INOMETAL	P 60
JOEST	P 47
LAEMPE+R	P 35
MAGMA	P 38
RESAND	P 59
SCOVAL	P 17
SiiF	2 ^e de couverture
SIMPSON	4 ^e de couverture
WINOA	P 50



Réduisez de 80% vos achats de sable neuf

Resand.
Recyclage thermo-mécanique sur site

06.80.28.01.69 - philippe.diaz@resand.eu



Adhérer en 2024

c'est donner du sens à nos actions,
soutenir la profession

DES OUTILS ET DES ACTIONS EN 2024 :

- Une revue numérique **TECH News FONDERIE** dont les 7 numéros annuels vous sont envoyés par mail,
- Un site internet : atf.asso.fr qui vous permet de suivre en ligne notre calendrier d'événements, nos activités, la vie de l'association, l'accès à la bibliothèque des revues et donc à tous les articles techniques,
- Des formations Cyclatef® inter et intra entreprises pour vos techniciens et ingénieurs,
- Des tarifs privilégiés pour des activités variées : Fondérales, journées d'étude et visites de sites de production à travers toute la France, sorties Saint-Eloi en région en collaboration avec l'AAESFF,
- Un soutien à l'emploi : accès aux profils des entreprises pour vos recherches d'emploi et à une insertion gratuite dans la rubrique demandes d'emploi de la revue, sur le site internet et les réseaux sociaux.

... Et déduire jusqu'à 66 % sur vos impôts

L'ATF étant un organisme d'utilité publique : vous pouvez déduire jusqu'à 66% de votre adhésion annuelle (dans une limite de 20% du revenu net imposable).

PERSONNE PHYSIQUE

Pour devenir membre
CLIQUEZ ICI

Exemple :
une cotisation de 85€
ne coûte finalement
que 30€.

PERSONNE MORALE

Pour devenir membre
CLIQUEZ ICI



Logiciel de Simulation pour Fonderies

- Prédiction des défauts métallurgiques
- Facilité d'utilisation
- Calculs ultra rapides
- Formations certifiées Qualiopi

Système d'Analyse Thermique Avancée

- Réduction des variations & défauts métallurgiques
- Amélioration mise au mille
- Réduction consommation énergétique
- Intégration industrielle par nos ingénieurs en 3 mois

novacast.se

VOTRE CONTACT



Cédric Burkhard
INOMETAL SARL 
Tél: +33 (0) 3 26 47 39 93
Email: c.burkhard@inometal.com

COULEE AUTOMATIQUE

- > 25 ans d'expérience
- > Optimisation process coulée
- > Réduction coûts de production
- > Amélioration qualité produit
- > Solutions sur mesure
- > Système clés en main
- > Rétrofit ou nouveau système




Coulée automatique EASYpour™ intelligence artificielle

Plus d'information sur <https://www.pour-tech.com>

VOTRE CONTACT



Cédric Burkhard
INOMETAL SARL 
Tél: +33 (0) 3 26 47 39 93
Email: c.burkhard@inometal.com

L'A.T.F remercie toutes les entreprises adhérentes en 2024

Si comme elles, vous souhaitez soutenir l'A.T.F.,
complétez le [bulletin d'adhésion ici](#) et retournez-le à
l'adresse mail : atf@atf-asso.com

