

LA REVUE

forge et fonderie

DEC | 2018

N°16

Au sommaire

- 7** Etude du Forgeage Multi-matériaux de plusieurs couples d'alliages
- 36** « L'Usine Extraordinaire » : un extraordinaire succès
- 41** METALDAYS CTIF 2018, 7 et 8 novembre à Chaville
- 56** Robotique et transformation de l'entreprise, clés de l'usine du futur



**Votre partenaire
maintenance et usinage**

Solutions & Services pour l'Industrie

- Maintenance corrective et préventive
- Fourniture et usinage de pièces de rechange
- Usinage sur site
- Reconstruction et mise en conformité
- Vente de machines neuves et occasion
- Conseil, Accompagnement, Projet



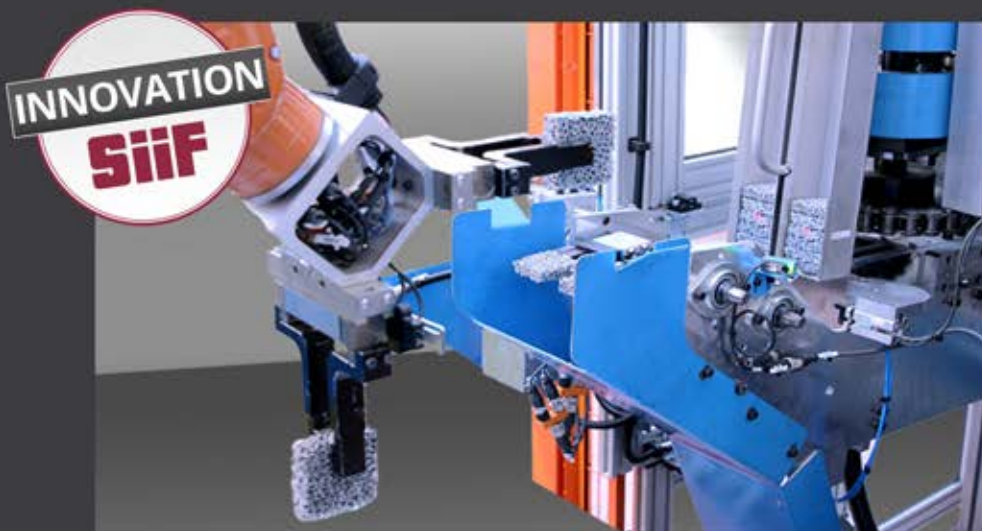
Route de Courpière - F-63920 Peschadoires - France
T +33 (0)4 73 80 17 68 - F +33 (0)4 73 80 52 14
E-mail : ampcf@actemium.com
www.actemium.fr - www.aref.fr

Siif

and your casting fits

LE PROCESS DE FINITION SUR-MESURE POUR VOTRE FONDERIE

LES NOUVEAUTÉS 2018 !



LE 1^{er} DISTRIBUTEUR DE FILTRES ROBOTISÉ

Mise en place en automatique des filtres dans un moule par robot.



DESSABLEUSE DOUBLE ROTATIVE

La seule qui peut traiter 2 pièces avec martelage, vibration et retournement combinés sur la même machine.

REFROIDISSEMENT



DESSABLAGE



ÉBAVURAGE ROBOTISÉ



ÉBAVURAGE DÉTOUREUSE



VISION, CONTRÔLE ET INSPECTION



SCIAGE ET PRÉ-USINAGE



Siif S.A.S.

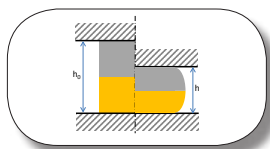
130 rue Léonard de Vinci

56850 Caudan - FRANCE

info@siif.fr - +33(0)2 97 81 04 30

www.siif.fr

Sommaire N° 16/2018



EDITORIAL

- 5** Au milieu du gué, prenons de l'élan...



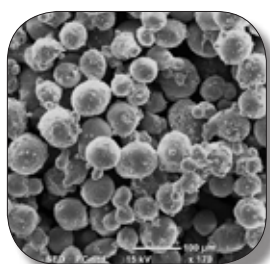
TECHNIQUE

- 7** Etude du Forgeage Multi-matériaux de plusieurs couples d'alliages



- 16** Forgeage isotherme

- 21** Conception pour la fabrication additive : Moule et noyaux sable multimatériaux



FORMATION

- 30** La proclamation des résultats et la remise des prix pour la promotion 2018 de l'ESFF.



EVENEMENT

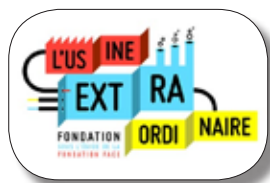
- 36** « L'Usine Extraordinaire » : un extraordinaire succès

SALONS ET CONFERENCES

- 41** METALDAYS CTIF 2018, 7 et 8 novembre à Chaville

- 55** EUROFORGE conFAIR 2018 à Berlin : grand succès pour une première

- 56** Robotique et transformation de l'entreprise, clés de l'usine du futur





VIE DE LA PROFESSION

- 61** Une nouvelle compétence dans l'équipe de la Fédération
62 Un nouveau Président à la tête de l'ESFF



AGENDA

- 63** Les rendez-vous de la profession



LA REVUE **forge et fonderie**

Revue professionnelle trimestrielle
éditée par CIFORGE.

CIFORGE

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

Directeur de la publication

Nicolas Grosdidier

Rédacteur en chef

Wilfrid Boyault

Comité de rédaction

Wilfrid Boyault, P. Lubineau,
C. Macke-Bart, A. Pointard,
P.-H. Renard

Rédaction

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

Abonnement

4 numéros : 95,34 € TTC

ISSN 2493-5824

Publicité

Régie Publicitaire F.F.E. (Française de
Financement et d'Édition)
15 rue des Sablons - 75116 Paris
Responsable de publicité :
Isabelle de la Redonda
Tél. : 01 53 36 20 42, i.redonda@ffe.fr
Responsable technique :
Laura Méchineau
Tél. : 01.43.51.91.76, laura.mechineau@ffe.fr

Les publicités paraissent sous la seule
responsabilité de leurs annonceurs.
Les articles sont rédigés sous la respon-
sabilité de l'auteur, leur contenu (textes
et visuels) n'engage pas la revue.

Toute reproduction, même partielle,
d'articles ou d'illustrations nécessite
l'autorisation préalable de la rédaction.

Tirage : 3 500 exemplaires

Impression

Printcorp



Imprimé sur papier recyclé et encres
100 % végétales

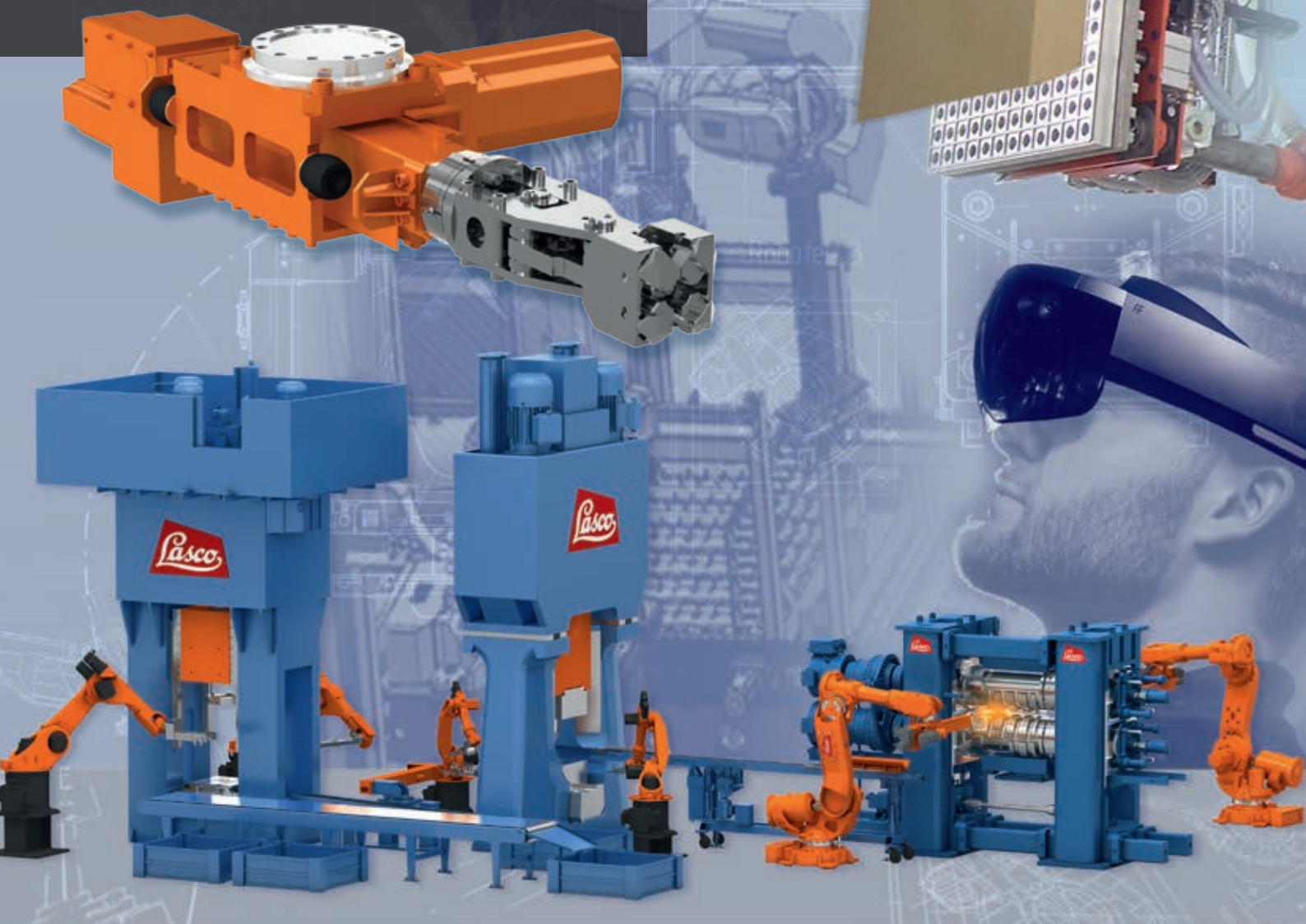
Photo de couverture

Eric Girardot

LASCO

Automation & Robotics

Tous secteurs d'activité



Procédés industriels 4.0

avec des solutions de robotique et d'automatisation intelligentes LASCO

Efficacité et flexibilité ➔ à la pointe de la technologie
1000 fois éprouvés de par le monde



**LASCO UMFORMTECHNIK
WERKZEUGMASCHINENFABRIK**

Hahnweg 139 - 96450 Coburg ALLEMAGNE
Phone +49 9561 642-0

Lasco
lasco.com

Au milieu du gué, prenons de l'élan...

A l'heure d'écrire ces lignes, il faut rassembler toutes ses réserves d'optimisme pour imaginer et souhaiter une année 2019 heureuse, prospère, pleine de joie et de concorde.

Shutdown en cours outre-Atlantique, premier acte de ce que va être le rapport de force Démocrates/Républicains dans les deux prochaines années, fin du pire mois de décembre à Wall Street depuis 1931, fin de la plus mauvaise année sur les marchés boursiers européens depuis 2008, bourses asiatiques au diapason, Brexit semble-t-il inéluctable, mais à des conditions toujours des plus incertaines pour les opérateurs économiques, guerre commerciale USA Chine, marché automobile mondial confronté à la désaffection pour le diesel et à l'évolution vers plus d'électrique ... on pourrait poursuivre ce constat planétaire tous azimuts ... avant de revenir vers ce que nous avons ici, sous nos yeux ... et ceux du reste du monde, depuis le mois de novembre, une France qui règle, si ce n'est son activité économique, du moins son agenda politique, sur l'évolution du mouvement des « gilets jaunes ».

Faut-il pour autant désespérer ?

Décalons un peu le regard ... pour constater que tant au plan national que sur celui de l'industrie, en général, et des professions de la fonderie, de la forge et du moule et prototype, en particulier, nous sommes en réalité au milieu du chemin.

La réforme du marché du travail français reste ainsi encore à réaliser pour moitié puisque, de fait, la refonte totale de la formation, le second pilier sur lequel elle repose, reste à être mise en place en pratique (ce qui suppose encore des changements structurels à intervenir, comme, notamment, la réduction du nombre de branches professionnelles).

De même, sur le plan de la politique industrielle, si l'Etat a remis sur le métier l'ouvrage, en demi-teintes, des filières et que certaines d'entre elles, nouveau format, sont d'ores et déjà à l'œuvre (notamment la PFA, plateforme automobile), d'autres, par exemple la filière Mines et Métallurgies dont la Fédération Forge Fonderie est également membre, n'entreront en action que dans les prochaines semaines.

Et pour ce qui est de la problématique de l'effet levier qui devra résulter d'un accompagnement des PMI à la digitalisation et à la pleine participation à ce qu'il est convenu d'appeler « l'usine du futur », là encore, une partie du chemin reste également à faire. Avec, espérons-le, un utile éclairage qui sera donné par le rapport de la mission Cattelot Grandjean sur les plateformes de l'industrie du futur... et les centres techniques industriels, rapport qui devrait être rendu d'ici la fin du premier trimestre 2019.

Enfin, c'est l'ensemble des outils professionnels au service des entreprises de fonderie, forge, moule et prototype qui est lui-même encore en cours d'évolution.

D'abord, non sans lien avec la réforme globale en cours, en 2018, une réflexion a été conduite sur les besoins et l'outil nécessaire à une formation continue pertinente et performante pour les entreprises du secteur. Ce travail, mené dans le cadre des instances d'A3F, a pu déboucher sur un diagnostic et des pistes d'évolution qui restent maintenant à être mises en œuvre concrètement.

Dans le même temps, là encore en lien avec la réflexion plus globale sur l'organisation, le financement et le futur des centres techniques industriels, sous l'impulsion des professions et des présidents du CETIM et du CTIF, un travail a été lancé pour identifier les synergies et actions qui pourraient être partagées concrètement entre les deux centres à l'avenir.

Et puis, comme vous le savez, 2018 a été pour la Fédération Forge Fonderie une année de profonde restructuration afin de configurer une organisation professionnelle pour demain, en conjuguant deux impératifs : réalisme économique et équipe de spécialistes de qualité aux services des entreprises adhérentes.

Mais là encore, si la constitution de cette équipe est à ce jour quasiment finalisée, avec des collaborateurs d'ores et déjà à l'entière disposition de leurs interlocuteurs, une part du chemin reste à faire. Pour optimiser encore les modalités de fonctionnement, les instances dirigeantes de la Fédération Forge Fonderie, des Fondateurs de France et de l'Association Française de Forge ont pris la décision de principe de fusionner leurs structures. C'est la part du chemin qui reste à être parcourue en 2019.

Alors oui, très bonne année à toutes et tous et, dans la dynamique du grand succès de l'Usine Extraordinaire¹, ... au milieu du gué, prenons de l'élan.



Nicolas Grosdidier
Président
Fédération Forge Fonderie



Wilfrid Boyault
Directeur général
Fédération Forge Fonderie

¹ : Voir l'article consacré à l'événement en page 36



TRANSVALOR **INTERNATIONAL** **SIMULATION** **DAYS**

GLOBAL SOLUTIONS FOR MANUFACTURING PROCESSES

15 | 17
OCTOBER 2019

FRANCE
BEACHCOMBER
SOPHIA ANTIPOLIS

REM3D®

THERCAST®

FORGE®

COLDFORM®

TRANSWELD®

DIGIMU®

> TISD2019.TRANSVALOR.COM

Laurent LANGLOIS ⁽¹⁾
LCFC, ENSAM campus de
Metz

Sandra CHEVRET ⁽¹⁾
LCFC, ENSAM campus de
Metz

Mohamed ENAIM ⁽¹⁾
LCFC, ENSAM campus de
Metz

Xavier LEDOUX ⁽²⁾
CETIM Grand-Est

Pierre KRUMPIPE
du Cetim Saint Etienne

Etude du Forgeage Multi-matériaux de plusieurs couples d'alliages

acier – acier, acier – alliage de titane,
cuivre - aluminium

Le projet d'étude du forgeage multi-matériaux a été mené dans le cadre du Laboratoire de Mise en Forme des Matériaux (LAMFM), laboratoire commun CETIM – ENSAM – IRT M2P. Les travaux, débutés en février 2015, ont été financés par le CETIM, la commission Forge du CETIM et la Région Grand-Est. Le projet comporte deux volets, un travail de thèse mené au sein du Laboratoire de Conception Fabrication Commande (LCFC) de l'ENSAM Campus de Metz et des études de cas industriels menées conjointement entre le LCFC, AMValor et le CETIM. Les essais de mise en forme ont été conduits sur la plateforme Vulcain de l'ENSAM soutenue par ISEETECH.

Les objectifs du projet sont d'étudier la possibilité de réaliser des pièces multi-matériaux par forgeage et assemblage simultanés. L'idée est de maîtriser la répartition de matière et d'établir une liaison métallurgique entre deux matériaux au cours d'une opération de mise en forme.

Mise en forme et assemblage simultanés pour la réalisation de pièces multi-matériaux

Pour réaliser des gains de matière, des gains de poids ou optimiser les performances des pièces, il peut être intéressant de fabriquer des pièces multi-matériaux pour lesquelles a été placé « le bon matériau au bon endroit ». Un cas emblématique serait un pignon arbré bi-matériaux avec les dentures en aciers et le corps de l'arbre en alliage d'aluminium.

Pour réaliser des pièces multi-matériaux, trois gammes génériques sont possibles. La première consiste à fabriquer des sous-parties « mono-matériaux » puis à les assembler par un procédé de soudage comme le soudage par diffusion. La deuxième voie consiste à assembler une préforme multi-matériaux et à mettre en forme cette préforme pour obtenir la répartition de matière voulue. La troisième voie, celle étudiée dans le projet, consiste à obtenir la répartition et la soudure simultanément au cours de l'opération de mise en forme.

(1) LCFC, ENSAM campus de Metz,
4 rue Augustin Fresnel
57070 Metz

(2) CETIM Grand-Est,
4 rue Augustin Fresnel,
57070 Metz

Le principe physique de l'établissement d'une liaison à l'état solide par déformation a été décrit par Calvo et Al dans le cas d'une liaison aluminium - cuivre [1] (voir figure 1).

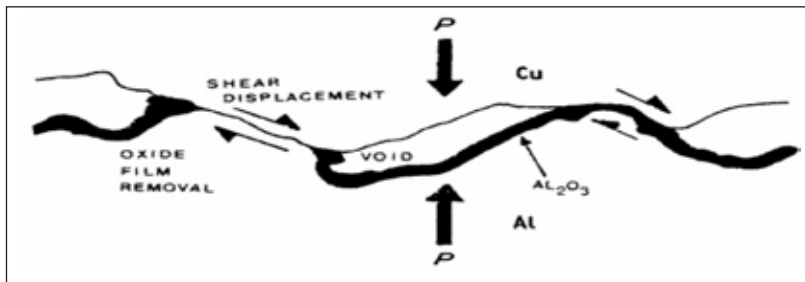


Figure 1 : Principe de l'établissement d'une liaison par déformation

Pour obtenir une liaison à l'état solide, il est nécessaire de réaliser un contact entre les deux matériaux à assembler sans cavité et sans oxyde. Pour cela, il est nécessaire de générer une expansion de la surface de contact pour fragmenter les couches d'oxyde et d'appliquer une pression de contact pour extruder la matière dans les espaces formés entre les fragments d'oxyde. La fragmentation des oxydes et la pression de contact permettent l'établissement de contacts sous pression des deux alliages « nus ». La diffusion au travers des contacts ainsi formés va permettre l'établissement d'une liaison métallique. Dans les travaux menés, la possibilité d'un co-forgeage en température est envisagée pour diminuer les pressions de contact nécessaires et favoriser les phénomènes de diffusion.

Ce principe d'établissement de la liaison est celui mis en œuvre par la plupart des procédés de soudage à l'état solide comme le soudage par friction. Dans notre cas, une des difficultés va résider dans le fait de devoir établir la liaison tout en maîtrisant la distribution des matériaux dans la pièce au cours de la mise en forme.

Quatre verrous ont été identifiés :

- **la différence de contrainte d'écoulement entre les maté-**

riaux à assembler

Une grande différence de contrainte d'écoulement peut rendre difficile la maîtrise de la répartition des matériaux au cours de la mise en forme. Cela peut aussi rendre difficile la maîtrise des expansions de surfaces des deux matériaux de chaque côté de l'interface, les deux couches d'oxyde devant être fragmentées.

- **la présence des couches d'oxydes à l'interface ne permettant pas le contact entre les matières nues et la diffusion**

Les oxydes en surface des alliages métalliques peuvent être de nature différente en fonction de leur composition et de la température à laquelle ils se forment. Leur ductilité peut rendre difficile leur fragmentation.

- **la formation de composés intermétalliques du fait de la diffusion**

Pour faciliter l'opération de co-forgeage, notamment réduire les efforts de mise en forme nécessaires, l'opération peut être menée en température. Cette montée en température va permettre d'accélérer les cinétiques de diffusion. La diffusion doit toutefois être maîtrisée de façon à éviter la formation de composés intermétalliques fragiles à l'interface.

- **la différence de coefficient de dilatation thermique**

Enfin, lors du refroidissement de la pièce dans le cas d'un co-forgeage en température la différence de coefficient de dilatation thermique entre les matériaux peut provoquer des déformations de la pièce et conduire à la formation de contraintes résiduelles importantes.

La sévérité de chaque verrou va dépendre en grande partie du couple de matériaux considéré. Dans le projet, trois cas d'étude ont été identifiés correspondant à la fois à des domaines d'application différents et à des niveaux différents de sévérité par rapport aux verrous décrits ci-dessus. Ces trois cas d'étude sont :

- **acier non allié - acier faiblement allié** : ce cas correspond, par exemple, à un arbre denté pour lequel la denture doit être réalisée dans un acier susceptible d'être traité par cémentation et le corps de l'arbre dans un acier dit ordinaire ayant de bonnes propriétés de résistance mécanique, de résilience ou d'autres aptitudes comme la soudabilité. Dans ce cas, l'objectif est de réaliser un gain économique.

Les verrous sont peu sévères pour ce couple dans la mesure où ils ont des contraintes d'écoulement et des coefficients de dilatation thermique proches. Les oxydes sont présents mais sont friables aux températures de mise en forme envisagées. Il n'y a pas de risque de formation de composés intermétalliques fragilisants.

- **alliage de titane (Ti-6Al-4V) - acier inoxydable (X12CrNi-MoV12)**. L'application envisagée à long terme est l'obtention

de couronnes de turbine réalisées aujourd'hui entièrement en acier pour éviter le frottement entre pièces en alliage de titane. L'objectif est, pour une même fonctionnalité, de faire un gain en poids.

Les deux alliages n'ont pas les mêmes coefficients de dilatation thermique, les contraintes d'écoulement sont proches si on travaille dans le bon intervalle de température, la formation de composés intermétalliques ou de carbures est très probable, les oxydes en surface de l'acier inoxydable peuvent présenter une difficulté du fait de leur ductilité.

- **Alliage d'aluminium et Cuivre** pour des applications électriques. L'objectif est un gain économique en plaçant l'aluminium, moins coûteux, aux endroits ayant les densités de courant les plus faibles. Les quatre verrous sont présents : différence de contraintes d'écoulement quelle que soit la température de travail, différence de coefficient de dilatation thermique, formation des intermétalliques Al_x-Cu_y et présence des oxydes en surface des deux matériaux dont la ductilité en température, notamment pour l'aluminium, risque de nuire fortement à leur fragmentation par déformation.

Méthode de caractérisation

La méthode suivie pour caractériser la co-forgeabilité est illustrée sur la figure 2. La méthode consiste dans un premier temps à simuler l'essai de caractérisation pour dimensionner les plans d'expérience expérimentaux.

Les paramètres de la simulation sont ensuite identifiés par confrontation des résultats numériques avec les résultats expérimentaux en ce qui concerne les efforts de mise en forme et la répartition des matériaux. Cette étape permet notamment d'identifier la valeur des coefficients de frottement et d'échange thermique.

La simulation avec les paramètres identifiés est ensuite utilisée pour obtenir une estimation des expan-

sions de surface et des pressions de contact obtenues. En parallèle de ce travail numérique, une analyse métallographique est conduite afin d'obtenir les microstructures aux différents endroits de l'interface co-forgée. Une attention particulière est portée sur la présence d'oxydes, de composés intermétalliques ou de carbures. Le résultat final est la mise en correspondance des sollicitations d'interface estimées par simulation avec les microstructures observées.

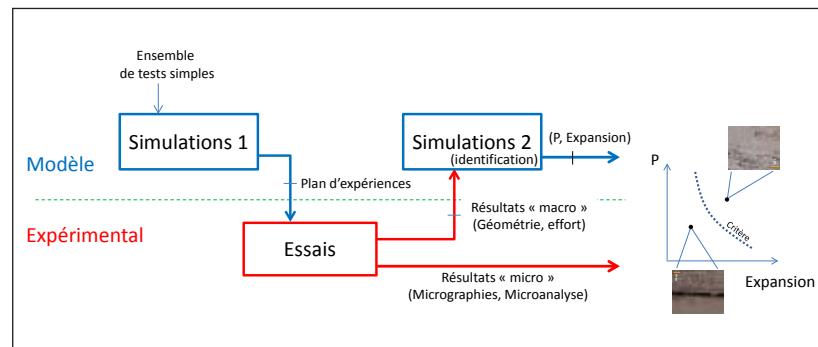


Figure 2 : Représentation schématique de la méthodologie de caractérisation de la co-forgeabilité

Cette méthodologie a été mise en place dans le cadre des travaux de thèse sur le couple d'aciers et a été appliquée aux deux autres cas d'étude.

Les couples d'aciers choisis pour les travaux sont un acier non allié C55 et un acier faiblement allié 25CrMo4. Le co-forgeage a été testé à chaud (1100 °C) et à mi-chaud (750 °C). La méthodologie de caractérisation du co-forgeage comporte trois essais (voir figure 3) : l'essai d'écrasement (avec ou sans container), l'essai de bi-poinçonnement et l'essai de co-filage.

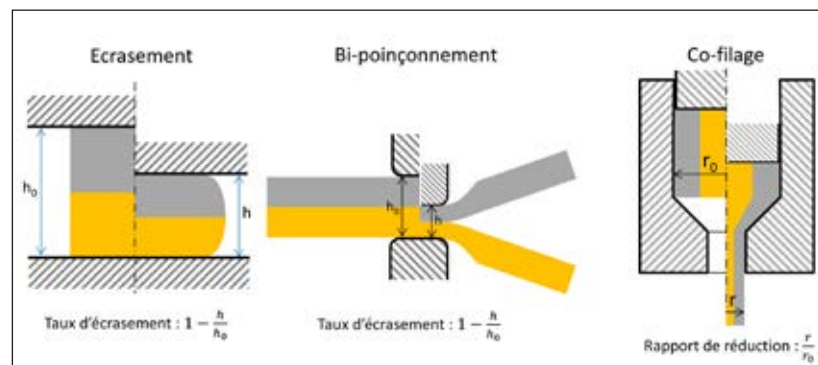


Figure 3 : principe des essais de caractérisation de la co-forgeabilité d'un acier C55 sur un acier 25CrMo4

La simulation a permis d'estimer les niveaux de pression de contact et d'expansion de surface atteints pour chaque essai en fonction des taux d'écrasement ou du taux de réduction pour l'essai de filage. La figure 4 illustre le domaine pression de contact et expansion de surface balayé par l'essai de bi-poinçonnement pour un taux d'écrasement jusqu'à 80%. L'expression de l'expansion de surface est donnée par l'équation (1).

$$\text{Expansion de surface} = \frac{S - S_{\text{initiale}}}{S_{\text{initiale}}} \quad (1)$$

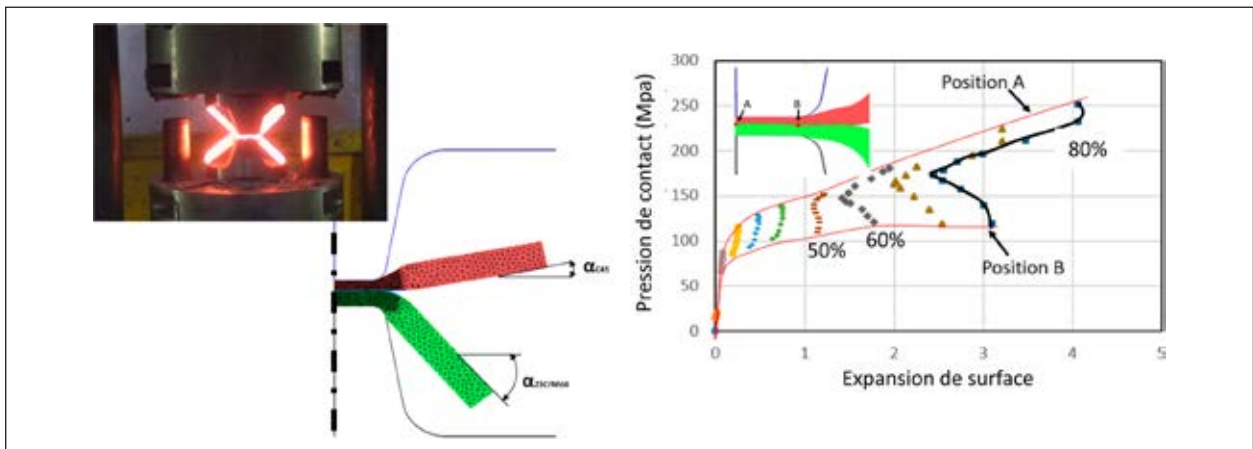


Figure 4 : Simulation de l'essai de bi-poinçonnement pour l'estimation des pressions de contact et des expansions de surface le long de l'interface

Conformément au schéma de la figure 2, page précédente, les essais ont été simulés dans un premier temps de manière à dimensionner les

plans d'expériences. L'évolution de l'effort de mise en forme et la distribution de matière observée après découpe des pièces servent ensuite de

base à l'identification des paramètres de la simulation. La figure 5 illustre le type de résultats obtenus dans le cas de l'essai de bi-poinçonnement.

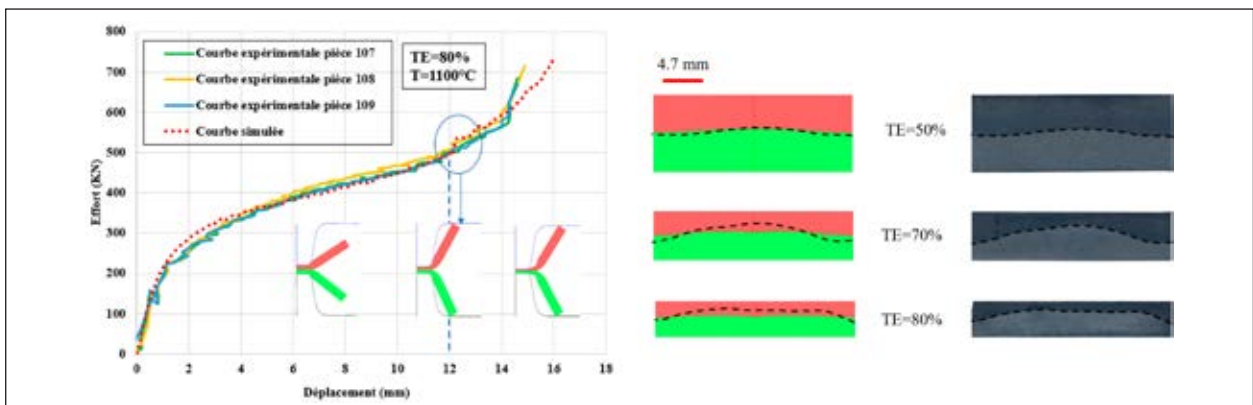


Figure 5 : Confrontation expériences simulation pour l'identification des paramètres du modèle de simulation

De façon générale, quel que soit le type d'essais, une des difficultés vient de ce que les lois de frottement et d'échange thermique sont supposées constantes et uniformes tout au long de l'essai simulé. Les éventuelles évolutions de l'interface et plus particulièrement l'apparition d'une continuité métallurgique ne peut pas être prise en considération. Ceci explique en partie les difficultés à reproduire correctement la géométrie de l'interface (voir figure 5).

Une fois les paramètres de la simulation identifiés, les conditions d'interface estimées par la simulation sont mises en correspondance avec les observations métallographiques effectuées sur les pièces co-forgées. La figure 6 illustre le type de résultats obtenus dans le cas particulier du co-filage à 1100 °C.

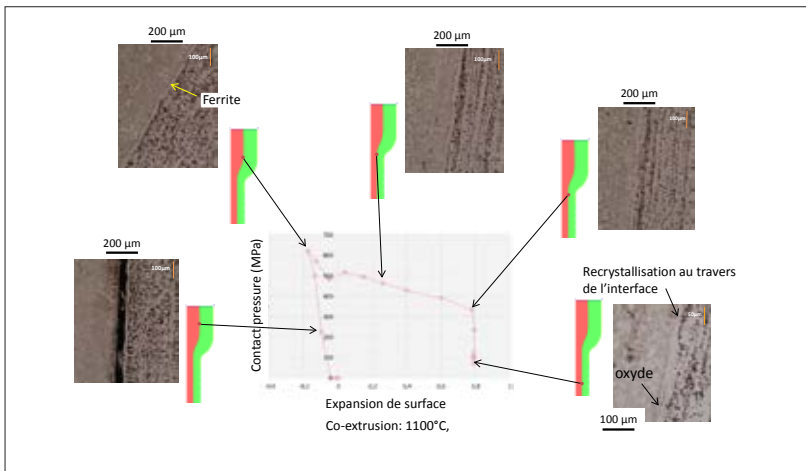


Figure 6 : Structure à l'interface obtenue dans le cas particulier du co-filage d'un acier C55 et d'un acier 25CrMo4 à 1100 °C

La démarche décrite ci-dessus a été conduite pour les trois essais pour le couple d'acier C45, 25CrMo4. Les principales conclusions de l'étude sont les suivantes :

- on constate dans les zones ayant subi les plus fortes expansions de surface une fragmentation des oxydes. Entre les fragments, on observe une liaison métallurgique qui se traduit pour les essais à 1100°C par une recrystallisation au travers de l'interface.
- la taille et l'espacement entre les particules d'oxyde dépendent du taux d'expansion de surface. Dans le cas du co-filage où l'expansion de surface est relativement faible (0.8) on obtient des oxydes sous la forme de fines pellicules (voir figure 6). A contrario, au centre des éprouvettes de bi-poinçonnement avec des taux d'écrasement de 80%, correspondant à une expansion de surface d'environ 4, les particules sont plus petites et plus espacées.

- on constate également une couche de ferrite à l'interface pour tous les essais réalisés à 1100°C. Cette couche peut être due à une décarburation pendant la chauffe mais également à la diffusion du carbone depuis l'acier C55 vers l'acier faiblement allié.

La résistance mécanique des éprouvettes de bi-poinçonnement a été testée par choc. On constate que seules les éprouvettes obtenues avec un taux d'écrasement supérieur ou égal à 80 % présentent une liaison ductile. Pour les taux de déformation inférieur, la présence des particules

d'oxyde le long de l'interface confère à l'interface un caractère fragile.

Etude du co-forgeage Ti-6Al- 4V – Acier inoxydable et Cuivre - Aluminium

Alliage de Titane / Acier Inoxydable – Alliage de Titane et Acier au carbone

L'essai de co-forgeage du couple alliage de titane acier inoxydable est réalisé par un essai d'écrasement en container (voir figure 7). Le container a pour but d'éviter l'oxydation au cours de la chauffe. Dans le cas des alliages de titane, cette oxydation peut provoquer la formation d'une couche de titane alfa dure et fragile en surface (a-case). Pour rapprocher les contraintes d'écoulement des deux matériaux et avoir ainsi une meilleure maîtrise des expansions de surface relatives des deux matériaux, la température de forgeage a été fixée à 900 °C. Les containers sont constitués d'un tube en acier doux fermé à chaque extrémité par deux flasques soudés. Avant fermeture du container, celui-ci est rempli d'argon.

Afin de mieux comprendre les phénomènes à l'interface, des essais d'écrasement en container complémentaires ont été menés. Le tableau 1 donne l'ensemble des couples de matériaux qui ont été testés.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	Essai 4	Essai 5
Couple testé	Ti-6Al-4V	X12CrNiMoV12	Ti-6Al-4V	Ti-6Al-4V	Ti-6Al-4V
	X12CrNiMoV12	X12CrNiMoV12	Ti-6Al-4V	C55	C10

Tableau 1 : Ensemble des couples testés par l'essai d'écrasement en container pour l'étude du co-forgeage Ti-6Al-4V sur X12CrNiMoV12

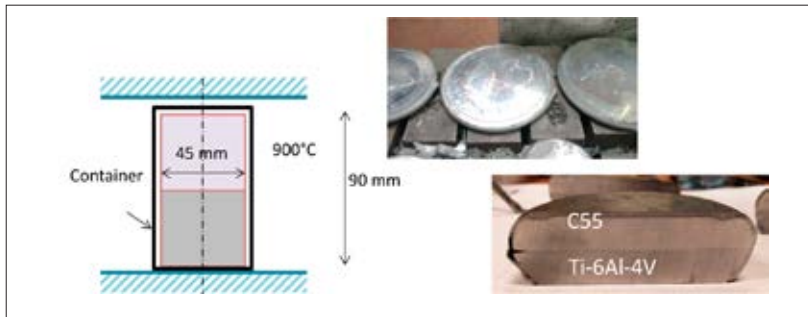


Figure 7 : Principe de l'essai d'écrasement en container Ti-6Al-4V sur Acier

En cas d'échec de l'essai d'écrasement entre l'alliage de titane et l'acier inoxydable, les deux essais suivants (2 et 3) permettront de savoir si cet échec est dû à une incompatibilité métallurgique entre les deux matériaux (diffusion) où à un problème lié à la fragmentation des oxydes de l'un des deux matériaux. On pense en particulier à celui de l'acier inoxydable potentiellement ductile à chaud.

Les deux derniers essais permettent d'étudier la co-forgeabilité de l'alliage de titane avec un acier non allié et d'isoler ainsi l'influence du taux de carbone de l'effet des oxydes en surface de l'acier inoxydable. A noter que l'essai d'écrasement de l'alliage de titane avec lui-même permettra de vérifier l'efficacité du container à éviter l'oxydation de l'interface au cours de la chauffe.

Les essais d'écrasement sous containers mettant en jeu l'acier inoxydable n'ont abouti à l'établissement d'aucune liaison malgré l'application d'un taux d'écrasement supérieur à 80% et un maintien en pression en fin de mise en forme de 10s. L'essai d'écrasement homogène Ti-6Al-4V sur lui-même ayant permis l'établissement d'une liaison, il semblerait que l'échec soit dû à la présence de la couche d'oxyde en surface de l'acier inoxydable. Celle-ci malgré le taux d'écrasement important appliqué n'est pas fragmentée et empêche toute diffusion au travers de l'interface. L'es-

sai homogène Ti-6Al-4V sur lui-même ne présente pas de couche de titane alpha à l'interface. Ceci traduit le fait qu'il n'y a pas d'oxydation de l'interface au cours de la chauffe.

Une liaison est observée dans le cas de l'essai Ti-6Al-4V sur C55 et C10. La liaison obtenue est toutefois fragile. Les observations métallographiques de l'interface (voir figure 8) mettent en évidence la formation d'une fine couche de carbure de titane (TiC). L'épaisseur de cette couche est plus grande dans le cas de l'acier C55. La formation de cette couche s'accompagne de la formation dans l'acier d'une couche de ferrite à l'interface.

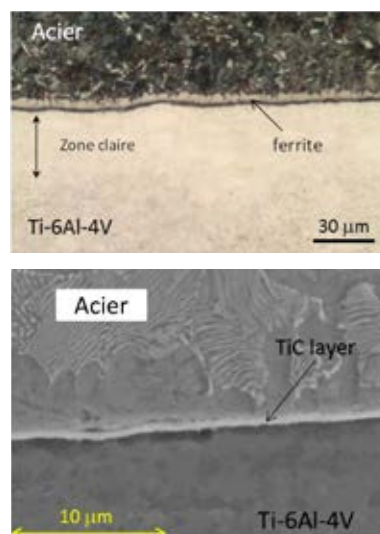


Figure 8 : Structure obtenue à l'interface lors de l'essai d'écrasement en container de l'alliage Ti-6Al-4V sur l'acier C55 à 900°C

Le co-forgeage de l'alliage de titane Ti-6Al-4V avec les aciers est rendu difficile voire impossible du fait de deux des quatre verrous identifiés, la ductilité de la couche d'oxyde dans le cas des aciers inoxydables et la formation par diffusion d'un composé fragile (TiC) dans le cas des aciers non alliés.

Aluminium / Cu

Le couple Aluminium / Cuivre est le plus sévère au regard des verrous identifiés plus haut. Pour lever le verrou concernant la fragmentation de la couche d'oxyde d'aluminium, un essai d'enfoncement a été conçu. Cet essai consiste à enfoncer une pièce en cuivre en forme de « clou » dans un disque pré-percé en aluminium. Un épaulement a été placé sur la partie cylindrique du clou (voir figure 9) pour provoquer une forte concentration de la déformation plastique de l'aluminium sur une faible épaisseur. Pour augmenter la pression de contact, l'essai est réalisé en contenu et le haut du clou comporte une partie conique. Pour éviter un refroidissement trop rapide du disque en aluminium, les pièces et les parties actives de l'outil sont préassemblées et chauffées ensemble avant d'être placées dans le porte outil sous la presse.

L'interface de la pièce finale (voir figure 9, page suivante) présente une zone conique où la pression de contact est maximale et une zone filée ayant subi une forte déformation.

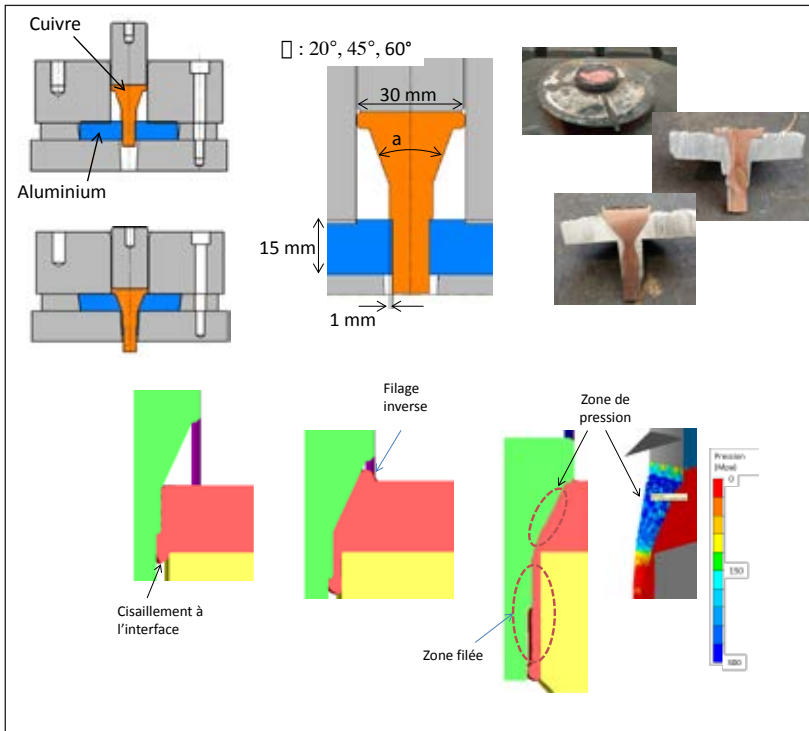


Figure 9 : Principe de l'essai d'enfoncement Cuivre – Aluminium

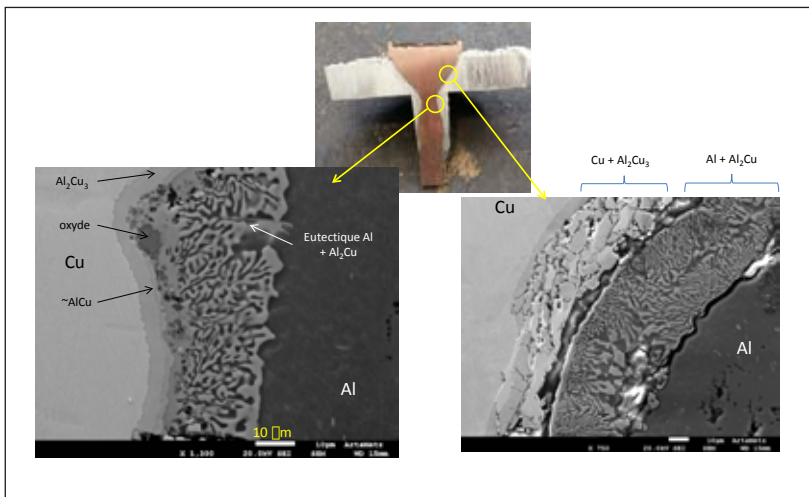


Figure 10 : Structure obtenue à l'interface aluminium – cuivre après enfoncement à 550 °C

Deux températures d'essai ont été testées : 450 °C et 550 °C. La première correspond à une température conventionnelle de mise en forme à chaud pour un alliage d'aluminium. La seconde est proche de la température de fusion de l'eutectique CuAl_3 . La diffusion éventuelle au travers de

l'interface entre le cuivre et l'aluminium devrait générer des composés intermétalliques dont la température de fusion est proche de la température de travail, cette dernière pouvant subir une élévation à l'interface du fait de l'énergie dissipée par déformation et par frottement.

Les résultats obtenus à 550 °C montrent qu'une liaison métallurgique a été établie que ce soit dans la partie conique ou la partie filée. Ceci se traduit par l'observation de composés intermétalliques provenant de la diffusion du cuivre et de l'aluminium au travers de l'interface (Voir figure 10). Les microstructures observées contiennent également des particules d'oxydes. Ces derniers étaient soit préalablement présents à la surface du clou de cuivre soit produits au cours de la chauffe. L'épaisseur des couches intermétalliques et la présence des oxydes confèrent à la liaison un caractère fragile. Des essais mécaniques par choc ont confirmé le caractère fragile de la liaison, particulièrement dans la zone conique de la liaison.

Pour les essais à 450 °C, on n'observe la formation d'aucune zone de diffusion. Il semblerait que la fusion des composés intermétalliques générés par la diffusion joue un rôle essentiel dans l'établissement de la liaison.

Conclusion

Le co-forgeage a été étudié pour trois couples de matériaux : un acier faiblement allié sur un acier non allié, l'alliage de titane Ti-6Al-4V sur un acier inoxydable X12CrNiMoV12 et le cuivre sur un alliage d'aluminium. Le principe du co-forgeage consiste à obtenir lors de l'opération de mise en forme la bonne répartition de matière et l'établissement d'une liaison métallurgique. Cette dernière nécessite d'obtenir à l'interface entre les matériaux une expansion de surface et une pression de contact suffisantes pour fragmenter les couches d'oxyde et générer la diffusion.

Dans le cas des deux aciers, quelle que soit la température de mise en forme (mi-chaud ou chaud), une liaison métallurgique est obtenue pour des expansions de surface à partir de 1 et des pressions de contact supérieures ou égales à 100 MPa. Toutefois pour que l'interface obtenue soit non fragile il est nécessaire d'obtenir une dispersion suffisante des particules d'oxyde le long de l'interface et d'appliquer ainsi une expansion de surface importante (supérieure à 4 pour le couple d'acier testé).

Il est à noter que la tenue mécanique de l'interface n'a été testée que par choc avec une sollicitation perpendiculaire à l'interface. Il serait intéressant dans un travail à venir de tester les interfaces obtenues en cisaillement.

Dans le cas de l'assemblage de l'alliage de titane avec l'acier, deux phénomènes viennent contrarier l'établissement de la liaison. Dans le cas de l'acier inoxydable, la couche d'oxyde en surface de ce dernier n'est pas fragmentée par l'expansion de surface et empêche toute diffusion au travers de l'interface. Dans le cas de l'acier non allié, la diffusion a bien lieu mais elle génère une couche de carbure de titane fragilisante. Même avec un taux de carbone faible, la couche formée confère à l'interface un caractère fragile.

Enfin dans le cas du cuivre et de l'aluminium, une liaison métallurgique a été obtenue pour une température de travail proche de la température de fusion de l'eutectique. Cette liaison est toutefois fragile du fait de la présence d'oxydes et du caractère fragile des composés intermétalliques formés.

De façon générale, l'étude des différents couples de matériaux conclut à la difficulté de maîtriser à la fois, la fragmentation des oxydes, la formation des composés intermétalliques et la répartition des matériaux. Dans le cas des aciers pour lesquels ces phénomènes sont moins prégnants, le co-forgeage semble envisageable même si les fortes expansions de surface nécessaires à l'établissement d'une liaison ductile peuvent s'avérer peu compatibles avec la maîtrise de la répartition de matière. Dans le cas d'assemblages hétérogènes, le co-forgeage semble difficile. La solution consistant à élaborer dans un premier temps le bi-matériaux puis à le mettre en forme semble à privilégier. Ceci permet de séparer les difficultés liées à l'établissement de la liaison et celles liées à la maîtrise de la répartition des matériaux au cours de la mise en forme.

Références

[1] F.A. Calvo, A. Urena, J. M. Gomez De Salazar, F. Molleda. *Special features of the formation of the diffusion bonded joints between copper and aluminium.* JOURNAL OF MATERIALS SCIENCE 23 (1988) 2273-2280.



FICEP France

Z.I. "Les Platanes" - CS 80101
33360 Cambianes - FRANCE
Tel. +33 (0) 556 201555
Fax +33 (0) 556 201555
Email: ficep@ficep-france.fr



CADDY 80
Cisaille mécanique à froid pour billettes



S 50
Scie à disque "grande vitesse" pour billettes



HF
Presse hydraulique



DD
Presse à vis à moteur linéaire rotatif avec robot manipulateur



FICEP S.p.A. - HEADQUARTERS

via Matteotti, 21
21045 Gazzada Schianno VA - ITALY
Tel. +39 0332 876111
Fax +39 0332 462459
Email: ficep@ficep.it

www.ficepgroup.com

MADE IN ITALY

PRODUITS FORGÉS

TRAVAIL À CHAUD DES

ACIERS SPÉCIAUX

POUR DES APPLICATIONS CRITIQUES



- › 150 ans d'expérience
- › Concepteur de solutions sur-mesure
- › Performance et Excellence Opérationnelle
- › Gestion de projet



📍 13 avenue des Tilleuls - 65000 Tarbes
☎ 06 30 12 80 73
✉ sales@altifort-smfi.com
🌐 www.altifort-smfi.com



DIFFRACTION & SPECTROMÉTRIE

Stress X



Mesure de stress /
contrainte par diffraction
de Rayon X

AreX L



Analyseur d'Austénite
résiduelle

Metal Lab Plus S7



Spectromètre à émission
optique
pour l'analyse des alliages
métalliques

Atlantis S9



Spectromètre à émission
optique
pour l'analyse des alliages
métalliques

UNE GAMME COMPLETE A VOTRE DISPOSITION DEPUIS 1993 EN FRANCE !

VENTE - INSTALLATION - FORMATION - MAINTENANCE - ETALONS - ACCESSOIRES

Site Web : www.gnrfrance.com / Tél : +33 (0)381 590 909 / Mail : doc@gnrfrance.com

Xavier LEDOUX
CETIM Grand Est

Forgeage isotherme

Introduction

Le procédé de forgeage isotherme consiste à placer les outils de forge à une température identique ou proche de celle de la pièce à mettre en forme. Le procédé a été développé par l'industrie aéronautique pour mettre en forme des pièces de moteurs d'avion en alliages base titane et superalliages base nickel qui sont difficiles à forger par les moyens conventionnels. Il présente des coûts d'investissement élevés et est difficile à mettre en œuvre car il nécessite notamment de placer l'ensemble de l'installation sous vide ou sous gaz inerte pour pouvoir chauffer les outils à plus de 1 000 °C sans qu'ils s'oxydent.

L'objectif de l'étude est de trouver des solutions pour améliorer le forgeage en condition quasi-isotherme. L'objectif étant d'améliorer la qualité des pièces forgées en s'approchant des conditions isothermes en chauffant les outils entre 400 et 1 000 °C tout en gardant des conditions de forgeage aisées (travail sous air).

Trois axes de développement ont été choisis correspondants aux trois verrous technologiques qui limitent le développement de ce procédé :

Matériaux : les aciers à outils ne peuvent pas être maintenus en température en continu au-delà de 500 °C. L'objectif est donc de trouver les meilleures solutions matériaux à partir de 600 °C.

Chauffage : la qualité du maintien en température (vitesse de chauffe, homogénéité, durée de vie des moyens de chauffe...) va dépendre de la technologie de chauffage choisie.

Isolation thermique : elle concerne aussi bien le calorifugeage des outils pour limiter les déperditions thermiques que l'isolation nécessaire pour protéger la presse et les personnes travaillant dans l'atelier.

Solutions matériaux

Dans la gamme de température 400 – 1 100 °C, les aciers à outils classiques n'ont pas une résistance mécanique suffisante pour être utilisés. Trois familles de matériaux ont été identifiées comme outillages à haute température :

- les superalliages base nickel,
- les alliages réfractaires : alliages base molybdène et tungstène,
- les carbures cémentés et les céramiques.

Les superalliages base nickel (Inconel 718, IN-100...) peuvent être utilisés comme outils de forge à chaud jusqu'à une température de 950 °C. Leur avantage est une bonne résistance à l'oxydation.

Les carbures cémentés forment une gamme de matériaux composites qui consistent en des particules de carbure dures liées entre elles par un liant métallique. Le carbure de tungstène (WC), la phase dure, associé au cobalt (Co), la phase liante, forme la structure de base du carbure à partir de laquelle la gamme des nuances des carbures cémentés a été développée.

L'intérêt de ces matériaux comme outils de forge est qu'ils ont une dureté élevée qui leur permet de résister à l'usure et à l'abrasion et une grande résistance à la compression.

Dans cette première phase d'étude, l'objectif était de caractériser la tenue des matériaux d'outillage principalement utilisés, les alliages base nickel, et de les comparer au carbure cémenté.

Deux types d'essais ont été choisis :

- a) essais d'oxydation à l'air à 650 - 750 - 850 - 950 et 1 000 °C. Les essais seront réalisés dans une thermo balance afin de mesurer la cinétique d'oxydation au travers de la prise ou de la perte de masse de l'échantillon.
- b) essais de traction à chaud à 650 - 750 - 850 - 950 et 1 000 °C réalisés en four.

Les matériaux testés sont :

- l'INCONEL 718 (fourni par Aubert & Duval),
- l'alliage base nickel N18GG (gros grains) réalisé à partir de la métallurgie des poudres (fourni par Aubert & Duval),
- le carbure cémenté G2RC (fourni par Evatec Tools).

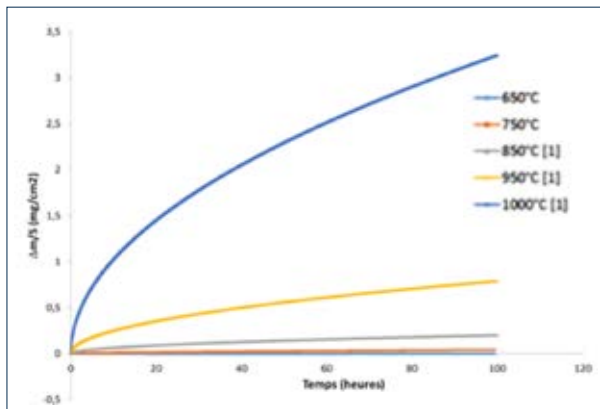


Fig.1 :Variation de masse d'échantillons d'inco 718 durant des essais d'oxydation sous air (les courbes à 850,950 et 1 000 °C sont issues de la littérature)

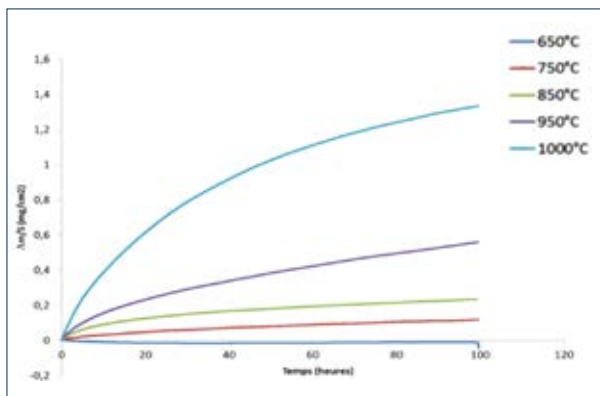


Fig.2 :Variation de masse d'échantillons de N18GG durant des essais d'oxydation sous air

Les résultats montrent que l'inco 718 et le N18GG ont une oxydation négligeable à 650 °C. Ensuite, les vitesses d'oxydation s'accroissent logiquement avec la température mais les valeurs restent faibles pour les deux alliages base nickel (figures 1 et 2).

La forme des courbes d'oxydation est de type parabolique : $\frac{m}{s} \sim k\sqrt{t}$, avec m : masse de l'échantillon, s : surface de l'échantillon, k : constante cinétique, t : temps

Ce type de courbe est caractéristique d'un matériau qui forme en surface un oxyde dense et compact qui limite l'apport d'oxygène par le phénomène de diffusion au travers de la couche d'oxyde. C'est le comportement recherché à haute température pour limiter l'oxydation.

A l'inverse, le G2RC présente des prises de masse très élevées avec une cinétique linéaire à 650 et 750 °C ce qui correspond à l'absence d'autoprotection du matériau (figure 3). Morphologiquement, l'oxyde est épais et poreux (figure 4). A partir de 850 °C, la prise de masse du G2RC baisse par rapport aux températures inférieures. Les données bibliographiques [2] laissent supposer que c'est la volatilisation des oxydes qui expliquent les prises de masse plus faibles à haute température qu'à basse température.

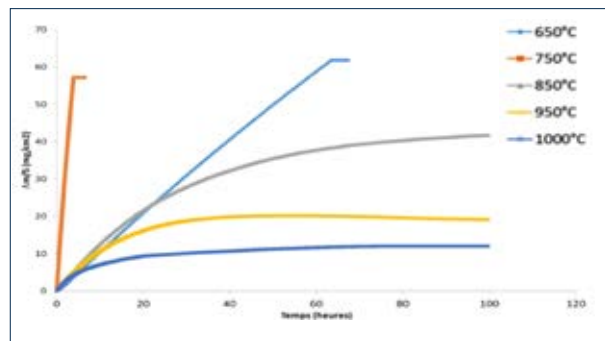


Fig.3 :Variation de masse d'échantillons de G2RC durant des essais d'oxydation sous air

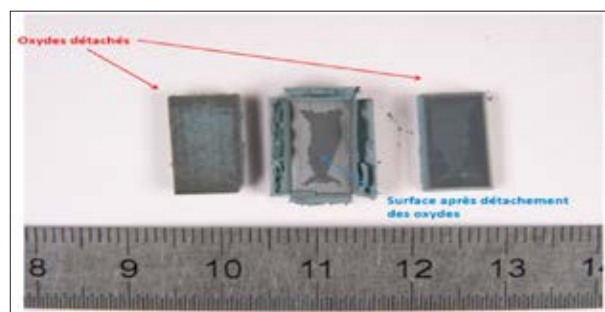


Fig.4 : Echantillon de G2RC après l'essai d'oxydation à 750 °C

Les analyses DRX des oxydes formés à la surface des échantillons montrent que les alliages base nickel forment à partir de 750 °C une couche principalement de Cr2O3 (chromine). Les spectres du N18 révèlent également d'autres oxydes comme Nb2O5 et TiO2. L'analyse des oxydes se formant sur le carbure cémenté G2RC montre un mélange plutôt complexe d'oxydes de tungstène et cobalt. Les deux principaux oxydes sont WO3 et CoWO4.

Les résultats des essais de traction à chaud sont synthétisés dans le tableau 1.

Matériaux	Données	650°C	750°C	850°C	950°C	1000°C
INCO 718	Rp _{0,2} (MPa)	963	761	369	75	50
	A _{5D} (%)	21,5	8,5	41,5	69	92
N18GG	Rp _{0,2} (MPa)	771	785	560	299	210
	A _{5D} (%)	34,5	29,5	27,5	15	10

Tableau 1 : Limites élastiques et allongement à la rupture mesurés lors des essais de traction à chaud

On constate que les propriétés mécaniques sont bonnes à 650 °C et 750 °C pour l'inco 718 et le N18GG. A partir de 850 °C, les propriétés mécaniques de l'inco 718 s'effondrent tandis que celles du N18GG se maintiennent mieux. Le N18GG perd en ductilité lorsque la température augmente.

Du fait de sa dureté élevée, la réalisation des essais sur le G2RC a nécessité la réalisation d'éprouvettes de géométrie spécifique qui n'ont pas encore pu être testées.

Solutions de chauffage

Les solutions de chauffage ont été étudiées sur la base des catalogues des fournisseurs et sur la consultation de ces mêmes fournisseurs à partir d'un cahier des charges qui inclut une pré-estimation des dimensions et les puissances *a priori* nécessaires pour maintenir en température des outillages entre 400 et 1 000 °C.

Les types de chauffage pouvant être envisagés sont les suivants :

- résistance électrique,
 - cannes chauffantes,
 - résistances blindées,
- infra-rouge électrique,
- flamme,
- infra-rouge gaz,
- Induction,
- effet Joule,
- huile.

La première solution retenue est la canne chauffante à résistance électrique en Ni-Cr qui s'insère à l'intérieur des outils.

Quatre grands types de technologie de cannes ont été trouvés :

- les cannes « classiques » utilisant l'oxyde de magnésium MgO comme isolant électrique ;
- les cannes « nouvelle génération » utilisant le nitrure de bore (BN) comme isolant électrique, les gradients de températures en sont réduits et, à puissance constante, les cannes sont plus petites que les technologies classiques ;
- les cannes possédant plusieurs noyaux de chauffe au lieu d'un ; ils permettent une plus longue durée de vie, une meilleure uniformité de chauffe et des températures de chauffe globalement plus élevées,
- des cartouches fendues constituées de deux demi-parties, dont les dilatations permettent d'avoir une plus grande surface de contact avec l'intérieur du perçage, limitant les points de surchauffe et les déformations.

La seconde solution possible est le chauffage par induction. L'inducteur peut être mis en place à l'extérieur ou à l'intérieur de l'outil.

Le chauffage par effet Joule déjà utilisé en électro refoulage est intéressant mais reste exploratoire.

Solutions d'isolation

Calorifugeage des outils

La solution de calorifugeage des outils est à base d'isolations souples composées d'une nappe de fibres placée à l'intérieur d'une enveloppe en tissu de fibres qui protège l'isolant de la dégradation.

La société ICM Industrie a fourni deux « chaussettes » isolantes pour réaliser des essais avec des lopins chauffés à 400 et 1 000 °C (figure 5).



Fig. 5 : Isolations souples fournies par la société ICM Industrie ; A gauche, l'isolation pour un lopin à 400 °C et à droite l'isolation pour un lopin à 1 000 °C

L'efficacité des chaussettes a été évaluée par comparaison du refroidissement d'un lopin avec et sans isolant (figures 6 et 7). Des thermocouples placés en peau et à cœur ont permis le suivi de la température au cours du refroidissement.

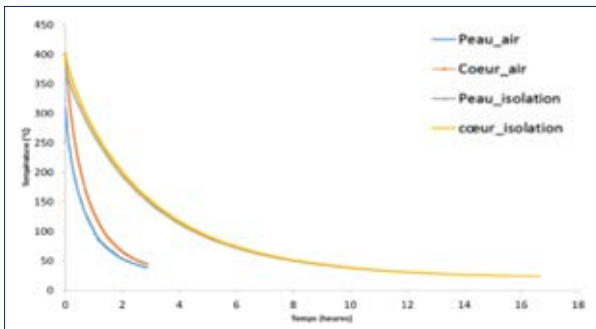


Fig. 6 : Courbes de refroidissement d'un lopin en acier chauffé à 400 °C avec et sans isolation thermique souple

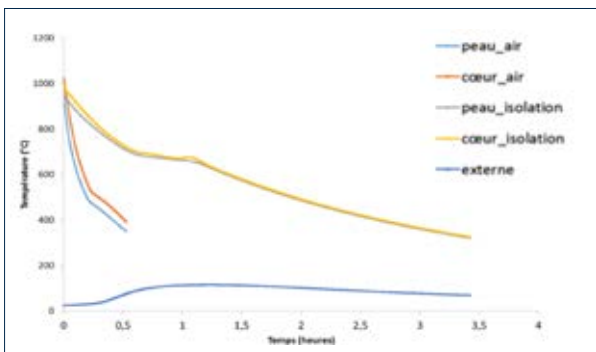


Fig. 7 : Courbes de refroidissement d'un lopin en acier chauffé à 1 000 °C avec et sans isolation thermique souple

Les courbes montrent bien que les isolations limitent les vitesses de refroidissement des lopins en peau et à cœur aux deux températures. Les temps de refroidissement sont divisés par quatre environ entre 400 et 50 °C et par six entre 1 000 °C et 400 °C. A 1 000 °C, la température en paroi externe de l'isolation a été mesurée : elle atteint 115 °C au maximum durant cet essai.

L'isolation utilisée pour le test à 400 °C ne présente pas de dégradation particulière. L'isolation pour 1 000 °C montre que le tissu au contact du lopin est devenu plus dur et cassant qu'avant l'essai.

Isolation par plaque

La recherche d'information sur les matériaux isolants a permis d'identifier un certain nombre de matériaux pouvant être utilisés comme isolant thermique par plaque sur la base de leur température maximale d'utilisation, de leur conductivité thermique et de leur résistance en compression. Ils sont résumés dans le tableau 2.

Matériau	Résistance en compression	Conductivité thermique (W/m°C)	Température maximale
Mica Silicone	400 MPa	0,3	700°C
Acier inoxydable	500 MPa	16,3	1000°C
MACOR®	345 MPa	1,5	800°C
Zircone	1800 MPa	2,5	1000°C
Silicate	200 MPa	0,2	1000°C

Tableau 2 : Synthèse des propriétés des matériaux pouvant servir d'isolation par plaque

Conclusion

Le forgeage en conditions quasi-isothermes avec des outillages entre 400 °C et 1 000 °C nécessite de sélectionner un matériau d'outillage, des isolants thermiques et des moyens de chauffage adéquats.

L'étude des matériaux a permis de constater que les alliages base nickel Inco 718 et N18 sont résistants à l'oxydation jusqu'à 1 000 °C mais que leur résistance mécanique n'est suffisamment élevée que jusqu'à 750 °C.

Le carbure cémenté ne présente aucune forme d'autoprotection contre l'oxydation sous air et ne peut donc pas être utilisé sans revêtement protecteur.

L'étude des technologies de chauffages a conduit à retenir les cannes chauffantes et l'induction comme solutions opérationnelles et le chauffage par effet Joule comme solution exploratoire.

Des solutions d'isolation thermique ont été identifiées dont des isolations souples en nappes fibreuses qui ont montré des résultats intéressants.

La seconde phase de l'étude est en cours. Les résultats seront présentés dans un prochain article.

Plan d'action de la seconde phase de l'étude

Matériaux

Les résultats d'oxydation ayant montré une très mauvaise tenue des carbures cémentés, ces matériaux ne peuvent être utilisés sous air à haute température qu'avec un revêtement protecteur.

L'objet de cette action est donc de tester en oxydation un revêtement protecteur de type PVD à base de CrAlN.

Ces revêtements étant donnés résistants jusqu'à 900 °C maximum, trois essais d'oxydation seront réalisés à 650, 750 et 850 °C.

Maintiens isothermes sur lopins

Afin de tester les isolants et les technologies de chauffage identifiés, des essais de chauffe à température constante d'un lopin seront réalisés avec des mesures par thermocouple à différents endroits du montage (figure 8). Elles seront comparées à des calculs thermiques analytiques et par éléments finis pour évaluer la capacité des calculs à prédire le comportement thermique de ce type de montage.

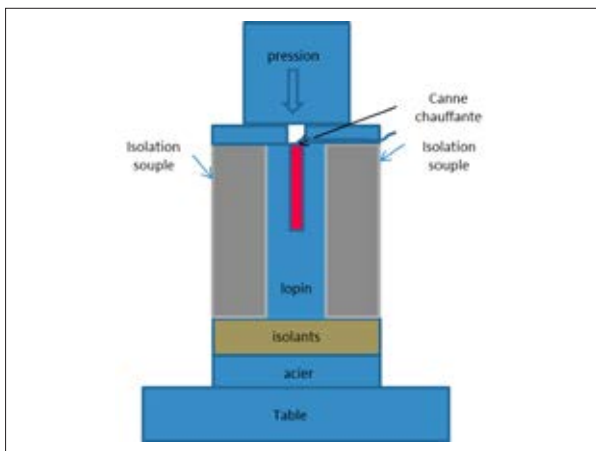


Fig. 8 : Schéma des essais de chauffage de lopins par une canne chauffante

Essais de faisabilité du chauffage par effet Joule

L'objet de cette partie est de chauffer par effet Joule un lopin jusqu'à au moins 600 °C et de le maintenir en température afin d'évaluer l'intérêt de cette technologie pour le chauffage en continu d'outils de forge (figure 9). Cet essai sera réalisé par la société Electro-ohms.

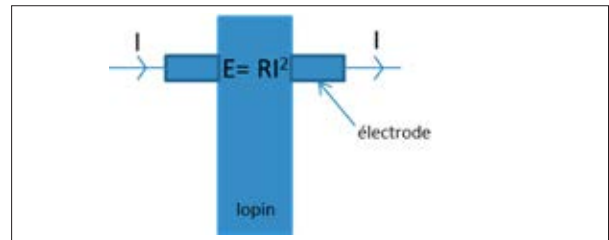


Fig. 9 : Principe du chauffage par Effet Joule

BIBLIOGRAPHIE

- [1] DM. England & A.V. Virkar, J. Electrochemical Society, 146 (9), 3196-3202 (1999)
- [2] Soheir Taha Ali Gohaem, "Oxidation behavior of tungsten carbide -20 % cobalt Composites", thesis of the Faculty of Engineering at Cairo University (2012)



Droit du travail

Social Métallurgie des Éditions Tissot

Appliquez les bonnes dispositions de votre convention collective et du Code du travail grâce à cette **source unique d'informations**.



Pour profiter gratuitement pendant 15 jours de l'ouvrage papier et de la documentation sur Internet, rendez-vous maintenant sur www.editions-tissot.com/presse-sm



T.A. Le Néel¹,
Centrale Nantes



P. Mogno²,
École normale supérieure
de Rennes



J.Y. Hascoët¹,
Centrale Nantes

Conception pour la fabrication additive : moule et noyaux sable multimatériaux

La fabrication additive indirecte est une façon de produire des pièces métalliques en utilisant les méthodes de fonderie. Cet article détaille une nouvelle méthodologie de conception utilisant le procédé de fabrication additif par projection de liant sur lit de poudre pour la fabrication du moule. Plusieurs poudres sont utilisées en même temps comme la silice, l'aluminium, l'alumine ou l'acier pour créer un moule ou noyau multimatériaux. Les moules et les noyaux imprimés en 3D multimatériaux permettent d'augmenter la liberté de conception des pièces de fonderie. Cette méthodologie offre la possibilité d'obtenir une conductivité thermique spécifique à un endroit spécifique afin d'éliminer ou de déplacer des points chauds. La réduction des points chauds permet des géométries plus complexes et dites impossibles via les techniques conventionnelles de fonderie sable. Une imprimante 3D à projection de liant inorganique a été développée pour fabriquer des moules et noyau. Deux logiciels de simulation permettent de quantifier la pertinence du placement multimatériaux ainsi que les propriétés mécaniques escomptées.

Introduction

De nombreux emplois changeront avec l'industrie 4.0, comme la réduction du travail manuel pour faire place à l'automatisation. En 2018, le moulage sable nécessite toujours que les modeleurs conçoivent et fabriquent les modèles pour fabriquer les moules. Ces modèles sont généralement usinés à partir de bois, matériau peu onéreux et facile à travailler. Le modèle est ensuite pressé à la main sur le sable ou le sable est tassé autour du modèle pour laisser l'empreinte de la pièce convoitée. Une fois le modèle retiré, les multiples parties du moule peuvent être assemblées. Enfin, le modeleur peut ajouter des éléments standard comme l'entonnoir de coulée (s'il n'est pas déjà intégré au modèle) et réalise les événements avant de verser le métal dans le moule, comme l'illustré par la figure 1, page suivante. Toutes ces tâches laborieuses peuvent être simplifiées grâce à la fabrication additive (FA). Dans ce cas, le liant est projeté par plusieurs buses à un emplacement précis pendant un temps donné sur une fine couche de matériau granulaire afin de réaliser une couche 2D, cette étape est répétée jusqu'à l'obtention d'une pièce 3D. Le frittage laser est une autre technique FA pour la fabrication de pièces à partir de poudre qui pourrait fonctionner avec la méthodologie proposée [1] [2].

1 : Centrale Nantes, 1 rue de la Noë, Nantes 44321 cedex 3, France UMR CNRS 6183

2 : École Normale Supérieure de Rennes, Avenue Robert Schuman, 35170 Bruz, France UMR CNRS 6183

Habituellement, la FA est destinée à la fabrication directe. Certains ont donc exploré les possibilités de la poudre de métal par projection de liant comme produit final [3] [4] [5]. La fabrication additive indirecte (FAI) est la technique de fabrication de moules et de noyaux par fabrication additive. Dans ce cas, les moules et les noyaux ne sont pas les produits finaux, mais un outil pour fabriquer les pièces souhaitées. La FAI peut être un modèle positif qui est ensuite recouvert par exemple de céramique [9] [10] ou une impression directe du moule [11]. Un des avantages de la FAI est que le moule peut être fabriqué en une seule pièce.

Le problème de chaîne de cotes est éliminé, comme il n'y a plus d'assemblage, ce qui conduit à une meilleure qualité de la pièce. Cela réduit également les délais d'exécution, car la manipulation des moules est réduite et la fabrication des modèles est inexistante. Les angles de dépouille peuvent être négatifs car il n'y a pas de modèle à enlever. La fabrication additive peut aider à résoudre les problèmes de gestion thermique, les erreurs de manipulation, les fermetures à froid, la microporosité, les retassures, et les criques. Un autre avantage de la fabrication additive indirecte est la fabrication de moules et de noyaux coquilles sable d'épaisseur variable pour obtenir une épaisseur idéale afin de réduire la quantité de matériaux utilisés [12]. De plus, il est possible de modifier les propriétés thermiques et mécaniques si nous exploitons le placement sélectif de matériaux ainsi que la variation de la quantité de liant local qui permet de réaliser des gradients de matériaux. La méthodologie actuelle concerne les multimatériaux qui ne sont pas mélangés. Les matériaux graduellement mélangés font partie de la catégorie des *matériaux graduellement fonctionnels* appelés *functionally graded material (FGM)* en anglais [13]. Les FGM peuvent être réalisés pour un gain de propriétés mécaniques local, comme la résistance à l'abrasion en surface, tout en gardant le cœur de la pièce avec un matériaux plus ductile. La transition graduelle permet une meilleure accroche entre ces deux matériaux. La conception pour la fabrication additive facilitera l'adoption de la fabrication additive car elle permettra mieux de utiliser ce nouveau procédé de fabrication. En effet, si une pièce est conçue pour le procédé, plus de fonctions peuvent être réalisées avec moins de ressources. La conception pour la fabrication additive a été proposée pour d'autres processus tels que la projection de poudre [6] ou Polyjet [7]. La fabrication additive sans *conception pour fabrication additive* a déjà

eu un impact sur la fonderie à plusieurs niveaux, tels que : modèle en cire, moulage en coquille et boîtes à noyaux [8]. Cette étude propose un impact de la mise en place de matériaux spécifiques à un endroit spécifique pour leurs propriétés thermiques. Des simulations numériques de coulées indiquent que le fait de placer le bon matériau au bon endroit, en bonne quantité, peut améliorer les propriétés géométriques et mécaniques du moulage final. Cette méthodologie repose sur les capacités de l'imprimante 3D à gérer plusieurs matériaux au cours de la même impression. Cependant, cette fonctionnalité est limitée à quelques machines commercialisées et quelques projets de recherche académique.

L'imprimante 3D spécifiquement développée est basée sur un bras robotisé Stäubli TX90 à 6 axes équipé de plusieurs cartouches. La figure 2, page suivante illustre le principe de projection de liant lors de l'utilisation d'un robot. L'outil comprend des cartouches de projection de liant, un racleur de sable, ainsi qu'une trémie pour déposer le sable. Ces cartouches ont été vidées et modifiées pour être compatibles avec un liant inorganique. Le liant inorganique a l'avantage de ne pas libérer de CO₂ pendant le processus de coulée. Le dioxyde de carbone est généralement libéré lors de la dégradation du liant organique (à base de carbone) lorsqu'il se combine avec l'oxygène ambiant. Une fois imprimé, le moule est dans un état « vert », une étape de durcissement est nécessaire. Les moules inorganiques subissent une étape de durcissement dans un four à 110 °C pendant 120 minutes. Habituellement, le durcissement est effectué dans un four à micro-ondes à 700 W pendant 120 secondes, mais les particules métalliques interdisent l'utilisation de cet outil. Le chauffage par micro-ondes accélère considérablement le processus de durcissement. Le gazage au CO₂ est envisageable, mais les propriétés mécaniques sont inférieures.



Figure 1 : Procédé de moulage sable

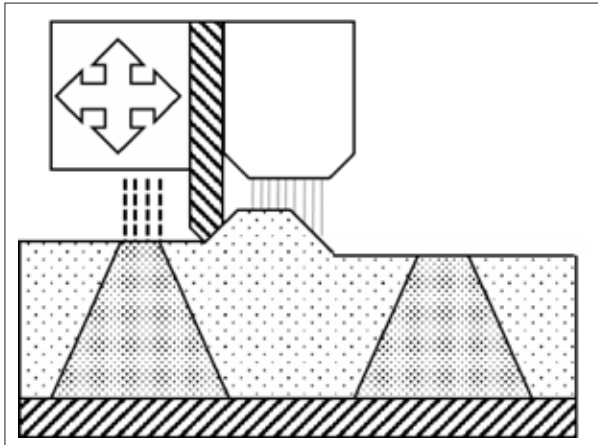


Figure 2 : Procédé de projection de liant

2. Caractérisation du moule

2.1. Conductivité thermique

Les propriétés thermiques du moule en sable imprimé en 3D sont caractérisées afin de disposer de données d'entrée réelles pour la simulation numérique. Le sable de silice utilisé avait une granulométrie de 120 µm, les grains étaient relativement anguleux avec un rapport d'aspect d'environ 0,1 x 0,1 [14]. Le sable de silice utilisé, figure 3, est un sable de silice concassé. Les poudres d'aluminium et d'acier utilisées sont issues du procédé de fabrication additive par projection de poudre. La poudre d'aluminium a un diamètre d'environ 40 µm et est relativement ronde. La poudre d'acier a une granulométrie comprise entre 45 µm et 90 µm et était très sphérique avec un rapport d'aspect de 0,9 x 0,9 (figure 4). Le diamètre de la poudre d'alumine était compris entre 2 µm et 5 µm.

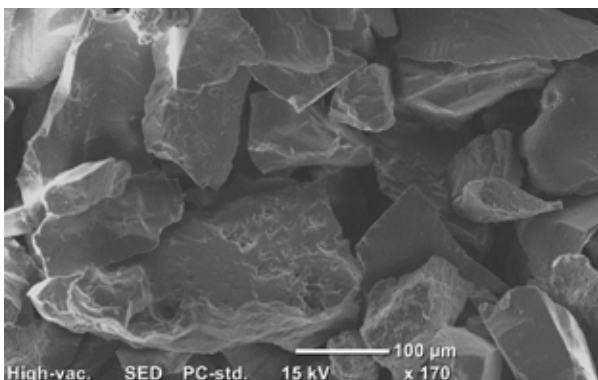


Figure 3 : Sable de silice

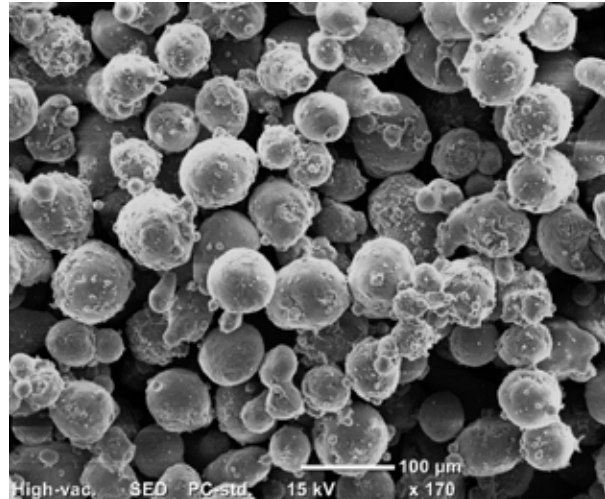


Figure 4 : Poudre d'aluminium

La conductivité des matériaux granulaires n'est pas évidente à caractériser car elle dépend de la sphéricité, du diamètre des particules, et de la pression [15]. L'analyse de conductivité thermique a été obtenue avec un appareil Linsis THB 100. L'analyse repose sur le principe d'un fil auto-chauffé. Le capteur utilisé est celui à état quasi stable référencé sous l'appellation QSS capable de mesurer 0,1 W / (mK) à 200 W / (mK). Un flux de chaleur constant fourni par une puissance constante à la résistance est appliqué, l'élévation de température mesurée peut déduire la conductivité thermique du matériau. La taille de l'échantillon préparé était de 40 mm x 50 mm x 4 mm. Des échantillons moulés à la main avec un outillage conventionnel et d'autres par impression 3D ont été réalisés. Les analyses ont été effectuées le même jour à température ambiante soit entre 23 °C et 24 °C. Le tableau 1 récapitule les résultats.

Conductivité thermique (W/(m·K))

Matériaux	Fabrication main	Impression 3D
Sable de silice (120 µm)	0,6	0,4
Sable de silice (1 200 µm)	-	-
Acier 316L	1,2	0,6
Alumine	0,4	-
Aluminium	1,2	1,0

Tableau 1 : Résultats de conductivité thermique

L'impression 3D de poudre d'alumine n'était pas possible car elle était trop volatile. Il y a une différence de conductivité thermique entre les échantillons fabriqués «à la main» et ceux «imprimés en 3D». Les densités relevées sont différentes. En effet, lors de l'impression 3D, le sable est déposé sur la couche précédente, le racleur ne tasse pas les couches. Ce phénomène crée davantage de vide entre les grains, ce qui rend la structure moins conductrice. De plus, nous avons émis l'hypothèse que la poudre d'aluminium serait beaucoup plus conductrice puisque le matériau de base est un bon conducteur, mais les résultats n'indiquent pas une aussi bonne conductivité. On pense que cela est dû au choix du procédé de fabrication et du liant. Le sable de silice de plus grand diamètre n'est pas caractérisable avec cette méthode car il y a trop de vide entre les grains. Le THB 100 semble mieux adapté pour les matériaux pleins et isotropes.

La figure 5 illustre les différentes configurations de la poudre. La configuration «théorique sans liant» (a) devrait donner une valeur de conductivité thermique proche de la conductivité thermique théorique du matériau. Mais cette configuration ne représente pas assez bien le procédé de fabrication. Si peu de liant est ajouté, alors nous sommes dans la configuration b) et si trop de liant est ajouté, alors dans la configuration c). Ces configurations peuvent suggérer que la conductivité thermique est une combinaison de conductivités thermiques du matériau et du liant, plus proche de la réalité. Cependant, lorsque l'analyse microscopie électronique à balayage est effectuée sur la structure granulaire elle présente beaucoup de vide. Le processus de projection de liant est mieux modélisé avec la configuration d), dans laquelle les particules ne se touchent pas et la conductivité thermique est principalement dictée par les propriétés du liant. De plus, la forme des particules n'est pas aussi sphérique que celle représentée, ce qui aura un impact sur les propriétés thermiques.

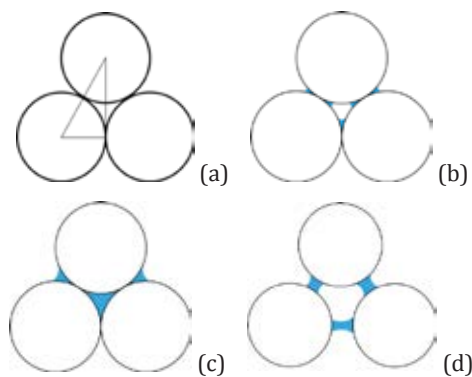


Figure 5 : Arrangement de la poudre pendant le processus de projection du liant a) théorique sans liant, b) avec le liant, c) saturation du liant, d) réelle

La conductivité thermique ne change pas autant que prévu mais d'autres facteurs peuvent intervenir. Le coefficient d'interface thermique doit varier lors du changement du matériau de base. Le coefficient de rayonnement et la capacité de mouillage ne sont pas les mêmes. La coulée avec des thermocouples à différentes distances devrait indiquer des valeurs plus réalistes.

2.2 Influence de la poudre sur la résistance à la compression

Des échantillons de 10 mm x 10 mm x 10 mm ont été fabriqués avec la machine de fabrication additive. Les échantillons ont été légèrement ponçés à environ 7 mm x 7 mm x 7 mm pour éliminer toute stratification résiduelle du procédé car tous les échantillons n'avaient pas exactement les mêmes dimensions. L'outil de compression mesure 5 mm de diamètre. La charge maximale à la rupture est enregistrée. Le rapport massique de liant est d'environ 9 % par rapport à la masse du sable de silice de 120 µm. Les échantillons sont durcis au CO₂. Le sable de silice avec une granulométrie de 120 µm est utilisé. Les résultats sont présentés dans le tableau 2.

Matériau	Résistance à la compression (MPa)
Sable de silice (120 µm)	1.5
Sable de silice (1 200 µm)	0.6
Aluminium	3
Acier	1.2

Tableau 2 : Résultats des essais de compression

La quantité de liant déposée est la même pour chaque échantillon, mais le rapport de liant n'est pas le même pour tous les échantillons. Cet écart est dû au diamètre et aux différentes densités des poudres.

3. Méthodologie de conception et simulations numériques

Les règles de moulage sable interdisent les géométries à angles droits comme illustré par la figure 6, page suivante. Ces préconisations permettent d'éviter les points chauds ou autres défauts de moulage (figure 7, page suivante) [16], [17]. Pour réduire le défaut de retassures induites par les points chauds, des coins arrondis (filets ou rayons) sont rajoutés.

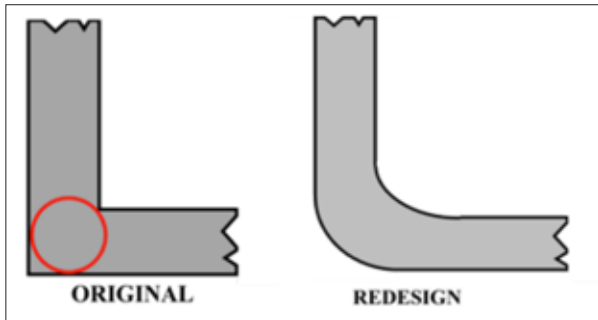


Figure 6 : Guide de conception pour un angle droit [16]

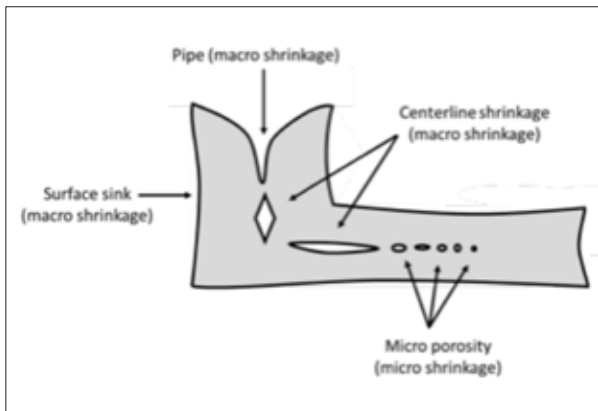


Figure 7 : Sources de défauts lors de la réalisation d'un angle droit [17]

L'ajout de filets aide à l'obtention d'une vitesse de refroidissement décrite par Niyama [17]. Le critère de Niyama eq. 1 est utilisé pour s'assurer que le gradient thermique n'empêche pas la qualité de la pièce moulée.

$$N = \frac{G}{\sqrt{R_c}} \quad (1)$$

R_c est la vitesse de refroidissement exprimée en K / s et G le gradient thermique exprimé en K / cm . Plus la valeur est basse, moins les criques seront probables. Dans notre étude de cas, nous fixons la limite pour l'aluminium à $0,3 (K \cdot s)^{-1/2} \cdot cm^{-1}$ [18]. Une approche 2D via COMSOL Metaphysics est d'abord utilisée comme preuve de concept pour les moules sable bimatériaux. La simulation représente un cube en aluminium chauffé à $700 \text{ }^\circ\text{C}$ et refroidi à une température ambiante de $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Le cube est coupé le long des plans de sa symétrie pour réduire le temps de calcul. Les propriétés de base du moule sont équivalentes à celles du sable de silice, tandis que les autres propriétés du matériau sont celles des propriétés estimées de la poudre d'aluminium. La poudre d'aluminium est choisie pour sa conducti-

tivité thermique supérieure à $10 \text{ W} / (mK)$ et l'alumine pour une conductivité plus lente à $0,1 \text{ W} / (mK)$. Le réglage comprend une capacité thermique de $700 \text{ J} / (kg \cdot K)$, une densité de $2329 \text{ kg} / m^3$ et un coefficient d'interface h de $1 \text{ MW} / (m^2 \cdot K)$. Le *solidus* métallique est à $548 \text{ }^\circ\text{C}$ et le *liquidus* à $613 \text{ }^\circ\text{C}$, la chaleur latente est de $431 \text{ kJ} / \text{kg}$.

La figure 8 illustre le modèle avec la nuance de gris plus claire représentant l'aluminium et le gris plus foncé du moule en sable de silice. La figure 9 illustre le modèle avec les mêmes paramètres que le précédent et une conductivité en alumine ajoutée représentée en noir dans le coin. La différence de flux thermique entre les figures 10 et 11 montre que le flux de chaleur peut être dirigé, cette manipulation se traduisant par une température de refroidissement plus homogène sur la figure 11. Le transfert de chaleur est réduit dans le coin, donc les calories se déplacent plus rapidement sur les côtés.

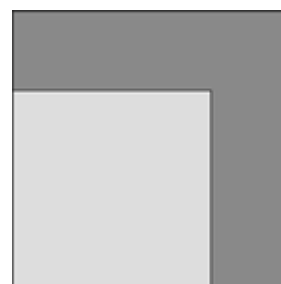


Figure 8 : Simulation de matériau mono 2D Comsol



Figure 9 : Simulation bimatériaux 2D Comsol

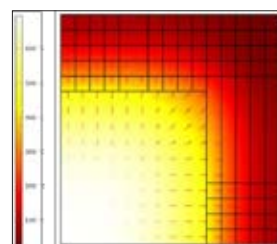


Figure 10 : Résultats de la simulation de mono matériau à 0,05 s

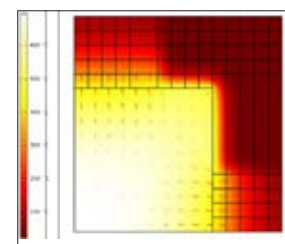


Figure 11 : Résultats de la simulation bimatériaux à 0,05 s

La simulation est répétée sur une simulation 2D à angle droit, comme illustré par la figure 12, page suivante.

La figure 13, page suivante illustre le résultat de la simulation, le flux thermique se trouve bien le long de l'axe plus conducteur. Cette conception n'est pas idéale car elle dis-

sipe les calories dans le coin extérieur plus rapidement, ce qui entraîne un gradient thermique plus élevé. De ce fait, le couplage avec un matériau dont la vitesse de refroidissement est plus rapide avec un matériaux avec une vitesse plus lente pourrait limiter le gradient thermique lors de la coulée.



Figure 12 : Simulation d'un angle droit 2D

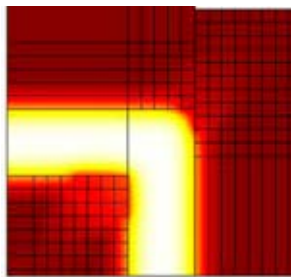


Figure 13 : Résultats 2D d'une simulation à angle droit

Un modèle 3D est ensuite construit afin de mieux représenter le cas d'étude de refroidissement d'un angle droit, comme illustré par la figure 14. La section est de 10 mm x 10 mm, avec une longueur de 30 mm de part et d'autre. Le deuxième modèle comporte un congé intérieur et un arrondi extérieur de 10 mm. Un plan de coupe sur l'axe critique de refroidissement est analysé, illustré par la figure 15.

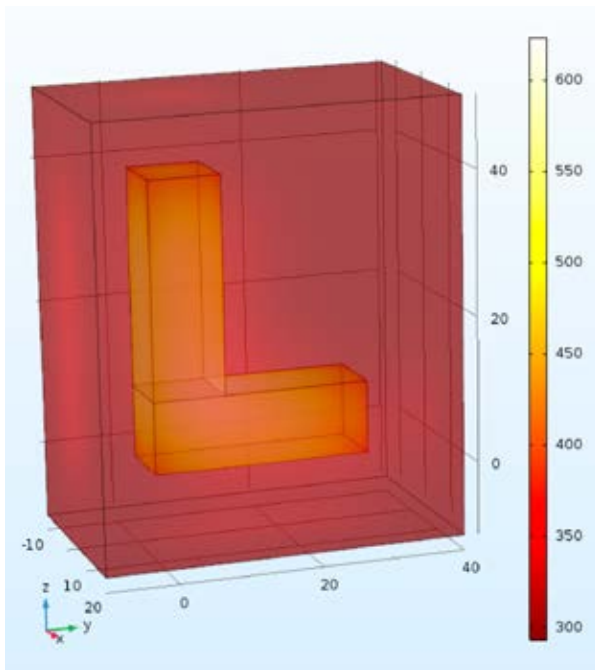


Figure 14 : Définition de l'angle droit

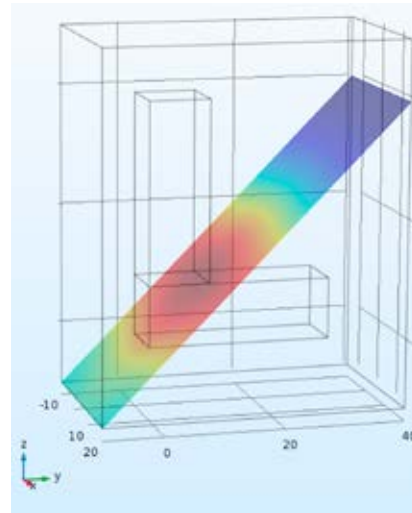


Figure 15 : Coupe de la section d'intérêt

Les simulations de modèles 3D ont été réalisées avec le logiciel ESI ProCAST afin d'obtenir un meilleur comportement lors du changement de phase. Trois cas ont été simulés pour comparaison :

- 1) une conception préconisée d'un angle droit avec un congé,
- 2) une conception d'un angle droit sans arrondi,
- 3) une conception à angle droit avec trois matériaux.

L'objectif est d'obtenir le plus petit gradient thermique possible. La simulation avec les congés sera le guide de référence (figure 16), car il s'agit de la configuration préconisée. On peut voir sur la figure 17, page suivante que la différence thermique dans la zone de refroidissement entre le point 2 et le point 3 est de 8 K sur une distance de 5,65 mm, ce qui donne un gradient de 1,4 K / mm. La seconde valeur est de 0,9 K/mm à la fin de la zone pateuse. La vitesse de refroidissement sur la section 613 °C à 570 °C est de 8,6 K / s. Par conséquent, le critère de Niyama est à 0,05 (K·s)^{-1/2} · cm⁻¹.

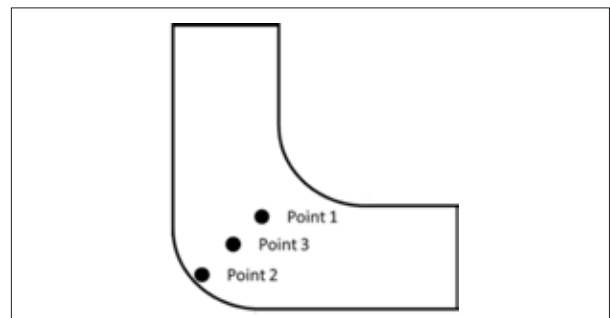


Figure 16 : Coupe 2D de la conception avec congé

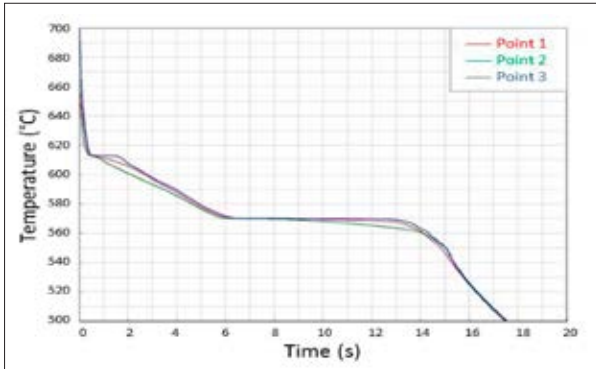


Figure 17 : Résultats de la simulation de la conception avec un congé

La deuxième simulation, la figure 18, est ce que nous aimerions fabriquer, mais les règles métier le déconseillent (des défauts de criques se produisent). Le moule est uniquement composé de sable de silice dans ce cas-ci. Dans cette simulation, le gradient thermique est supérieur au cas de référence, le gradient le plus élevé étant à 2,1 K / mm et le deuxième à 1,45 K / mm, figure 19. Le coefficient de Niyama est de 0,074 (K·s)^{-1/2} .cm⁻¹, ce qui est plus que la simulation précédente mais inférieur au seuil théorique; impliquant que cela devrait fonctionner sans présenter de problèmes de retassures.

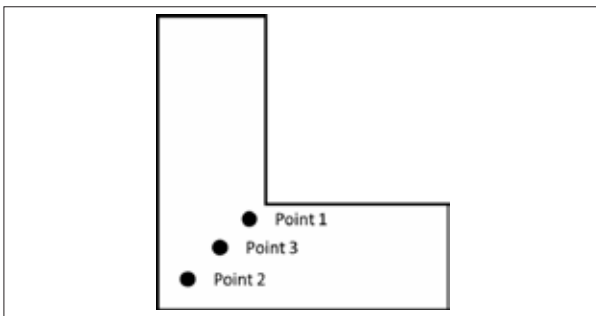


Figure 18 : Coupe 2D de l'angle droit du matériau monomatériau

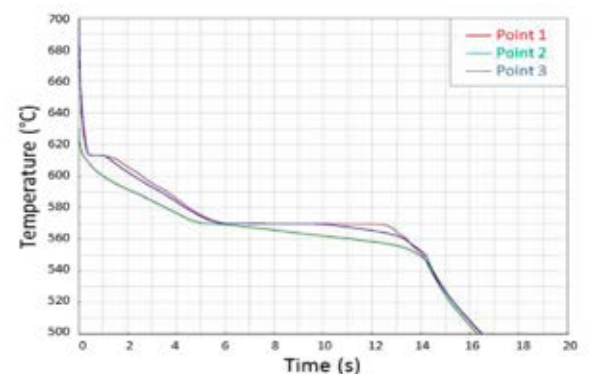


Figure 19 : Résultats de simulation de la conception mono matériau à angle droit

La troisième simulation, figure 20, modélise au coin extérieur avec une conductivité thermique inférieure à celle du sable de silice et une vitesse de refroidissement supérieur que celle du sable de silice au niveau du coin intérieur; les autres parties du moule sont modélisées avec du sable de silice. La valeur de la conductivité thermique dite inférieure est choisie à 0,1 W / (m · K), le refroidissement supérieur est fixé à 10 W / (m · K) et le sable de silice à 0,7 W / (m · K). Le résultat, figure 21, est encourageant car les courbes se superposent presque, suggérant un gradient thermique uniforme lors du refroidissement.

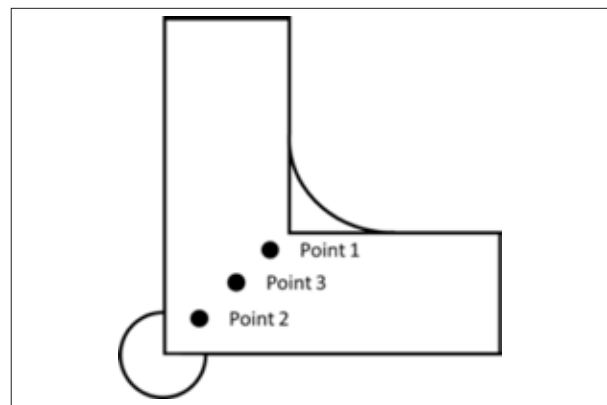


Figure 20 : Coupe 2D d'un moule trimatériaux

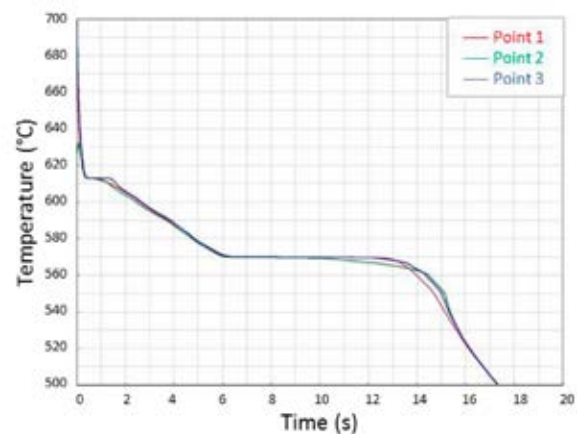


Figure 21 : Résultats de la simulation de la conception trimatériaux à angle droit

Enfin, un échantillon présenté par la figure 22, page suivante illustrant la troisième simulation, est fabriqué à l'aide d'outillage conventionnel. La coupe permet une meilleure vue de l'emplacement du matériau. Les différents matériaux ont été ajoutés les uns après les autres pendant le processus de construction. L'alumine avait des difficultés à coller au sable à base de silice. Cela pourrait être dû au

fait que la taille des particules n'est pas le même et que la proportion de liant ajouté était identique. Or il est d'usage de rajouter plus de liant lorsque le sable est fin, car il y a plus de surface d'échange. L'aluminium n'a présenté aucune difficulté à être ajouté. Aucun élément standard de fonderie n'a été rajouté au moule pour la coulée, de plus l'un des trous a été bouché afin d'éviter le déversement du métal en fusion.



Fig. 22 : Coupe 2D du moule trimatériaux

Conclusion

La méthodologie proposée pour l'impression 3D multimatériaux pour la fonderie sable a le potentiel de réduire les points chauds en faisant varier la conductivité thermique. Cette méthodologie peut également déplacer les points chauds vers un endroit plus facile à gérer. Les moules instrumentés donneront des données de propriétés thermiques plus précises. De plus, l'influence du poteyage du moule et l'aspect du recyclage n'ont pas été pris en compte dans cette étude et devraient être étudiés. Une machine d'impression à plusieurs matériaux facilitera le processus de fabrication du moule car aucun assemblage ne serait requis.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier l'Agence Nationale de la Recherche (Grant, ANR-15-CE08-0037) pour son soutien financier.

Références

- [1] : G. Casalino, L. a. C. De Filippis, a. D. Ludovico, and L. Tricarico, "An investigation of rapid prototyping of sand casting molds by selective laser sintering," *Journal of Laser Applications*, vol. 14, no. 2, p. 100, 2002.
- [2] : D. King and T. Tansey, "Alternative materials for rapid tooling," vol. 121, no. September 2001, pp. 313–317, 2002.
- [3] : Y. Bai and C. B. Williams, "An Exploration of Binder Jetting of Copper," *Rapid Prototyping Journal*, 2015.
- [4] : S. M. Gaytan, M. A. Cadena, H. Karim, D. Delfin, Y. Lin, D. Espalin, E. MacDonald, and R. B. Wicker, "Fabrication of barium titanate by binder jetting additive manufacturing technology," *Ceramics International*, vol. 41, no. 5, pp. 6610–6619, 2015.
- [5] : K. Myers, P. Cortes, B. Conner, T. Wagner, B. Hetzel, and K. M. Peters, "Structure property relationship of metal matrix syntactic foams manufactured by a binder jet printing process," *Additive Manufacturing*, vol. 5, pp. 54–59, 2015.
- [6] : R. Ponche, O. Kerbrat, P. Mognol, and J. Hascoët, "A novel methodology of design for Additive Manufacturing applied to Additive Laser Manufacturing process," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 30, no. 4, pp. 389–398, 2014.
- [7] : N. a. Meisel and C. B. Williams, "Design For Additive Manufacturing: An Investigation Of Key Manufacturing Considerations In Multi-Material Polyjet 3d Printing," *Solid Freeform Fabrication Symposium*, pp. 746–763, 2014.
- [8] : J. wu Kang and Q. xian Ma, "The role and impact of 3D printing technologies in casting," *China Foundry*, vol. 14, no. 3, pp. 157–168, 2017.
- [9] : J. Mun, J. Ju, and J. Thurman, "Indirect Additive Manufacturing of a Cubic Lattice Structure with a Copper Alloy," in *Proceedings of 24th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium*, 2014, pp. 665–687.
- [10] : J. Mun, B. G. Yun, J. Ju, and B. M. Chang, "Indirect additive manufacturing based casting of a periodic 3D cellular metal - Flow simulation of molten aluminum alloy," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 17, pp. 28–40, 2015.

- [11] : N. a. Meisel, C. B. Williams, and A. Druschitz, "Lightweight Metal Cellular Structures via Indirect 3D Printing and Casting," *Solid Freeform Fabrication Symposium*, pp. 162-176, 2012.
- [12] : T. Le Néel, P. Mognol, and J. Y. Hascoët, "Design methodology for variable shell mould thickness and thermal conductivity additively manufactured." International Congress on Welding, Additive Manufacturing and Associated Non Destructive Testing, 2017.
- [13] : J. Y. Hascoët, P. Muller, and P. Mognol, "Manufacturing of Complex Parts with Continuous Functionally Graded Materials (FGM)," *Solid Freeform Fabrication Symposium*, pp. 557-569, 2011.
- [14] : W. C. Krumbein and L. L. Sloss, "Stratigraphy and sedimentation," *Soil Science*, vol. 71, no. 5, p. 401, 1951. [15] : E. S. Huetter, N. I. Koemle, G. Kargl, and E. Kaufmann, "Determination of the effective thermal conductivity of granular materials under varying pressure conditions," *Journal of Geophysical Research*, vol. 113, no. E12, p. E12004, 2008.
- [16] : S. R. Sama and G. P. Manogharan, "Sand Casting Design Rules," 2017.
- [17] : R. Tavakoli, "On the prediction of shrinkage defects by thermal criterion functions," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, no. September, pp. 0-31, 2014.
- [18] : E. Liotti and B. Previtali, "Study of the validity of the Niyama criteria function applied to the alloy Al-Si7Mg," *Metallurgia Italiana*, vol. 98, no. 9, pp. 33-37, 2006.

Pour plus d'informations :
 tugdual.le-neel@ec-nantes.fr,
 pascal.mognol@ens-rennes.fr,
 jean-yves.hascoet@ec-nantes.fr

Traduction de l'anglais Heidi PALZER, Tugdual LE NÉEL,
 Pascal MOGNOL, Jean-Yves HASCOET

FORMING THE FUTURE



RAPIDE, PERFORMANT,
 BÉNÉFIQUE À LA DURÉE DE
 VIE DES OUTILS.

LES PRESSES À EXCENTRIQUES AVEC
 TECHNOLOGIE SERVODIRECT DE SCHULER.

La combinaison d'une cinématique à genouillère ou à excentrique avec la technologie ServoDirekt permet d'augmenter le rendement, car la cinématique du coulisseau peut être adaptée de manière optimale à l'automatisation. Pour l'utilisateur, cela se traduit par des avantages tels que la réduction des coûts, l'augmentation des performances et une flexibilité supplémentaire considérable.



www.schulergroup.com/forging_fr

SCHULER FRANCE S.A.
 17, rue Schertz
 BP 26
 67023 Strasbourg Cedex 1
 Tel.: +33 388 657080
www.schulergroup.com/fr
info.france@schulergroup.com

SCHULER 

Member of the ANDRITZ GROUP



Bernard Guironnet
(AAESFF et ATF)

La proclamation des résultats et la remise des prix pour la promotion 2018 de l'ESFF

Cette année la journée de remise des diplômes à la promotion sortante 2018, a fait étape au Parc Nautique de l'Île Monsieur à Sèvres en bord de Seine. Près de 200 personnes étaient venues pour cette cérémonie très attendue par les jeunes diplômés, comme les anciens élèves toujours très attentifs à la vie et aux évolutions de l'école.

La manifestation préparée par la Direction de l'École avec la contribution de la Fédération Forge Fonderie a connu un grand succès. Outre la proclamation des résultats de la promotion 2018, cette cérémonie permet de nouer des contacts et favoriser les échanges entre jeunes et anciens élèves de l'ESFF. Ce constat a pu être à nouveau fait par la nouvelle promotion 2021 entrante, en présence des promos 2008/98/88/78/68 qui fêtaient leurs 10/20/30/40/50 ans de sortie de l'école.

Pierre-Yves Brazier, directeur de l'ESFF a ouvert la séance présidée par Monsieur André Robert-Dehault, Président du conseil d'administration, en présence de Messieurs Jean-Bernard Guillot, Président des jurys ; Olivier Ammann directeur des études du CFAI Mecavenir ; Wilfrid Boyault directeur général de la Fédération Forge Fonderie, Paul-Henri Renard, directeur général du CTIF ; Frédéric Tritz Président de l'AAESFF et Patrice Dufey, Président de l'ATF.

Après avoir souhaité la bienvenue aux nombreux participants, les élèves, leur famille, les représentants académiques et les représentants de la profession, Pierre-Yves Brazier a remercié toutes celles et ceux qui ont



P.-Y. Brazier ouvre la séance avec de gauche à droite, MM. JB. Guillot, A. Robert-Dehault, F.Tritz, O.Ammann, P. Dufey, PH. Renard et W. Boyault

participé à l'organisation de cette importante manifestation et a donné la parole à Wilfrid Boyault, directeur

général de la Fédération Forge Fonderie pour la remise des prix aux lauréats du concours général.



Une partie de la nombreuse assistance présente à la remise des diplômes et des prix à la promo 2018

Remise des prix aux lauréats du concours général des métiers de la fonderie

La cérémonie a débuté par une présentation du Concours Général des Métiers fonderie de l'édition 2018 qui s'est déroulée au Lycée Marie Curie de Creil les 23 et 24 mai derniers.

Wilfrid Boyault a félicité les lauréats, préalablement à la remise des diplômes de l'ESFF. Les 3 récipiendaires avaient déjà reçu un prix le 12 juillet à la Sorbonne des mains du Ministre de l'Éducation Nationale Monsieur Jean-Michel Blanquer.



Une magnifique pièce du concours terminée

Wilfrid Boyault a présenté et félicité les lauréats :

- 1^{er} prix : Nicolas Vermeulen - Lycée des métiers Hector Guimard à Lyon.
- 2^e prix : William Lefevre - Lycée des métiers Henri Brisson à Vierzon.
- 3^e prix : Clothilde Kizardjan - Lycée des métiers Hector Guimard à Lyon.

Théophile Latin - Lycée des métiers Hector Guimard à Lyon.

Pour mémoire

- 1^{er} Accessit : Luna Gogry - Lycée des métiers Henri Brisson à Vierzon
- 2^e Accessit: Marvin Pierrard - Lycée François Bazin à Charleville Mézières.

Seuls deux lauréats étaient présents, Clothilde Kizardjan et Théophile Latin pour recevoir des mains de Wilfrid Boyault différents cadeaux et une médaille en témoignage de leur classement.



Wilfrid Boyault présente les résultats



Avec les lauréats présents : Clothilde Kizardjan et Théophile Latin

Le prochain concours général aura lieu au Lycée Henri Brisson à Vierzon.

Retour à la cérémonie ESFF avec un aperçu de la promotion sortante 2018

C'est au président du BDE, comme chaque année de nous plonger dans la vie des apprentis durant ces 3 années passées à l'ESFF et en entreprises. Hugo Giuliani a illustré par de nombreux clichés les moments studieux, l'intérêt pour la métallurgie en particulier, puis les activités en entreprises et les séminaires en forge et en fonderie. Il a témoigné beaucoup de satisfaction et de gratitude pour l'école, ses permanents, les enseignants, le CTIF et son personnel.

Hugo nous a fait partager à travers des images très démonstratives les bons moments conviviaux, festifs, les nombreuses activités sportives, avec quelques prises de risque telle une baignade dans le Doubs au mois d'avril ! Les Fondérialles avec l'Amicale des Anciens, les moments de détente en soirée et beaucoup de loisirs communs, ont renforcé l'amitié et la cohésion de la promotion. Pour les anciens qui côtoient les promotions durant leurs 3 années à Sèvres, ce fut toujours un plaisir de se retrouver à l'école ou dans les nombreuses rencontres régionales.



H. Giuliani, président du BDE



La nombreuse assistance présente à la remise des diplômes et des prix à la promo 2018

La proclamation des résultats et la remise des prix

Jean-Bernard Guillot, président des jurys, a proclamé les résultats par ordre croissant de réussite. Ses commentaires personnalisés toujours d'une grande finesse, teintés d'humour ont été très appréciés d'un public nombreux. Auparavant il a salué tous les parents, les maîtres d'apprentissage, les tuteurs pédagogiques, tous les élèves et notamment ceux de première année, qu'il a encouragé à prendre des notes !

Les apprentis ont été appelés par ordre croissant de réussite. La promotion est constituée d'étudiants venant d'horizons divers :

- BTS fonderie,
- Licences professionnelles en génie chimique, traitement des matériaux, métallurgie, MFPE
- Classes préparatoires aux grandes écoles, PT et ATS
- DUT SGM, GMP
- Licence physique

Comme pour la promotion 2017, nous pouvons noter la présence de 3 jeunes femmes (14% de l'effectif), et d'un ingénieur A&M et ESSA qui a effectué la formation en année de spécialisation.

Après la remise Individuelle des diplômes à chaque apprenti, tout était prêt pour l'annonce très attendue des lauréats des différents prix décernés par les instances de nos professions.

Le prix de la Fédération Forge Fonderie

Ce pris a été remis par le Président André Robert-Dehault, au major de promotion Mathilde Guénin.

Entrée à l'ESFF après un BTS MFAM à Nancy, elle a effectué son apprentissage chez Saint Gobain PAM à Foug. Elle a vivement remercié son maître d'apprentissage Denis Taciak et son tuteur pédagogique Jean-Louis Place. Mathilde a été vivement félicitée par le Jury, très applaudie par ses camarades et le public en tant que brillante major de la promotion. Sa maturité et son charisme ont été appréciés par les enseignants de l'école comme toute sa promotion.

Il n'est pas besoin de souligner qu'à l'ESFF les jeunes femmes réussissent brillamment, puisque l'école avait déjà formé la major de la promotion 2016.



Mathilde Guénin, major de promotion



Mathilde Guenin, éplément lauréate du prix A Portevin

Prix de Physique / Chimie

Mathilde Guenin n'a pas eu le temps de se rasseoir, car de nouveau appelée par Jean-Bernard Guillot pour recevoir la médaille à l'effigie du Professeur Albert Portevin. Mathilde ayant obtenu la meilleure moyenne dans le module physique chimie.

Prix du Centre Technique des Industries de la Fonderie au meilleur élève en métallurgie

Cédric Lefebvre a été honoré de ce prix, remis par le directeur général du CTIF, Paul-Henri Renard.

Salarié des fonderies Mathieu en Saône et Loire, Cédric est titulaire d'une licence traitement des matériaux et d'un DUT mesures physiques obtenu à Lyon. Il avait pour maître d'apprentissage Jean-Luce Champenois (ESF88) et pour tuteur pédagogique le directeur de l'ESFF Pierre-Yves Brazier.

Prix de l'Association Technique de Fonderie au meilleur élève en conception de moules et de pièces de fonderie

Jean-Baptiste Borowiak est titulaire d'une Licence pro Métallurgie, Forge, Fonderie Emboutissage et d'un BTS obtenus à Charleville Mézières. Il a effectué son apprentissage chez Ventana à Arudy (Groupe Mes-

sier) avec comme maître d'apprentissage Angela Barrère et comme tuteur pédagogique Michel Stucky.

Jean-Baptiste a démontré une aptitude remarquable dans la conception des pièces de fonderie. Il n'a pas manqué de donner le change à ses enseignants.



P.-H. Renard remet le prix du CTIF à Cédric Lefebvre



W. Boyault remet le prix de l'AFF à Dimitri Nicolino

Prix de l'Association Française de Forge au meilleur élève en conception de pièces forgées.

Cette récompense a été attribuée à **Dimitri Nicolino** pour les très bons résultats obtenus en particulier dans les disciplines de la conception des pièces forgées. Une belle démonstration en tant qu'ancien diplômé d'un BTS fonderie à Nogent sur Oise ! Il

a effectué son apprentissage chez Nowak à Pancé (35320), avec pour maître d'apprentissage Cédric Jochault (ESFF2007) et pour tuteur pédagogique Julien Soro. Son prix lui a été remis par Wilfrid Boyault.

Prix « Eugène Ronceray » au meilleur projet de fin d'études, décerné par l'Amicale des Anciens Elèves de l'ESFF

Pour mémoire Eugène Ronceray est à l'origine de la création de l'ESF en octobre 1923.

Ce prix a été remis par le Président de l'Association Amicale des Anciens Elèves, Frédéric Tritz. Il a été attribué conjointement à Mathilde Guenin et Jérôme Crémoux.

Nous ne présenterons pas Mathilde déjà nommée deux fois, compte tenu de ses excellents résultats évoqués précédemment.

Jérôme a obtenu un BTS maintenance des systèmes mécaniques à Lyon, salarié chez Schneider General Electric, il a mené un travail de grande qualité sur une « Etude et le démarrage de la fabrication d'une nouvelle gamme de boutons métalliques affleurants ».



F. Tritz a remis le prix Eugène Ronceray à Mathilde Guenin et Jérôme Crémoux



Hugo Giuliani reçoit le prix Lainé de F.Tritz

Prix de la Fondation Jean Lainé remis à l'élève qui représente l'Ecole en tant qu'ambassadeur lors d'un voyage à l'étranger

Rappel : la Fondation créée par le docteur Jean-Yves Lainé et madame Lainé, respectivement fils et épouse de Jean Lainé (Ancien directeur de l'ESF) a permis ce prix en 1990. Il est géré par l'Association Amicale des anciens élèves de l'ESFF avec l'aide technique et financière du CTIF.

Pour la 28^{ème} édition de ce prix, Hugo Giuliani a été retenu par le jury parmi 3 nominés pour effectuer un voyage à Cracovie en Pologne, à l'occasion du congrès du WFO. Hugo a beaucoup apprécié ce salon qui s'est tenu du 19 au 27 septembre et a donc été en mesure de faire une présentation très intéressante de sa participation lors de l'AG de l'Amicale des anciens élèves. Il a eu l'opportunité de rencontrer de nombreux industriels, des conférenciers, des fournisseurs, des étudiants, ce qui lui a permis d'élargir son cercle de connaissances. Ce prix a été créé, pour favoriser l'intérêt d'une vision et d'une ouverture sur le monde, l'objectif est atteint. Un peu de tourisme est venu compléter ce séjour.

Prix pour l'année de spécialisation

Benoît Viot, Ingénieur des Arts et Métiers, a réalisé son projet chez Total où il a traité d'une « Etude de la fabrication d'une pièce d'ancrage et du choix de la solution en forge ou en fonderie ». Il a reçu le prix pour ses excellents résultats des mains du président de l'ATF, P. Dufey. L'ensemble des enseignants comme le personnel de l'école ont beaucoup apprécié l'engagement de Benoit et sa soif de connaissances mais aussi ses qualités personnelles.



Patrice Dufey remet le prix de l'année de spécialisation à Benoît Viot.

Avec la promotion sortante 2018, les anciens de 2008, 1998, 1988, 1978 et 1968 étaient représentés

En 2017, une partie de la promotion 2007 était venue pour les 10 ans de sortie de l'Ecole (à l'occasion de l'Assemblée Générale et du dîner qui suivait). Cette année ce sont les anciens des promotions en « 8 », qui s'étaient donnés rendez-vous au Parc Nautique de l'Île Monsieur pour marquer leur 10, 20, 30, 40 et 50 ans de sortie de l'école.

Un succès et surtout un plaisir de pouvoir rencontrer et échanger avec

des ESFF après 10/20/30/40/50 ans de carrière et pour certains quelques années de retraite. 11 participants des promos en « 8 » sur le cliché ci-dessous et 18 en soirée dont certains avec leur épouse. Un bel exemple d'amitié et de solidarité qui pourra donner des idées à d'autres promotions pour l'AG 2019 avec les promos en « 9 ».



Avec les 11 représentants des Promos en « 8 » qui avaient pu se libérer l'après-midi.

Remise traditionnelle de la cloche par la promotion 2017

Depuis 1996 chaque promotion réalise une cloche qui est maintenant le témoignage d'une promotion déjà diplômée à une promotion au seuil de la vie active. Ce 28 septembre, la promotion 2017 a remis à la promotion sortante 2018, sa cloche équipée de son battant forgé. C'est le symbole, d'un lien avec son école et sa profession, que les apprentis élaborent tous les ans.

La cloche de la promotion 2017 avait été moulée chez Cornille Harvard à Villedieu-les-poêles et coulée dans la Fonderie de l'ENSAM à Châlons-en-Champagne, le battant forgé réalisé au Lycée Marie Curie à Nogent sur Oise. Elle correspond à la deuxième note du carillon.

Pour mémoire, Paul Bergamo propriétaire de la fonderie Cornille Harvard et Pierre Yves Brazier ont initié

ce projet qui leur tenait à cœur depuis longtemps ; proposer un carillon sur 2 octaves qui sera réalisé au fur et à mesure des années. Paul intervient maintenant tous les ans devant la promotion de 3^{ème} année, afin de présenter le travail de création d'un instrument de musique. Les apprentis pourront poursuivre à leur guise, comme aujourd'hui la tradition, mais devront faire en sorte que la note de la cloche s'inscrive dans la hiérarchie indispensable du carillon. La 3^{ème} cloche du carillon a été coulée cette année, il en reste encore 22 à mouler !! Pour ce rituel de transmission de la cloche, Arthur Gloaguen, Quentin Le Bihan, Amandine Buzin, Tyéphen Corre, Guillaume Bénédite étaient les représentants de la promotion 2017 venus transmettre leur cloche à la promotion sortante.



La magnifique cloche de la promo 2017

Les jeunes diplômés 2018 se sont réunis autour de la cloche pour immortaliser ce moment traditionnel qui n'échappe à aucune promotion.



La promotion 2018 réunie autour de la cloche remise par les 6 jeunes anciens de la promotion 2017

Avant de clore cet après-midi très riche avec une cérémonie plus longue que les années précédentes, le président Robert-Dehault nous annonçait avec beaucoup d'émotion qu'il quitterait dans les jours prochains la présidence de l'ESFF. Il a été longuement applaudi par les participants et remercié chaleureusement par la direction de l'école, après 15 années de présidence, pour la qualité de son soutien et de son engagement.



Le président André Robert-Dehault annonce son départ



Yasmina Hannachi et Odile Dumas avec une partie des nouveaux ingénieurs

« La préparation est la base du succès » dit-on, cela a été confirmé tant l'organisation, la variété et l'intérêt des thèmes abordés, ont été très appréciés. Merci à L'équipe de direction de l'ESFF. Beaucoup de participants ont indiqué ne pas avoir vu le temps passer, il était cependant l'heure pour l'ensemble des diplômés, leur famille, leurs amis et tous les participants de se rapprocher d'un buffet bien agréable.

Beaucoup d'échanges et de plaisir de se retrouver ou de faire connaissance entre anciens et jeunes élèves tels ceux de la promotion 2021 venus en nombre.



La famille de Maxime Faure était venue partager cette cérémonie.



La nouvelle promotion 2021 très bien représentée



22 au 25 novembre 2018
au Grand Palais à Paris

« L'usine extraordinaire » : un extraordinaire succès

Parce qu'il n'y a pas d'avenir sans la participation active de ceux qu'il concerne le plus, les jeunes, et que certaines branches de l'industrie peinent pourtant à les attirer, l'Usine Extraordinaire, événement qui s'est déroulé au cœur de Paris, dans le très emblématique Grand Palais, avait pour objectif de mieux faire connaître la réalité de l'industrie et donc mieux susciter les vocations.

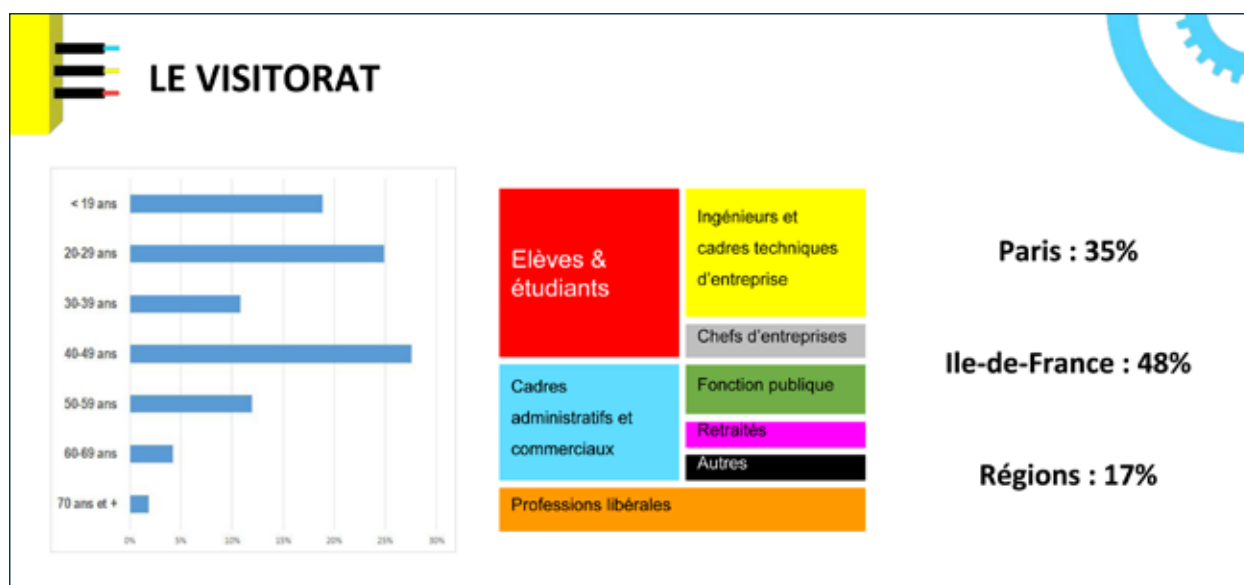
La forge et la fonderie, professions traditionnelles s'il en est, étaient de la partie. Elles ont ainsi pu démontrer que, championnes de l'économie circulaire, elles savent également intégrer les apports digitaux les plus modernes et prendre toute leur part lorsqu'il s'agit de relever les défis de l'industrie du futur. Bilan et témoignages de passionnés qui ont été la cheville ouvrière du succès public de l'espace Forge Fonderie / FIM.

Le bilan de l'Usine Extraordinaire parle de lui-même

Judi 22 novembre : 10 000 visiteurs (Journée « scolaires »)

Vendredi 23 novembre : 12 500 visiteurs (Journée « scolaires »)

Dimanche 25 novembre : 18 000 visiteurs soit 40 500 visiteurs



Quelques autres chiffres marquants :

- 13 300 scolaires de la 6^{ème} à la terminale ont visité l'Usine Extraordinaire,
- près de 300 parcours dédiés leur ont été proposés, animés par 220 étudiants bénévoles présents pendant tout l'événement,
- 15 partenariats avec des acteurs de l'éducation et de la formation ont permis de proposer des contenus et interventions adapter aux jeunes,
- 5 000 stages découverte y ont été proposés aux élèves de 3^{ème} de toute la France.

Le dispositif Forge Fonderie sur l'Usine Extraordinaire

La FIM ayant sollicité ses membres pour partager un espace qui serait la vitrine de leurs métiers, la Fédération Forge Fonderie a répondu à cet appel pour que le grand public puisse avoir une image précise de ce que sont aujourd'hui les métiers de la forge, de la fonderie et du moule et prototype.

Alors que des textes synthétiques permettaient au public de mieux découvrir ce que sont aujourd'hui ces métiers (par exemple, l'apport essentiel de la fonderie à l'économie circulaire), l'objectif du stand était de permettre aux visiteurs de se faire une idée concrète et précise

- des matériaux utilisés,
- des pièces produites,
- ainsi que des procédés de production eux-mêmes, avec ce qu'ils intègrent aujourd'hui d'outils numériques mais aussi leur longue histoire, illustrée, quant à elle, par la fonderie miniature qui, pendant

tout l'événement, a permis à des visiteurs enchantés de découvrir in concreto la réalisation d'une petite pièce en alliage d'étain et d'aluminium, dans un moule en élastomère, découverte qui a été pour beaucoup d'entre eux un des moments forts de l'événement.

Et pour que la réalité des métiers présentés s'ancre mieux dans l'esprit du visiteur, élèves, étudiants de différents cursus de formation forge ou fonderie et collaborateurs d'entreprises ont été présents en permanence, expliquant avec passion et sans relâche, leur intérêt et ce qui les a fait choisir cette voie.

Merci donc aux entreprises qui ont bien voulu exposer des pièces et/ou certaines techniques de production qu'il s'agisse des Forges de Courcelles, pour le vilebrequin forgé et le lopin correspondant, de Barbas et Plailly, pour un carter de boîte de vitesse aéronautique, de Nowak, pour les éléments ayant permis d'expliquer au public la technique de la cire perdue, du CTIF, pour Eole, une trappe de maintenance aéronautique, et ses échantillons de mousse métallique mais aussi de Transvalor qui avait réalisé pour l'occasion deux animations vidéo, aussi ludiques que pédagogiques, illustrant l'apport essentiel de la simulation numérique dans les procédés tant de forge (exemple du vilebrequin exposé sur le stand) que de fonderie (exemple d'un « truck » de skateboard).

Merci également vivement à tous les bénévoles (élèves, étudiants, salariés) qui sont venus faire vivre cet espace et ont su captiver un public dont les retours les concernant ont été extrêmement enthousiastes.

Et parce que ces passionnés sont ceux qui parlent le mieux de cette extraordinaire expérience, la revue a souhaité leur donner la parole. Témoignages vécus, donc.



Démonstration d'une coulée d'étain



Leila BARAKAT,
élève du Lycée
Marie Curie,
BTS Fonderie

« En ce vendredi 23 novembre 2018, j'ai eu l'honneur de présenter la fonderie sur l'espace organisé par la Fédération Forge Fonderie lors de l'événement de l'Usine Extraordinaire.

Cette journée a été un véritable enrichissement professionnel mais également personnel, puisque le fait de pouvoir faire découvrir son métier, sa passion à des jeunes, et même des adultes, m'a aussi permis d'améliorer ma façon de m'exprimer en public. Mais, ce qui m'a vraiment le plus profondément touchée, c'est d'entendre des enfants me dire que mon métier est magnifique et que, plus tard, ils veulent faire la même chose.

Ce fut une journée exceptionnelle pleine de rencontres très intéressantes notamment avec beaucoup d'industriels avec lesquels j'ai eu l'occasion d'échanger sur la fonderie, les différents procédés et manières de faire etc. Ça m'a permis d'apprendre beaucoup. »

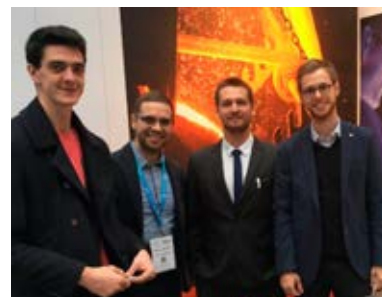


Alexandre LE MOINE,
enseignant
BTS Fonderie
et STI2D, Lycée
Marie Curie

« C'était un réel plaisir de présenter les deux métiers que sont la Fonderie et la Forge. La rotation des groupes d'élèves sur notre stand a permis un constant renouvellement de l'intérêt de ces présentations. »

Maxime LEBLOND,
étudiant à l'École Supérieure
de Forge et Fonderie (ESFF)

« L'usine extraordinaire a été un événement particulièrement intéressant pour mesurer les moyens et les innovations de l'industrie française d'aujourd'hui et des années à venir, mais également pour rencontrer les futures générations de cette industrie. J'ai pu partager avec un très grand nombre de jeunes collégiens, lycéens comme des étudiants sur les métiers de la mise en forme des matériaux métalliques. Premièrement, j'ai pu leur expliquer en quoi consiste le travail des métaux, pour quelles activités et applications, mais également pour leur donner envie de s'engager à l'avenir dans ce domaine et de faire tomber les idées reçues. J'ai été agréablement surpris de constater que certains de ces jeunes avaient déjà quelques notions sur nos métiers, preuve que la communication et ce type d'événement portent leurs fruits. L'autre surprise a été pour moi, de constater une représentation féminine significative lors de cet événement et devant notre stand, une autre preuve agréable du changement dans notre industrie française. J'ai également eu l'occasion de retrouver des anciens élèves de l'ESFF et des industriels avec qui la communication est toujours un réel plaisir. Pour finir le Grand Palais, ce monument historique, était le lieu idéal pour cet événement et les 4 univers proposés (Inventer, Fabriquer, Connecter et Partager) couvraient l'ensemble des thématiques actuelles toutes plus intéressantes les unes que les autres comme l'environnement, la robotisation ou l'emploi. »



De gauche à droite : Joeffray MAADER (ESFF 3^e année), Maxime Leblond (ESFF 3^e année), Tiphaine FRIOT (ESFF 2016) et Dimitri NICOLINO (ESFF 2018)



Florian VION,
responsable
Ressources
Humaines,
Fonderies de
Sougland

« L'Usine Extraordinaire a été un moment de convivialité, de partage et d'échanges avec les visiteurs. La découverte de la forge et de la fonderie a permis de mieux appréhender cet univers si particulier qui est pourtant l'essence même de l'industrie.

Le stand de la Fédération Forge Fonderie a démontré toute la modernité de notre industrie, toute l'innovation que nous apportons, par exemple, à travers des outils numériques de simulation. J'ai pu illustrer cette réalité par mes propos sur les Fonderies de Sougland qui possèdent ces outils de simulations et un centre de R&D intégré.

Cet événement a été une occasion exceptionnelle de rencontrer des confrères, des étudiants de fonderie pour partager leurs expériences, leurs sentiments sur la formation et la transmission des savoirs, qui sont des valeurs clés pour mon entreprise et moi-même.

Le bilan que je peux tirer de ces journées se traduit par un sentiment de fierté à travers les yeux ébahis de l'ensemble des visiteurs, petits et grands, ils ont tous marqué un intérêt pour la forge et la fonderie. La grande force de l'espace FIM/Fédération Forge Fonderie était également la démonstration d'une coulée à l'étain avec pour finalité des goodies pour les visiteurs sous forme d'un avion type rafale et du coq, emblème de La French Fab. Je me suis prêté au jeu en réalisant quelques coulées afin de me rendre compte sur une échelle réduite de toute la complexité, l'expertise et le savoir-faire que requièrent nos métiers de fonderie et spécialement celui de fondeur/couleur qui est pour moi un métier d'orfèvre.

Pour finir, je souhaite remercier l'ensemble des équipes de la Fédération Forge Fonderie et de la FIM pour leur accueil, leur disponibilité et pour l'organisation de cet événement important pour le renouvellement de notre industrie. »



Jérôme VINCENT,
Ingénieur
calcul, Forges
de Courcelles

« Faire découvrir l'industrie à un large public comme il ne l'a jamais vue, tel était l'objectif de cette manifestation.

Une usine éphémère accueillant les dernières technologies industrielles s'est déployée sur 13 000 m² en 4 espaces différents : inventer, fabriquer, connecter et partager.

La Fédération Forge Fonderie était présente à ce rendez-vous afin de

démystifier et valoriser ces 2 métiers.

J'ai démontré que nos usines de forge utilisent réellement des moyens à la pointe de la technologie comme la simulation numérique de la mise en forme des métaux, et requièrent de solides connaissances et compétences techniques dans une large diversité de domaines comme l'automatisme, la robotique, le design industriel...

Par le biais de simulations de forgeage en direct sur le stand, j'ai capté l'attention de nombreux jeunes, collégiens et lycéens. Il était important de donner aux jeunes un goût pour la Forge et casser son image de métier ancestral sans avenir.

J'espère sincèrement avoir aidé ces jeunes dans leur choix d'orientation professionnelle en faveur des filières technologiques.

Ce fut un événement sans précédent et pour moi une expérience extraordinaire fortement enrichissante. »



Tiphaine FRIOT,
Expertise et
consulting,
Transvalor

Des exposants passionnés de transmettre leurs savoirs, des jeunes ou moins jeunes intéressés par nos avancées technologiques, le tout dans ce bâtiment magnifique qu'est le Grand Palais furent des éléments essentiels pour la grande réussite de l'Usine Extraordinaire.

Les deux jours passés au sein de l'espace de la Fédération Forge Fonderie ont été pour moi très intéressants et

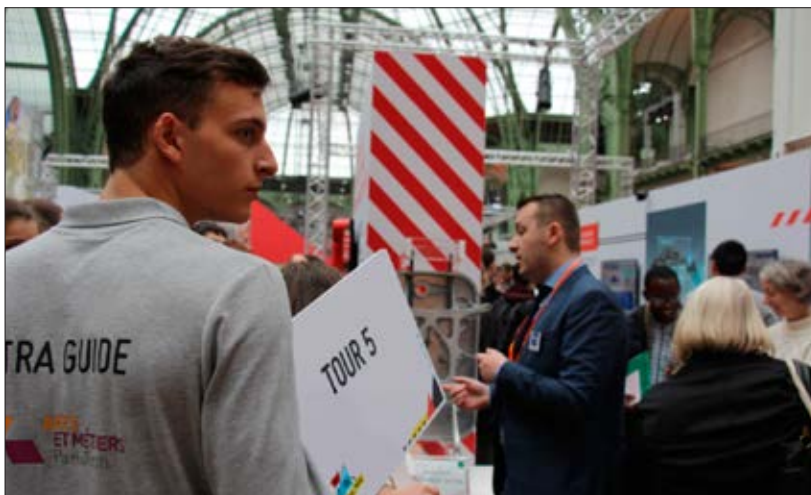
enrichissants. J'ai adoré renseigner des collégiens, lycéens et d'autres personnes de tous horizons sur nos études, parcours et métiers. Expliquer ce que fait la simulation dans ces métiers anciens et voir parfois l'étonnement dans les visages en apprenant qu'elle est aujourd'hui intégralement partie de la forge et de fonderie. Un grand bravo à la classe de troisième année de l'École Supérieure de Fonderie et de Forge pour s'être relayée toute la première journée avec les élèves du lycée Marie Curie.

Le plus intéressant pour moi fut de trouver les bons axes descriptifs pour chaque tranches d'âge, comme comparer la simulation aux jeux vidéo pour les plus jeunes ou expliquer les différents principes globaux utilisés en simulation pour les personnes déjà initié aux métiers.

Si l'Usine Extraordinaire est reconduite l'année prochaine, j'aimerais en faire partie à nouveau ! »



Echange entre Alexandre Le Moine enseignant Lycée Marie Curie, et Hamid Grabi, EJ Picardie



Un des 220 étudiants bénévoles accueilli par Floriant Vion des Fonderies de Sougland



Wilfrid Boyault, directeur général de la Fédération Forge Fonderie avec Olivier Vasseur, responsable animation des territoires face au 18 000 visiteurs du dimanche 25 novembre



Wilfrid Boyault, directeur général de la Fédération Forge Fonderie en discussion avec Emmanuel Vieillard, Président de l'AFF et du CETIM ; à l'arrière-plan le directeur de l'école supérieure de Fonderie et de Forge, Pierre-Yves Brazier qui est venu avec l'ensemble des 3^{ème} année la promotion de 3A pour assurer une présence sur le stand



Yves Noirod, directeur général des Fonderies de Sougland face aux journalistes avec Dimitri Nicolino de Nowak et Tiphaine Friot de Transvalor



Guillaume Ferry du Lycée Marie Curie répondent aux nombreuses questions avec ses camarades entre autres Valentin Dufour et Théophile Forestier



Nicolas Grosdidier, Président de la Fédération Forge Fonderie et Philippe Contet, directeur général de la Fédération des Industries Mécaniques (FIM)



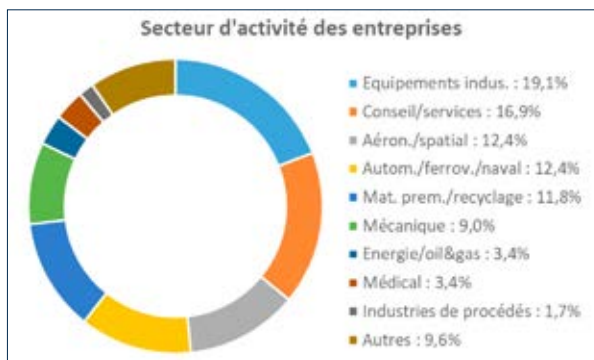
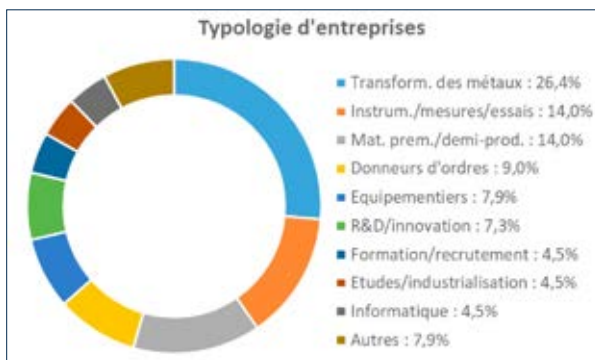
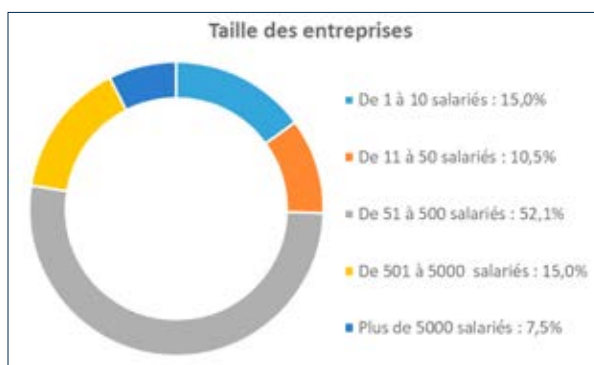
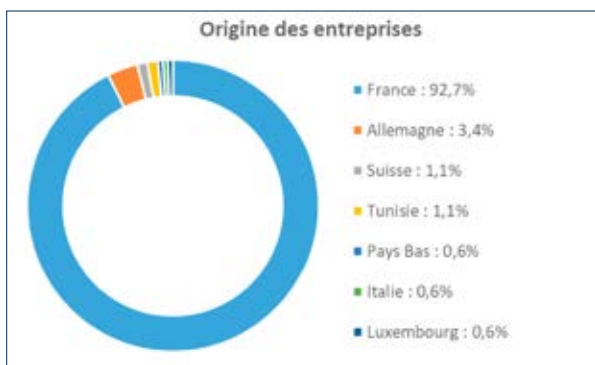
Clotilde Macke-Bart
Directeur Conseil et
Innovation, CTIF

METALDAYS CTIF 2018, 7 et 8 novembre à Chaville, un succès partagé avec les industriels de la métallurgie !

Cette année, ce sont près de 330 participants qui ont pris part au MetalDays 2018 organisés par CTIF les 7 et 8 novembre à l'Atrium de Chaville, pour et avec les industriels de la métallurgie.

Sur les deux journées exclusivement consacrées à la métallurgie et la transformation des métaux, ce sont des thèmes aussi diversifiés que l'élaboration des alliages, l'innovation produit, les enjeux entre fonderie forge et fabrication additive, l'évolution des approches en recrutement et en formation, et les impacts du développement du digital dans nos métiers qui ont pu être abordés et débattus, tant par des développeurs de solutions, que par les transformateurs et donneurs d'ordres utilisateurs.

C'est donc toute une filière qui s'est mobilisée pour assister et participer aux conférences, ateliers, tables rondes et rendez-vous d'affaires organisés sur les 2 journées, outre les 38 exposants qui ont répondu présents aux côtés des 5 sponsors de l'évènement : AddUp, Aluminium Martigny, Foseco, Pyrotek, Volume Graphics et Zeiss.



7 novembre : innovation & mutualisation, métallurgie, procédés et produits

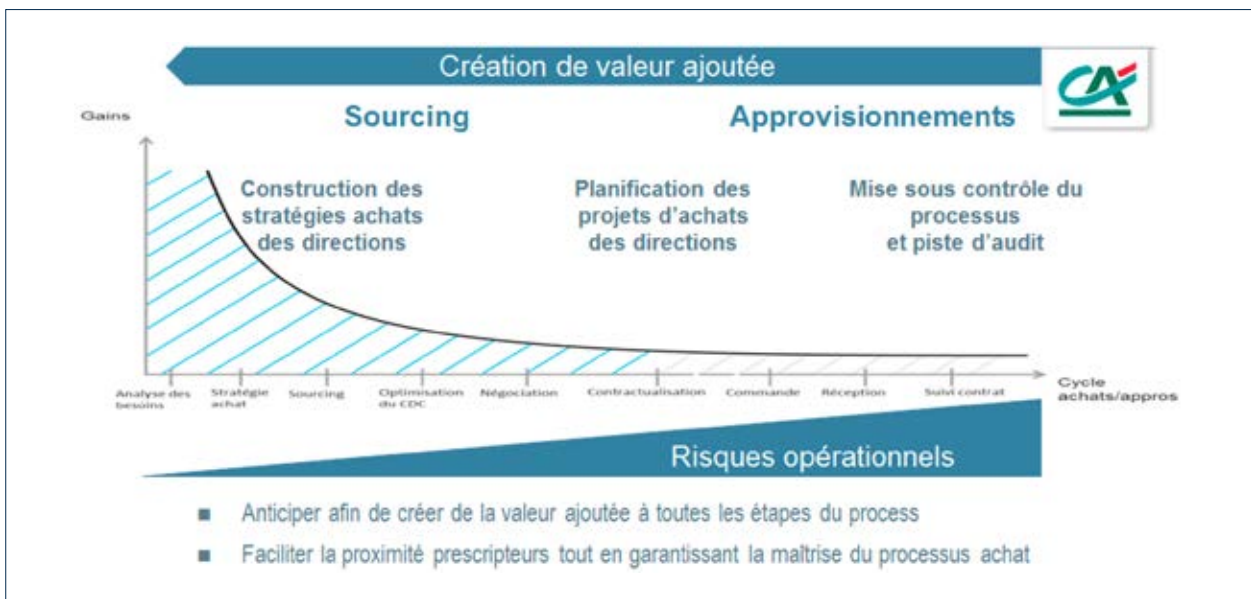
Après l'ouverture des journées par Paul de Brem, journaliste scientifique et animateur des débats sur les 2 journées, Paul Henri Renard, Directeur Général de CTIF et Clotilde Macke-Bart, Directeur Conseil et Innovation ont accueilli les industriels et proposeurs de solutions présents sur ces 2 jours dédiés à la métallurgie, avec un mot d'ordre : liberté de choix !

C'est dans cet esprit que Sylvie Robin-Romet, Directeur Achats Groupe Crédit Agricole a ouvert les débats par une introduction détonante, démontrant avec brio que l'innovation peut-être partout (dans la banque autant que dans tous les métiers !).

On parle ici de **Coût Complet du Cycle de vie**, de **Co-construction prescripteur/fournisseur**, et d'**Intelligence Artificielle** ... sur de la construction de contrats ! Oui l'Intelligence Artificielle peut s'inviter dans de la formalisation de contrat ... comme dans d'autres métiers ... Telle a été l'invitation de Sylvie Robin Romet à savoir sortir du cadre ! Avec des messages tels que « *on peut marier « le monstre » et la start-up !* » et « *Il faut être curieux ... et joueur !* »

C'est ensuite une table ronde **MÉTALLURGIE**, qui au travers des interventions de *Isabelle Poittrault*

(Arcelor Mittal), *Neill McDonald* (MetaFensch), *Nicolas Pailloncy* (MetalValue) et *Michel Stucky* (CTIF) a permis un rappel très concret des enjeux communs en métallurgie, et des développements en cours, de l'élaboration des poudres métalliques, à la coulée de lingots de plusieurs tonnes, autour de **5 paramètres clés** : la compréhension de la physique des matériaux, la capacité à les simuler et prédire, la maîtrise du contrôle des matériaux produits, les enjeux de recyclage des matières (contrainte et/ou opportunité), et évidemment les rapports d'échelle et coûts associés.



Création de Valeur Ajoutée dans le Processus Achats – Illustration par Sylvie Robin Romet



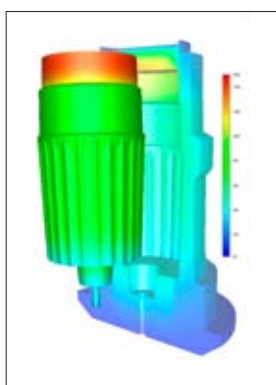
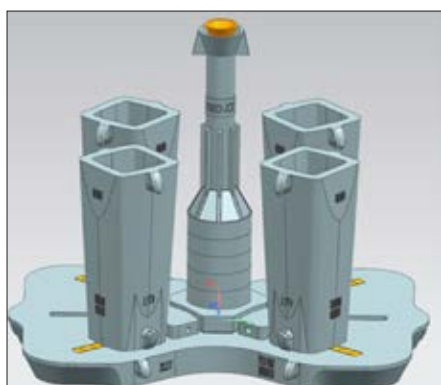
Sylvie Robin Romet, Directeur Achats Groupe Crédit Agricole
Crédit Photo : Stefan Meyer



Table Ronde I : Matériaux métalliques, terre d'innovation permanente - Crédit Photo : Stefan Meyer

De nouvelles approches couplant expérimentation, simulation et caractérisation ont ainsi pu être présentées :

- **Le Projet collaboratif SOFT-DEFIS** est présenté par Isabelle Poitroult. Il reçoit le soutien de la Région Bourgogne Franche Comté, de Bpifrance et du Pôle Nuclear Valley, pour un budget de 2 M€ (projet FUI) avec 11 partenaires dont notamment Arcelor Mittal associé à trois autres aciéristes, et deux structures de recherche impliquées que sont le CEMEF et l'Institut Jean Lamour. Le projet est destiné à démontrer la capacité à **maîtriser les hétérogénéités de solidification**, quelles que soient les épaisseurs mises en œuvre (à terme sur des tôles d'un mètre d'épaisseur). Les voies explorées sont d'une part **l'inoculation**, d'autre part **la maîtrise des courants dans le métal liquide**, avec des tests successifs réalisés aujourd'hui à différentes échelles (de quelques grammes à quelques kilogrammes et désormais sur des lingots de 4 tonnes), l'ensemble étant confronté aux codes de calcul en développement (solidification, croissance de grain, sédimantations ...) dans le cadre de 3 thèses déployées dans le projet.



Images Projet SOFT-DEFIS

- **La Plateforme MetaFensch à Uckange**, créée il y a 4 ans pour répondre aux besoins entre laboratoire et besoins industriels, est présentée par Neill Mac Donald, son directeur, et propose différents moyens d'élaboration au service de la mise en œuvre de métaux avancés et des métallurgies de demain :
 - **un four VIM** (induction sous vide), destiné notamment aux élaborations de fonderie, en partenariat avec CTIF, et équipé à ces fins d'une cellule de pré-

chauffage dimensionnée pour recevoir des moules et carapaces,

- **un four de recyclage PAM** (torche à plasma en creuset froid) exploité aujourd'hui pour l'étude du recyclage des alliages de titane, sur une filière européenne qui reste à créer. Ce sont à ce jour 10 000 à 15 000 tonnes de chutes de titane qui sont produites en Europe, sans capacités locales, dans l'immédiat, de recyclage,

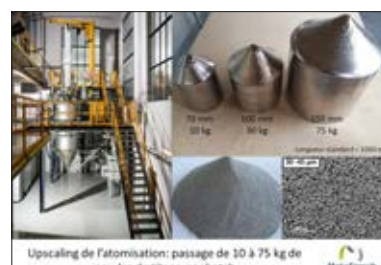
- **la plus grande tour d'atomisation de titane au monde**, aujourd'hui exploitée sur des mises au point de différentes natures et tailles de barres d'alimentation, et lots associés. L'ambition du changement d'échelle (en passant de lingots de 70 mm pour des lots de 10 kg de poudres, à des diamètres à 150 mm pour 75 kg de poudres) est notamment de réduire le coût au kilogramme des poudres d'alliage de titane.



MetaFensch: Four de fusion par induction avec cellule de préchauffage de moules/carapaces



MetaFensch: Recyclage de titane par torche à plasma en creuset froid



Upscaling de l'atomisation: passage de 10 à 75 kg de poudre de titane par batch

Four VIM – Fusion au four PAM – Tour d'atomisation - Images MetaFensch

- La **nouvelle filière de production de poudres métalliques** présentée par MetalValue, associée à la **technologie MMS Scanpac®**, est elle destinée à la mise en forme des poudres pour des produits de 50 gramme à 5 kilogrammes (donc entre le MIM et le HIP). Le procédé composé de 5 étapes successives (préparation de la poudre, compression, déliantage et préfrittage, compression adiabatique de la pièce puis frittage final) revendique la capacité à réaliser des

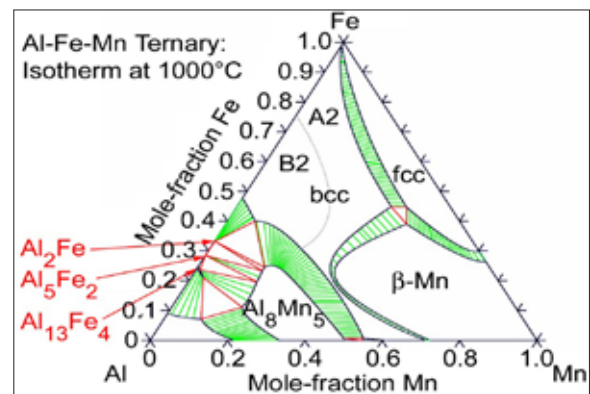
pièces présentant des propriétés métallurgiques analogues à des pièces issues de forge, avec les avantages inhérents à la métallurgie des poudres (empreinte environnementale, efficacité industrielle...)

Les débats ont ainsi démontré que la filière numérique est indissociable des essais physiques, avec des outils tels que, par exemple, THERMOCALC intégré en 2018 par CTIF. De tels outils permettent d'aboutir rapidement aux meilleures combinaisons à tester ; on

peut noter l'exemple cité par Michel Stucky du projet où leur exploitation amont a permis de passer de 300 millions de formulations possibles à 325 potentielles (via 50 jours de calcul sur ThermoCalc), puis à 25 préférentielles (via des modèles plus empiriques couplant phases en présence et propriétés visées) ... le tout en moins de 2 mois ! Le complément par des approches ab initio permettra également d'enrichir les bases de données de ces différents outils et méthodes, qui doivent désormais, évoluer vers les approches prédictives hors équilibre.



Images CTIF & THERMOCALC



La table ronde **INNOVATION METIER / PRODUIT**, sur laquelle intervenaient Gaël Volpy (3D MedLab), Loïc Vaissière (Renault), Gérard Thuet (FMGC) et Emilie Garcia (Bpifrance) a ensuite permis de démontrer, quel que soit le secteur, **le potentiel et la force des collaborations entre fournisseurs de solutions, transformateurs et prescripteurs**, essentielles pour des développements réussis « gagnant-gagnant ». Que ce soit dans l'automobile, le médical, le mining, le BTP, les EMR, l'industrie lourde, seule **l'innovation compétitive** permet de se démarquer de la concurrence. Nos produits métalliques, bien au-delà du besoin fonctionnel, doivent donc être vecteurs de valeur ajoutée ... de la fonction au service, le produit doit intégrer de nouvelles dimensions.



Table Ronde 2 : L'innovation au service du développement des produits métalliques

Crédit Photo : Stefan Meyer

Dans la continuité de l'introduction de Sylvie Robin Romet, les témoignages démontrent ici qu'on est très concrètement passés du bien au service, et aujourd'hui du service à l'usage.

Ont ainsi été évoqués :

- Le développement présenté par Gaël Volpy, PDG de 3D MedLab, de nouvelles générations d'implants médicaux issus de fabrication additive métal (fusion laser sur lit

de poudre), intégrant des structures lattices fonctionnalisées. C'est ici la Start Up qui trouve les solutions pour le chirurgien dans le cadre de développements menés en collaboration : les implants sont désormais de plus en plus sollicités et « customisés ». L'enjeu des développements menés avec le corps médical par 3D MedLab est d'optimiser la fixation de l'implant qui doit s'intégrer au mieux dans le corps humain en

répondant à des sollicitations mécaniques, mais aussi physiques et chimiques.

La substitution aux parties articulaires suppose la proposition de produits intégrant des structures lattices qualifiées. C'est alors l'expertise produit-matériau (proposée par 3DMedLab et ses partenaires) qui permet de dimensionner la part de structure lattice de façon à optimiser la fixation primaire et la durabilité de l'implant dans le corps humain. Une colonisation efficace de la structure métallique par l'os suppose la maîtrise de la porosité, de la métallurgie, et de la caractérisation des interfaces et réactions chimiques et physiques associées, outre aujourd'hui, le besoin de s'adapter à différents usages

(suivant la mobilité du patient par exemple, ou encore le niveau d'ostéogenèse propre à chaque type d'os adressé).



Image 3DMedLab

- Le potentiel présenté par Gérard Thuét, Président du Directoire de FMGC, de la mise en oeuvre de matériaux usuels sur de nouveaux marchés, est à une autre échelle, la démonstration du potentiel d'innovation de nos métiers. La clé est ici à nouveau dans la valeur

ajoutée apportée par le produit et son matériau : la fonte, présumée plus chère que le béton, se révèle en fait plus compétitive pour des contrepoids de 15 à 20 tonnes utilisés sur des structures EMR, grâce à sa densité plus forte, qui la rend plus économique pour des installations à plusieurs dizaines de km de la côte, où la logistique associée à l'installation des infrastructures devient déterminante. Les enjeux de recyclabilité aidant (ces lests pourront être refondus au terme de leurs 20 à 30 ans d'usage), la fonte prend ici tout son sens, et la « classique fonte GL 250 » devient la solution innovante dédiée à la maîtrise de l'installation en mer de nouvelles structures, de type EMR (Sabella, Floatgen) ou Data Centers (Microsoft),



Images FMGC

- Les besoins d'innovation sont aussi permanents dans l'automobile, notamment dans les matériaux métalliques en fonderie. Au-delà des enjeux durables de réduction des consommations et d'allègement des véhicules, c'est aujourd'hui la dépollution qui est soulignée comme un des autres enjeux forts par Loïc Vaissière, expert matériaux de fonderie et leader stratégie chez Renault. Les nouvelles stratégies moteur et le retour aux moteurs essence conduisent à des températures sous capot moteur, beaucoup plus élevées. Les matériaux doivent donc présenter de la conductivité thermique (aluminium, fonte, acier, tous les matériaux sont concernés) et c'est aujourd'hui à la compétition permanente entre l'évacuation des calories et la tenue mécanique des pièces que doivent répondre les produits métalliques (sur moteur thermique ... mais aussi électrique, avec l'échauffement des cartes électroniques). Différentes solutions matériaux sont citées, soit avec les aciers moulés (aciers inox chargés en Chrome, Nickel, Tungstène et donc plus onéreux), soit avec des développements de nouveaux alliages légers chargés en zirconium ou titane, développés en particulier par les constructeurs allemands, avec cependant plusieurs pré-requis : le coût, la juste qualité par rapport au besoin fonctionnel, mais aussi la disponibilité mondiale des matériaux, sans être contraint par un brevet. En substance, Renault appelle ses fournisseurs à lui proposer des solutions développables à l'international.

- Emilie Garcia a ensuite rappelé que toutes ces innovations et collaborations peuvent recevoir le soutien de Bpifrance, qui avec ses 48 implantations en régions, s'efforce de répondre au plus près des besoins des entreprises : 90% des décisions sont prises en région. L'industrie représente 25% des montants d'intervention de Bpifrance (il s'agit donc du 1^{er} secteur soutenu), pour 5 Milliards d'€ par an, les deux tiers des soutiens adressant des TPE et PME via 5 métiers : le soutien à l'innovation, le financement (co-financement avec prêts), la garantie (pour inciter les banques à financer), l'investissement (en fonds propres) et l'aide à l'international. Les exemples cités en métallurgie sont autant en fonderie qu'en fabrication additive, auprès de startups, de PME ou d'ETI, associées également à des grands groupes prescripteurs. Des entreprises aussi diversifiées que Fives, Michelin, Auer, AddUp, Aubert et Duval, Fusia, Zodiac, Safran, Polyshape, Air Liquide, ou encore Volum-e, sont citées sur du développement produit, process ou matériau avec des partenaires

académiques, et sur des projets jusqu'à 5 à 20 M€, déployés sur plusieurs années. D'ici 2020, ce seront plus de 4000 entreprises qui auront été accompagnées par Bpifrance.

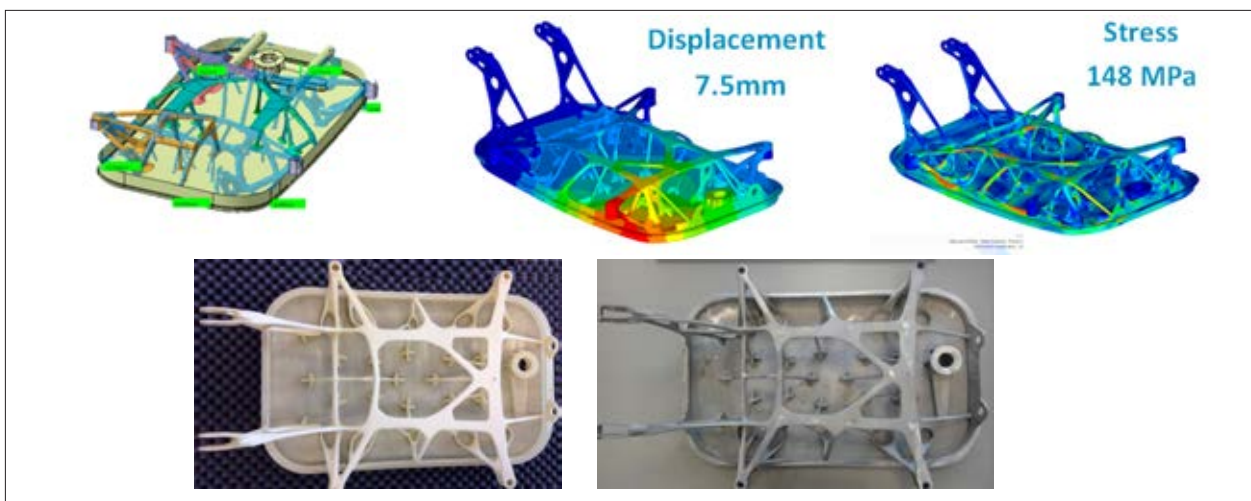


Les bénéfices gagnant-gagnant ont également été démontrés par les 3 *success stories* présentées en fin de première journée, respectivement par Laurent Dubourg (Institut Mautertuis) sur l'intégration du Laser Cladding sur chaîne automobile (en collaboration avec CTIF, PSA, Excelcar), Philippe Collange (Groupe SAB) sur l'intégration réussie de la tomographie en fonderie (en collaboration avec ZEISS), et enfin Matthieu Deloubes (SOGECLAIR Aerospace) sur la

porte aéronautique Eole (Fab'Add' & Fonderie) co-développée en collaboration avec CTIF & Ventana.

Efforts et compétences ont ici été mutualisés pour mieux innover :

La trappe de maintenance EOLE, développée au titre de démonstrateur pour mettre en avant le potentiel de l'impression 3D associée aux procédés de fonderie, est présentée par Matthieu Deloubes, responsable projet innovation chez SOGECLAIR Aerospace. L'association des 2 procédés (l'impression 3D et la fonderie) a permis d'aboutir à un produit optimisé, présenté pour la première fois au Salon du Bourget, avec plusieurs objectifs : tester des technologies et géométries innovantes (optimisation topologique), intégrer des fonctions, réduire la masse (-30%), et faire la démonstration sur une pièce aéronautique d'un mètre d'envergure, tout en restant sur un matériau et un procédé déjà qualifiés en aéronautique : la fonderie et l'AlSi7Mg06. Le démonstrateur a été développé en partenariat avec CTIF et Ventana pour l'optimisation du produit et sa fabrication, et Voxeljet pour les modèles en fabrication additive.

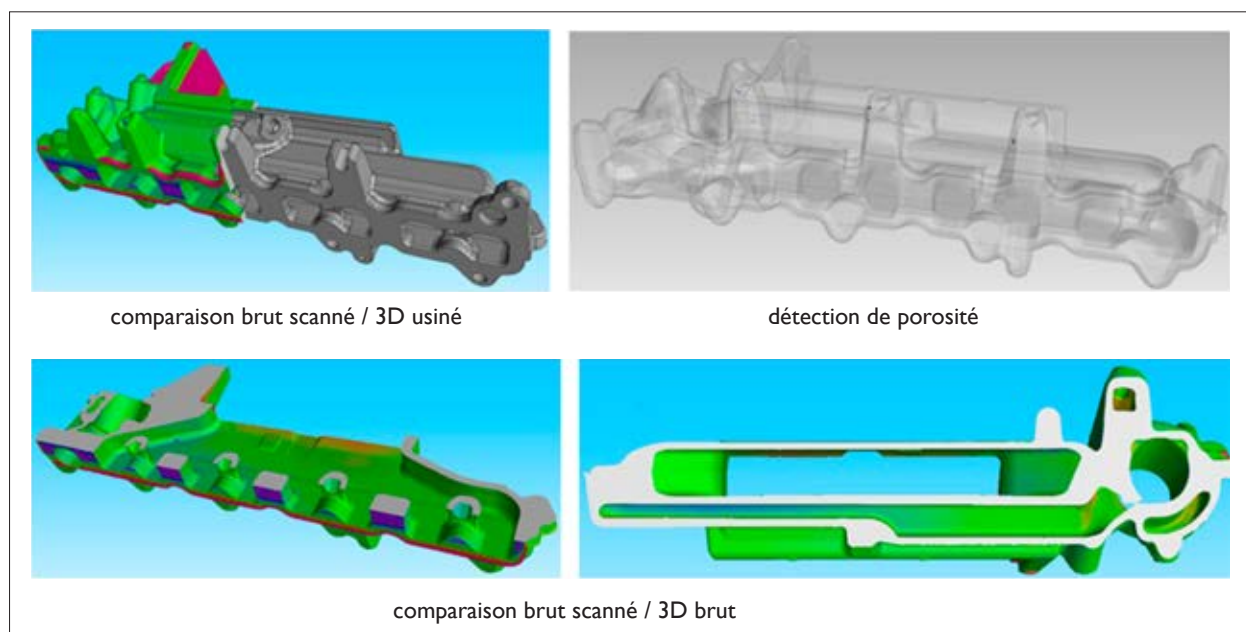


Images SOGECLAIR Aerospace

C'est ensuite **l'intégration réussie de la tomographie en fonderie** qui est présentée par Philippe Collonge, dans le cadre d'un partenariat gagnant-gagnant SAB-Zeiss. Parti du besoin initial d'assurer un contrôle endoscopique en approche automatisée, SAB a finalement décidé d'investir en 2017 dans la solution CT SCAN de ZEISS pour son centre de développement. Le tomographe nouvelle génération proposé par ZEISS est utilisé tant en mise au point (fabrication de pièces nouvelles) que

pour la sécurisation des démarrages séries, avec des temps d'acquisition de données plus courts et un processus d'analyse automatisé (pré-série/série). On parle ici d'optimisation des boucles (divisé par 100), de réduction des durées de mise au point (de jours en heures), de maintien des capacités d'usinage et d'influence positive sur les équipes (confiance pour la prise de décision). Au quotidien, est déjà apparu le besoin de passer le poste en 2/8, avec un lien direct avec la simulation process (corrélation) et

un besoin croissant sur les contrôles de pièces issues des sites de production de SAB. Les prochaines étapes de développement porteront sur l'analyse automatisée des données. A la question sur les référentiels de contrôle en tomographie, Patrick Bouvet, expert CND au CTIF précise qu'un projet CRITER TOMO piloté par CTIF est en cours avec des partenaires industriels, pour définir de nouveaux standards, comparables à ceux existant aujourd'hui en ASTM pour la radiographie numérique.



Images Groupe SAB

C'est enfin **l'intégration du laser cladding en ligne de production dans l'automobile** qui est présentée par Laurent Dubourg, responsable du développement à l'Institut Maupertuis de Rennes. Le projet co-développé avec CTIF pour la partie métallurgie, PSA au niveau du besoin industriel, et avec le soutien de ID4Car et Excelcar, avait pour objectif de démontrer la faisabilité, fiabiliser et rendre industriellement viable, l'ajout de fonction par fabrication additive sur des outillages d'emboutissage en fonte, en remplacement de lames rapportées habituellement en acier trempé. Après les travaux sur la métallurgie en 2015 et 2016, c'est en 2018 que le projet a trouvé son aboutissement, avec l'intégration dans les ateliers de PSA, directement sur un centre d'usinage d'outillages de grande taille (jusqu'à 6 mètres de long), d'un robot de rechargement. Au-delà de la maîtrise de la technologie, l'innovation réside aussi dans cette intégration, qui limite les montages et démontages : les opérations d'usinage et de rechargement sont réalisées successivement sur le même centre, avec des gains globaux, tant en termes économiques qu'en temps de fabrication. L'installation, opérationnelle depuis 6 mois, est en montée en production.

8 novembre : prospective, compétences, digitalisation & évolution des métiers

Au-delà des innovations technologiques et des collaborations associées, un enjeu majeur est aussi d'identifier (et de se rendre visible sur) les bons marchés sur lesquels les innovations vont pouvoir s'épanouir ! « *Avoir des bonnes idées sans marché, ça ne sert à rien* » précise Paul Henri Renard, directeur général du CTIF, en introduction de la deuxième journée de ces MetalDays !

Les débats ont donc été ré-ouverts ce 8 novembre par Paul Henri Renard sur tout le potentiel de la **PROSPECTIVE**, avec 3 tendances de fond dans les changements qui s'opèrent dans nos industries : le Darwinisme Digital (déjà effectif avec l'impression 3D), l'Industrie 4.0 (9 briques technologiques sur lesquelles nos industries françaises doivent se positionner) et la culture nouvelle du hacking & « Do it Yourself », qui doit aussi changer les cultures dans nos entreprises.



Paul Henri Renard,
Directeur Général CTIF

Crédit Photo : Stefan Meyer

« *Dans une économie qui valorise de plus en plus le temps, ce n'est pas le gros qui mange le petit mais le rapide qui dévore le lent...* »

Ces deux journées ne pouvaient pas se passer d'un débat au titre facétieusement provocateur : **FORGE, FONDERIE, FABRICATION ADDITIVE ... COMBAT FRATRICIDE ?** Dans ce débat de la troisième table ronde, les échanges de Jean Baptiste Prunier (Ferry Capitain), Cyril Aujard (ZEISS), Jean Pierre Wilmes (AGS Fusion) et Bernard Delaporte (Groupe Danielson) ont avant tout démontré des enjeux communs de temps gagné par l'intégration de la filière numérique, de progrès des méthodes et solutions de contrôle, et d'apports de la fabrication additive autant sur les procédés de fonderie que sur les nouvelles conceptions de produits métalliques.

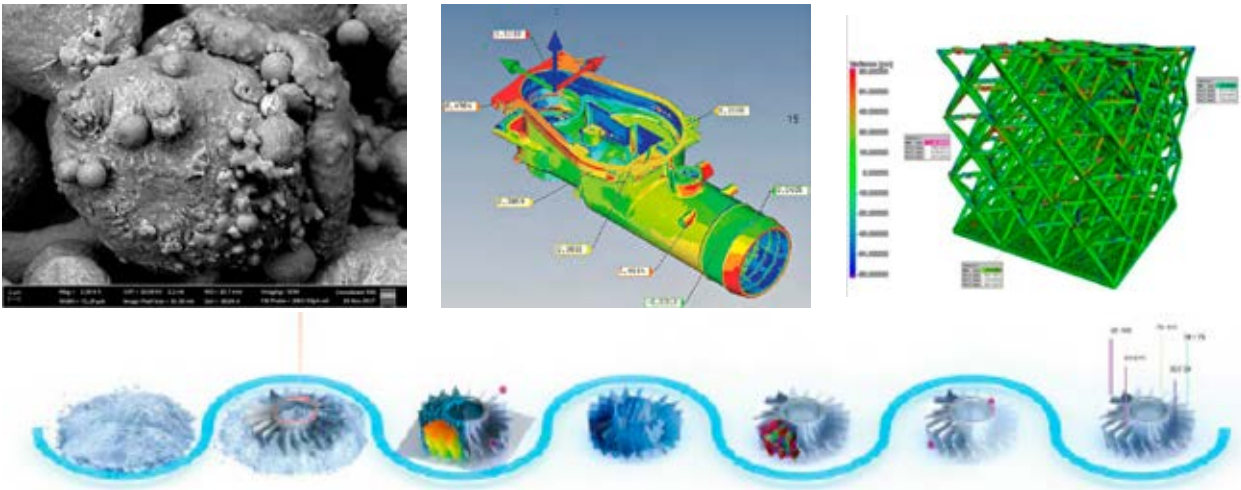
On retiendra des échanges :

- La présentation par Jean Baptiste Prunier pour Ferry Capitain de la performance de la stratoconception® adaptée à la fabrication de modèles de grande taille en fonderie. Les plaques en polystyrène sont usinées à partir d'un modèle CAO sur une machine à commande numérique autorisant les très grandes dimensions (4 m x 2 m) puis sont assemblées pour constituer le modèle. Ainsi le métier originel du modelleur est remplacé, avec uniquement un contrôle du modèle en fin d'assemblage, et des temps de fabrication qui sont réduits par trois : un modèle de grande couronne peut être produit en 1 semaine au lieu de 3 précédemment. C'est ici la capacité aux délais courts, aux pièces de grande taille et à la customisation qui est démontrée, au service du métier aval, qui reste l'expertise du fondeur : couler la pièce dans le moule issu du modèle issu de fabrication additive,



Images Ferry-Capitain

- La **révolution technologique vécue dans le métier des machines à mesurer 3D**, est elle résumée par Cyril Aujard chez Zeiss : en partant des savoir-faire du contrôle 3D par contact, on est rapidement passé à l'optique (lumière blanche, laser...) et ce sont maintenant les solutions RX (micro-tomographie, et maintenant nano-tomographie) qui se développent. Or les nouvelles générations de tomographes adressent aujourd'hui autant des problématiques de contrôle de santé matière, que de métrologie. Les nouvelles gammes de machines vont également adresser la fabrication additive, qui représente 5% du marché chez Zeiss, et devrait connaître un fort développement, du contrôle des poudres par MEB ou nano-tomographie, au scan 3D de la pièce finie et à son contrôle santé par tomographie.



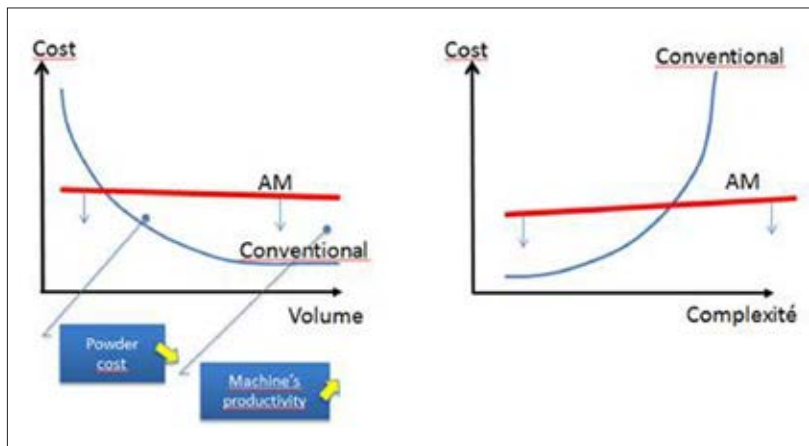
Fabrication additive, contrôle de la poudre jusqu'à la pièce finale - Images ZEISS

On parle ici de haute résolution, de contraste de phase, de mesure 3D, de CND sur structures complexes ... En résumé, des mises au point à la production, « la performance de laboratoire s'invite en contrôle de production » précise Cyril Aujard. La première démonstration en production est aujourd'hui chez BMW, avec 15 tomographes ZEISS mis en bord de ligne sur du contrôle en production de culasses en approche Industrie 4.0 (cellule robotisée, temps de scan inférieur à la minute, tri automatisé et approche big data avec la gestion des données et stocks en temps réel).



Contrôle de production de culasses par micro-tomographie en bord de ligne (BMW) - Image ZEISS

- Jean Pierre Wilmes, Directeur d'AGS Fusion, qui a intégré la fabrication additive métal (3 machines SLM) résume ensuite les enjeux de la fabrication additive métal par rapport aux métiers traditionnels de l'usinage et de la fonderie. AGS fusion adresse 4 marchés principaux avec la FA métal (aéronautique, automobile, outillages et prototypage) et le choix de la technologie est conditionné par les volumes de séries, les complexités géométriques et les tailles des produits. Jean Pierre Wilmes précise que l'évolution à la baisse des prix des poudres métalliques, et l'amélioration continue de la performance des machines (épaisseurs de couches, machines multi-laser) rendra la fabrication additive de plus en plus compétitive, sur des séries intermédiaires. L'évolution sera par contre conditionnée par la capacité des concepteurs/développeurs à sortir de leur zone de confort. On est ici sur de nouvelles approches en conception.



Comparatif Fabrication Additive (AM) & Procédés traditionnels (Conventional)

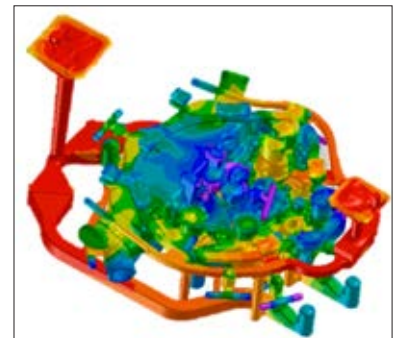
Illustration AGS Fusion

Cette évolution rapide des technologies est par contre indissociable d'un enjeu d'obsolescence des machines actuelles, notamment pour les entrepreneurs qui ont investi les premiers, et voient aujourd'hui des évolutions rapides sur les nouvelles générations de machines, qui vont bien au-delà du simple retrofit. Les constructeurs machine seront aussi attendus sur ces enjeux.

- Des évolutions également constatées par Bernard Delaporte, PDG du Groupe Danielson, qui a intégré la technologie de fabrication additive sable (machine ExOne) pour une réponse au plus rapide

et des conceptions optimisées sur moteurs automobiles, mais aussi pour le secteur aéronautique et la défense. Le groupe Danielson exploite et propose tout le potentiel de la fabrication additive sable pour ses conceptions : complexité et finesse des noyaux sur une culasse monocylindre, réduction ou suppression des assemblages, capacité à intégrer des refroidisseurs et autres artifices dans l'outillage ... la technologie élargit le champ des possibles, et associées aux technologies traditionnelles (moulage standard, fonderie), la solution commence à être compétitive, y compris sur des séries intermédiaires (100

à 200 pièces, point d'équilibre). Sur des moteurs monocylindres d'essais de combustion, la solution FA se révèle d'ores et déjà plus performante que les solutions classiques, d'autant plus si elle est associée aux développements amont de la chaîne numérique, menés notamment avec ESI dans le cadre du projet RECIFE auquel était associé DANIELSON Engineering. De la conception à la réalisation, la chaîne des processus est optimisée et maîtrisée, avec encore de réels gains à proposer sur les conceptions produit et réductions de masse associées.



Images Groupe Danielson

Les débats techniques ont ensuite été élargis aux enjeux vis-à-vis des **COMPÉTENCES**, avec les contributions et témoignages dans le cadre de la quatrième table ronde, de Charles De Forges (Spartacus 3D), Cécile Ravier (APEC), Claire Fabre (EXPERIS) et Pierre Yves Brazier (Ecole Supérieure Forge Fonderie) sur l'évolution des attentes des nouveaux embauchés, les conditions de leur projection efficace et (relativement) durable dans l'entreprise et l'importance de nouvelles approches, tant pour les recruter que pour leur donner envie de rester et d'apprendre nos métiers. Des débats complétés par les témoignages très concrets en séance des ingénieurs apprentis ESFF, présents sur les deux journées au nom de leurs entreprises respectives.

On retiendra dans les mots importants :

- « ingénieurs ESFF, une forte demande, et un recrutement quasi-immédiat en sortie d'école »
- « L'ESFF est devenue l'école de la formation à la transformation des matériaux »
- « Les ingénieurs (et techniciens !) que vous recrutez " vous sont prêts pour 3 ans " ... ils peuvent partir et revenir ... »
- « La formation aux nouveaux métiers est importante. Spartacus 3D a mis en place une formation " Next Academy " aux techniques de fabrication additives »
- « vous voulez les meilleurs candidats, ils veulent la meilleure entreprise, et c'est eux qui ont la main (marché des cadres ingénieurs) ... »

il y a une guerre des talents »

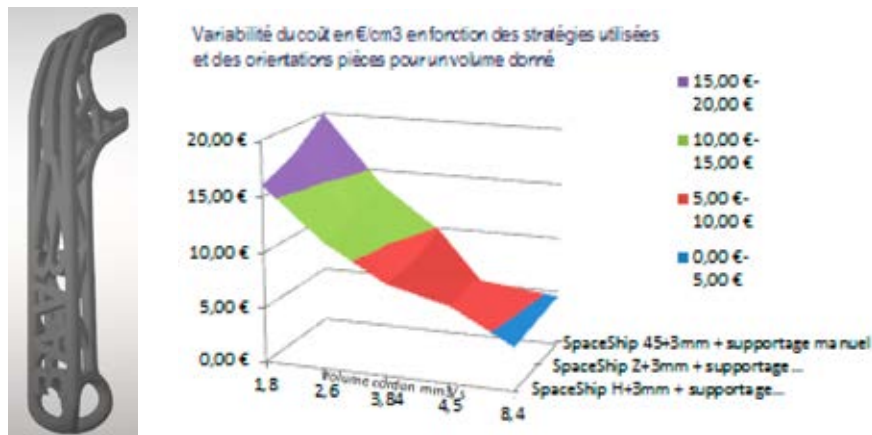
- « Il est de la responsabilité de nos entreprises de donner envie ... avec réalisme ... la marque employeur vaut mieux que les grandes déclarations corporate »
- « difficile de tenir la promesse quand on est une PME ... on recrute des ingénieurs qui sont sur-sollicités »
- « communiquer plus, si vous voulez être attractifs, mettez en avant vos salariés »
- « Ne pas travailler les compétences, c'est déjà prendre une longueur de retard »
- « La formation permet d'avancer tout de suite plutôt que d'attendre (pour un besoin immédiat) »
- « Les soft skills comptent autant que la compétence technique ... »



Table Ronde 4 : Recrutement et formation, deux alliés stratégiques ! - Crédit Photo : Stefan Meyer

La cinquième table ronde a enfin permis de dresser une synthèse des enjeux du **DIGITAL** dans nos métiers, de la conception à la production et au contrôle, avec les témoignages d'Antoine Selosse (NTN), Pascal Goumault (AddUp), Jean-Luc Roberge (CONSTELLIUM) et Nicolas Coutant (VOLUME GRAPHICS), tant via des solutions intégrales dans toute leur performance (CND, rétro-conception, traitement de données ...) que via des « systèmes D » auto-développés les plus créatifs au cœur des ateliers, avec l'importance à toutes les étapes, avant tout, de l'intelligence de l'homme derrière les outils, les machines et les logiciels.

En ouverture de cette dernière table ronde, Pascal Goumault, responsable de la formation et du conseil chez AddUp, précise que le chemin le plus court vers la conception idéale (en fabrication additive notamment) n'est pas unique, et que sans compréhension du contexte, il n'y a pas de bons usages des outils numériques. Avec une équipe de près de 200 personnes aujourd'hui, AddUp, qui a récemment intégré BEAM et Polyshape, propose donc des machines, mais aussi du service et de la formation, via notamment l'AddUp Academy. Illustration par l'exemple avec un décapsuleur de 4,8 grammes issu de fabrication additive en titane, résistant à 150 kg de traction sans rupture : au départ il faut bien spécifier les conditions d'utilisation (que ce soit du mécanique, du thermique, du fluide...) et envisager la conception et la fabrication en même temps, pour mettre la valeur au bon endroit et être compétitif. Au-delà de la performance des outils numériques, cela requiert de l'expérience, de l'esprit critique, de l'analyse de situation... en complément de l'intelligence artificielle, le besoin est donc avant tout sur l'intelligence humaine.

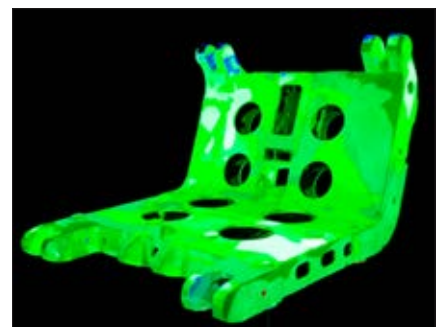


Images AddUp

C'est ensuite une véritable rupture sur le **contrôle dimensionnel des pièces série en aéronautique** qui a été présentée par Jean Luc Roberge, Directeur Technique de Constellium Ussel. Les enjeux sont de livrer des pièces conformes à 100 % en dimensionnel, de contrôler 100 % des surfaces dans un temps contraint, de travailler en automatisé sur des séries de 5 à 100 pièces par mois, que l'outil de contrôle soit utilisable par tous les opérateurs de production, et que

le moyen soit capable sur petites et grosses pièces. C'est donc la solution du **scan optique par lumière structurée** qui a été retenue par Constellium, via une cellule qui est la première en son genre en Europe : une cellule POLYSCAN constituée de 6 pylônes tous équipés de 2 caméras et 2 projecteurs, pour un volume de contrôle de 1,6 mètre de diamètre. Les temps de préparation sont drastiquement réduits, sans préparation préalable de la pièce, qui doit juste être positionnée

au centre de la cible. Les gammes de contrôles peuvent ainsi être automatisées (superposition sur un modèle de référence) en intégrant les tolérances dimensionnelles de chaque pièce. Grâce à un balancement automatique numérique par rapport au modèle 3D, le rapport de contrôle donne une visualisation complète des zones dans les tolérances, ou hors tolérances, en plus (bleu) ou en moins (rouge).

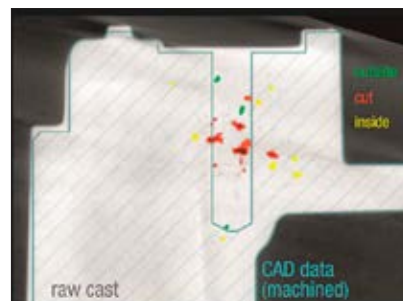
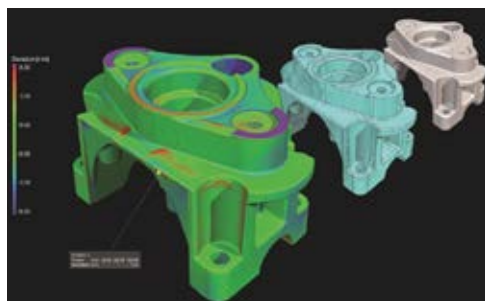
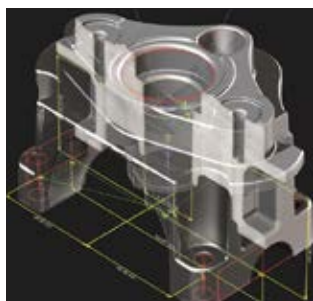


Images Constellium

Dans la continuité du message passé par Cyril Aujard, directeur général de Zeiss, sur l'importance des hardwares et des logiciels, Nicolas Coutant présentait pour sa part les solutions développées par Volume Graphics pour le traitement des données et images, issues notamment de la tomographie. La Solution VG-StudioMax se veut robuste et stable,

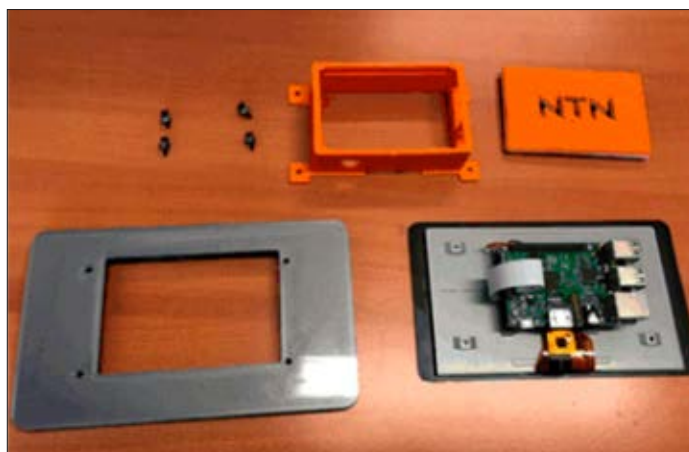
l'enjeu étant effectivement pour les industriels de disposer d'outils utilisables rapidement et simplement. A nouveau, Nicolas Coutant insiste sur l'importance de la formation, et aussi de la compétence initiale des personnes formées aux outils (pas de bonne utilisation sans une bonne connaissance initiale en métrologie et en matériaux). De la conception au

contrôle, on parle ici de détection de défauts, de gammes de contrôle, de rétro-conception, d'automatisation de sanction, de superpositions de géométries, de classification de défauts par types, d'anticipation avant usinage (défaut éliminé ou débouchant), de transfert de données numériques entre la conception, la simulation, la production et le contrôle.



Images Volume Graphics

C'est enfin dans une approche Usine du Futur (donc connectée), qu'Antoine Selsosse, Directeur du site NTN de Crezancy, témoigne sur les forces du hacking et du « do it yourself » dans les ateliers. Plus on a de machines dans une usine, plus on veut les connecter, et plus cela peut coûter cher, avec des problématiques de changement de versions, de compatibilité, d'obsolescence, qui finalement ont généré une méfiance naturelle d'un certain nombre de dirigeants face aux « softs » et à leur potentiel retour sur investissement et face aux objets connectés « en général » et à leur réelle utilité... Or le « faire soi-même » est un bon contre-exemple ! ... Ainsi, avec une tablette, un microprocesseur, une interface MES, et quelques artifices « faits maison » développés dans les ateliers, on peut démontrer ici que sans copier, et pour des budgets mineurs, on peut faire « ce qu'on veut » (et non pas ce que propose le fournisseur), avec des solutions aujourd'hui miniaturisées, très performantes (un Raspberry Pi, micro-ordinateur de la taille d'une carte crédit, une connexion réseau, des ports USB, une prise HDMI ... le tout pour moins de 40 € !). Dans un autre registre, des capteurs vibratoires, qui évitent de rentrer dans les circuits de la machine, permettent aussi une prise de mesure, et la captation rapide de données exploitables, avec des solutions rapidement déployables à moindre coût. Les objets peuvent donc effectivement devenir intelligents ... si des esprits libres les aident à le devenir !



Images NTN

C'est sur cette conclusion prometteuse, et avec cette même approche très pragmatique que Marc Antoine Talva (Directeur Général de Mobility Work) a clôturé les deux jours de conférences et tables rondes des MetalDays 2018 avec la présentation du 1^{er} réseau social de GMAO : une communauté de 10 000 Techniciens en réseau, qui a été initiée en fonderie, développé par Mobility Work.

Parti de l'idée initiale de faire une application de maintenance mobile, Marc Antoine Salva a finalement constaté que les industriels avaient beaucoup de machines communes, mais pas de communication. Créée

en 2016, la Société Mobility Work compte aujourd'hui 30 personnes et anime un réseau dans plus de 85 pays, 4600 usines, 3 millions d'heures de maintenance (utilisation de l'application) ... sur un réseau qui va de Danone à L'Oréal en passant par le LOSC ... Vrai réseau social, qui connecte des piscines municipales et des fonderies parce qu'elles utilisent les mêmes pompes ! L'application permet aux opérationnels de production et de maintenance, un travail en réseau permanent (récupération de données machines, listes de pièces détachées, recherches de produits, suivi d'actualité en temps réel, ...) pour 30€/mois par personne connectée ...

parce que « *le gratuit dans l'industrie c'est pas possible* ». L'ambition du plus grand nombre est donc atteinte et va encore diffuser. Une réussite très concrète et très opérationnelle ... qui a démarré à la FMGC !



Deux jours d'échanges, aussi sous forme d'ateliers et de rendez-vous *btoB*

Au-delà des conférences et tables rondes, les deux journées ont été ponctuées par des **ateliers** co-animés par CTIF avec les participants des deux journées sur les thèmes de l'innovation, de la formation et des compétences, du dialogue client-four-nisseur, de l'intégration du digital, et du développement durable, et par des **rendez-vous BtoB** au cours desquels les participants ont pu échanger directement entre eux et avec les équipes de CTIF.

Dans le cadre du **FORUM CTIF** les différents projets et travaux du CTIF pour la profession, ont également été présentés en continu, lors de sessions au cours desquelles les industriels et développeurs de solutions ont pu échanger directement avec les experts de CTIF sur les développements à venir (nous y reviendrons dans de prochains numéros).

A cette occasion, a notamment pu être présenté en avant-première, le **QUALIFLASH** nouvelle génération, co-développé avec **ALUMINIUM MARTIGNY**, et désormais disponible à la vente.



Enfin, les MetalDays se sont conclus avec la remise du Trophée MetalDays 2018, réalisée par la fonderie expérimentale de CTIF ... à Maxime Leblond, apprenti ingénieur ESFF en troisième année chez LISI... La force des métiers, le renouvellement des compétences, la cohésion d'une filière ... Tout un symbole !



Remise du Trophée MetalDays 2018 par Clotilde Macke-Bart à Maxime Leblond

Crédit Photo : Stefan Meyer

Deux journées riches en échanges et débats donc, qui nous ont démontré l'importance (les participants en témoignent) des MetalDays, qui tout en restant à taille humaine, ont su réunir sur 2 jours, toute une filière autour d'enjeux et de défis communs. **Un rendez-vous réussi, ne ratez pas la prochaine édition !**

En savoir plus :
www.ctif.com
<https://metaldays.ctif.com/>



Les équipes vous remercient

EUROFORGE conFAIR 2018 à Berlin : grand succès pour une première

Du 13 au 15 novembre 2018, EUROFORGE, la fédération européenne des associations nationales de l'industrie de la forge organisait à Berlin son premier salon, un format original combinant conférences scientifiques et présence d'exposants.



Alper Kanca, président d'EUROFORGE inaugure l'événement

Quelques 600 visiteurs professionnels venus de 35 pays ont visité EUROFORGE „conFAIR“. 55 exposants y présentaient un échantillon complet des technologies de la transformation des métaux par forgeage au plan international.

Parallèlement, les participants ont pu assister à un cycle de conférences faisant le point sur le dernier état des techniques de forge.

Ce premier conFAIR a permis à des forgerons, venus du monde entier, de se rencontrer et d'échanger avec clients et partenaires commerciaux potentiels.

Quant aux exposants, écoutons l'un d'eux :

«En l'espace d'une demi-journée nous avons eu d'avantage de discussions intéressantes que lors d'une foire industrielle d'une semaine entière».

Des orateurs renommés, politiques, industriels ou scientifiques ont éclairé les participants sur les technologies d'avenir ainsi que les défis auxquels l'industrie est confrontée dans le contexte mondial actuel.

Euroforge avait ainsi notamment invité l'ancien ministre des Affaires étrangères, Sigmar Gabriel, et le président de l'association Leibniz, le Professeur Matthias Kleiner en tant que conférencier.

Les deux intervenants ont souligné l'importance de l'innovation et de la digitalisation pour la compétitivité du secteur de la forge et l'avenir de l'industrie.

Comme l'explique Tobias Hain, secrétaire général d'EUROFORGE, il s'agissait de «Fournir aux sous-traitants

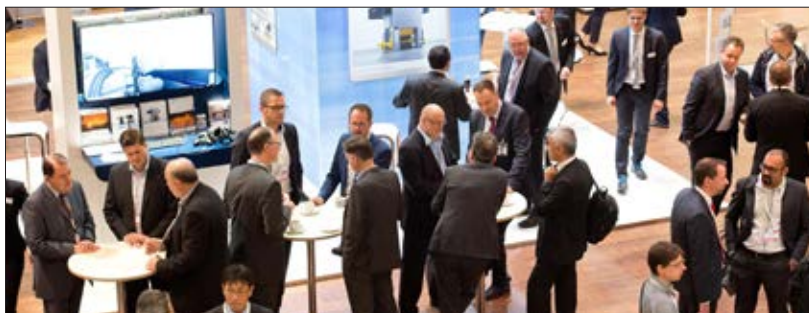
européens de taille moyenne, une plate-forme leur permettant d'offrir leurs produits et leurs services à un large public à l'échelon international tout en renforçant les échanges d'expériences».

Le programme de conférences du congrès, construit par une commission internationale, a ensuite permis de faire le point sur des thèmes aussi variés que :

- les derniers développements en matière de technologie de forgeage
- l'impact de la mobilité électronique sur le secteur de la forge
- les potentiels des produits forgés dans la construction légère
- l'industrie de la forge 4.0
- les tendances du marché international.

Fort de ce succès, l'association européenne a d'ores et déjà lancé la préparation de la deuxième édition d'EUROFORGE conFAIR qui se tiendra en 2021.

Pour plus d'informations :
www.euroforge.org et
www.euroforge-confair.com



Échanges pendant EUROFORGE conFAIR

Robotique et transformation de l'entreprise, clés de l'usine du futur

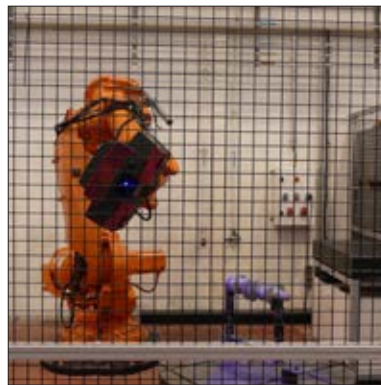
Les entreprises industrielles vivent une évolution accélérée. La robotisation est indispensable, la reconception des processus pour tirer parti du numérique également. Ce n'est qu'un des enseignements de la dense journée « R&Développez votre usine du futur » organisée à Metz conjointement par les instituts Carnot du Cetim et des Arts et Métiers qui a associé une matinée de conférence et une après-midi d'ateliers de démonstration d'innovations robotiques.

La journée fut dense et rythmée. Organisée conjointement par les Instituts Carnot du Cetim et des Arts et Métiers sur le campus Arts et Métiers de Metz (Moselle), la conférence « R&Développez votre usine du futur » a associé une matinée de conférences à une après-midi de démonstration de réalisations robotiques pour l'industrie. Le tout en respectant les horaires et sans temps mort.

Le programme de la journée a évité plusieurs écueils, celui d'être purement technique, ou incantatoire, ou trop théorique. D'une mise en perspective de l'industrie du futur dans la société à la clarification du rôle de la robotique jusqu'aux présentations des dispositifs d'aides pour les entreprises et de la chaire industrielle



Thermographie robotisée



Contrôle sans contact de pièces chaudes par stéréovision

« Systèmes de production », les thèmes de la matinée se répondaient en se complétant.

La matinée a alterné interventions très concrètes et réflexion sur l'évolution de l'entreprise, bouleversée par les nouvelles technologies. La filière manufacturing des instituts Carnot offre une aide aux PME et aux ETI à partir d'un guichet unique, autour de six thématiques fortes, dont la robotique. « Nous abordons la robotique comme un outil de performance industrielle, explique Hélène Determe, responsable Partenariats au Cetim, nous défendons la problématique industrielle qui se trouve derrière le robot, car il faut une solution technique réalisable. Nous sommes neutres, et

nous pouvons ainsi aider à choisir la bonne solution. »

Les instituts Carnot constituaient un partenaire naturel pour l'organisation de la journée, en particulier des membres de la filière manufacturing, les instituts Carnot Cetim, membre fondateur de l'Alliance industrie du futur, Carnot Arts (Actions de recherche pour la technologie et la société), porté par Arts & Métiers et Carnot TN @ UPSaclay (List), membres des Carnot Manufacturing. Tout comme les Arts & Métiers Paris-Tech Metz, avec des activités de recherche portées par les laboratoires LEM3 (Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux) et le LCFC (Laboratoire de Conception Fabrication Commande).



Cobot de Mip Robotics



Cobot Isybot

Clarifier la notion de robot

La chaire industrielle « Systèmes de production reconfigurables - sûrs - performants », inaugurée au printemps 2018, permet d'expérimenter outils et méthodes chez les industriels. Pour Jean-Yves Dantan, professeur des universités à L'ENSAM et porteur de la chaire, il s'agit de relever quatre défis principaux : la conception sûre des systèmes de production, la conception de systèmes de production reconfigurables, l'optimisation des temps non-productifs et la caractérisation des performances.

Cyril Jacquelin, ingénieur chef de projet robotique au Cetim, a clarifié la notion de robot. « Il y a beaucoup de confusions sur ce qu'est un robot. On doit distinguer les robots industriels, pour la production, les robots professionnels mais qui n'interviennent pas dans la production, et les robots domestiques. Les premiers sont arrivés à maturité, les seconds sont en croissance, les derniers sont encore émergents. »

Marion Gaday, chargée d'affaires innovation chez Bpifrance a rappelé le rôle de Bpifrance en faveur des entreprises, en particulier en réalisant des études de faisabilité d'un projet robotique pour les PME, avec une subvention pouvant aller jusqu'à 50 % du coût de l'étude, en aidant à la réalisation de prototypes par une avance de trésorerie, dont la moitié passe en subvention en cas d'échec, des prêts innovation pour un lancement industriel avec un remboursement différé de deux ans, etc.

La région Grand Est est la troisième région industrielle française après l'Île-de-France et Auvergne-Rhône-Alpes. « Notre objectif est qu'il n'y ait pas d'entreprise exclue du processus de digitalisation et d'innovation à cause de sa taille ou de son isolement, affirme Rémy Sadocco président de la commission Innovation, Enseignement supérieur et Recherche au conseil régional. Avec le plan régional mis en place en 2016, nous voulons nous positionner comme leader dans le contexte européen. Nous accompagnons les entreprises, quelle que soit leur taille. » La région finance un dia-

gnostic qui se déroule sur deux jours et demi puis assure un accompagnement ciblé et des préconisations autour de quatre axes d'évaluation : performance de l'outil de production, organisation industrielle, excellence environnementale, valorisation de l'homme.

« Il ne faut pas chercher à numériser les processus existants »

Pierre-Marie Guillot, enfin, a partagé ses réflexions sur les conséquences pour les entreprises de l'évolution de la société provoquée par le développement du numérique. Pour le responsable du Plateau projet Industrie du futur au Cetim, « aujourd'hui avec le e-commerce, en un clic, nous voulons recevoir chez nous un produit personnalisé. Et dans l'entreprise, il y a une demande de plus de sens et de plus d'autonomie dans le travail. Jusqu'à présent, l'entreprise innovait et cette innovation se diffusait ensuite dans la société. Aujourd'hui, les évolutions se passent d'abord dans la société civile. C'est la première fois dans l'histoire que l'innovation est exogène à l'entreprise. » Les entreprises doivent aussi relever le défi de l'arrivée de nouveaux métiers et donc d'une indispensable formation, revoir leur organisation et leur processus, savoir saisir les opportunités en faisant évoluer leur métier. « Il ne faut pas chercher à numériser les processus existants, mais les reconcevoir, insiste Pierre-Marie Guillot. Ne faites pas de plans digitaux, mais des plans de transformation ».

Les motivations des industriels présents sont résumées. « C'est d'abord un sujet dans l'air du temps même si je pense que l'évolution ne se fera pas rapidement. Cela me permet également d'échanger avec d'autres secteurs. »



Mesure de contraintes résiduelles

L'innovation en action

L'après-midi a permis de découvrir au sein de l'atelier de l'ENSAM neuf démonstrations de robotique, montrant la diversité et la vitalité des innovations dans ce domaine. Des prototypes côtoyaient des solutions en exploitation, des solutions économiques conçues pour des PME contrastaient avec des systèmes faisant appel à des robots de grande taille et des innovations inédites. Voici le tour de l'atelier.



Forgeage libre robotisé sous presse

Actuellement, les entreprises qui utilisent le soudage par fusion malaxage (FSW pour *Friction Stir Welding*) ont recours à des machines dédiées ou, plus rarement, à des machines-outils rétro-fitées. L'intérêt de cette technologie, principalement utilisée sur les alliages d'aluminium, est qu'elle rend la matière malléable sans atteindre la température de fusion, qui peut modifier les caractéristiques de la matière et provoquer des déformations. Pour gagner en flexibilité et réduire les coûts, le laboratoire LCFC de l'ENSAM de Metz a développé en partenariat avec l'institut de soudure une application pour utiliser un robot standard dont le bras supporte la tête de soudage. Le robot - de grande taille - possède un grand volume de travail et une zone d'accessibilité importante et permet à l'outil de suivre des trajectoires complexes. Il est capable de souder jusqu'à 40 millimètres en une seule passe. Actuellement en phase de validation, le système a été expérimenté sur des pièces aéronautiques. Le système permet une réduction de 90 % des erreurs de trajectoire en soudage linéaire et une réduction de 80 % pour des trajectoires planes courbes. Il permet également la réalisation d'assemblages complexes et de grandes dimensions.

L'atelier a également accueilli deux *start-up* franciliennes, parmi les très rares fabricants français de robot. Mip Robotics a été incubée à l'ENSAM. « Junior », son premier cobot quatre axes ne pèse que quinze kilos et supporte une charge de trois kilos à sa vitesse maximum pour un prix de vente qui reste sous la barre des 10 000 Euros. Mip Robotics a développé et breveté son propre type de réducteur de vitesse, dont l'architecture rend plus simple l'usinage. Il est possible d'apprendre au robot les



Simulateur de démarrage d'une ligne de fabrication

gestes à accomplir en le guidant à la main. Destiné à travailler à côté d'un opérateur, le robot s'arrête en cas de contact.

Le cobot trois axes de ponçage et polissage d'Isybot est issu de développements réalisés au sein du laboratoire de robotique du CEA, qui a déposé les brevets. Après deux ans d'incubation, l'entreprise a pris son autonomie. Elle conçoit les parties électriques, mécaniques et logiciel, sous-traite en France la fabrication des pièces, puis assure le montage et les tests. Le cobot d'Isybot vise à répondre à trois objectifs : la lutte contre la pénibilité en déchargeant l'opérateur des tâches répétitives, améliorer la productivité et revaloriser auprès des jeunes des métiers réputés comme pénibles. « Il s'agit d'un robot collaboratif et interactif. La machine enregistre le geste, soit en manuel, soit en programmant



Robotique flexible pour manutention de pièces

quatre points pour délimiter le périmètre. Elle garantit ensuite un effort constant sur la surface. » Pendant le travail de ponçage ou de polissage, l'opérateur est libéré pour réaliser une autre tâche. Isybot compte parmi ses clients la SNCF ou Dassault Aviation. Des applications pour le contrôle non destructif et pour la palettisation libre en bord de ligne sont en préparation.

Le Cetim présentait un poste robotisé de thermographie infrarouge active. En chauffant la pièce forgée, des soudures, des pièces en fabrication additive, des boulonneries ou des engrenages, la caméra est capable de détecter différents défauts, comme un replis de forge, des fissures ou un manque de pénétration. Cette méthode est non intrusive et sans contact, et le contrôle lui-même ne demande qu'une demi-seconde. Mais dans le cas d'une production en série, un système de vérification pièce par pièce peine à suivre la cadence, car il faut placer la pièce. L'utilisation d'un

système développé avec l'institut Carnot reposant sur un robot standard réduit la durée totale de l'opération à cinq secondes : prise de la pièce, vérification, repose. Les pièces non conformes sont éjectées automatiquement, grâce à la communication entre le système de contrôle et le robot. Une mise en œuvre spécifique doit être réalisée pour chaque type de pièces, le système robotisé est donc adapté aux séries.

La démonstration du forgeage libre robotisé sous presse, développé sur le campus de Metz, est le plus spectaculaire, avec le placement du produit sous la presse par un robot manipulateur et la mise en forme d'un lingot ou d'une barre par écrasements successifs à chaud. Traditionnellement, ces opérations sont effectuées manuellement. L'intérêt de l'utilisation d'un robot pour ce type de travail pénible est évident, mais la mise au point est délicate. La vitesse de la machine, trente coups à la minute, est l'un des points critiques. La ma-

nière dont la pièce est maintenue est très importante, et des outils de mesure sont en cours de développement pour que le robot compense automatiquement le moindre déplacement. Lors de la frappe, certains axes du robot sont libérés, afin qu'il puisse se « déformer », la difficulté étant de reproduire au plus juste les mouvements d'un opérateur. L'utilisation du robot manipulateur (un ABB six axes d'une capacité de charge de 500 kilos) permet une programmation libre en fonction des dimensions de la barre ou du lingot et de celle à obtenir sur le produit final. Grâce à des capteurs, le robot s'adapte en fonction de son environnement.

La détection le plus tôt possible d'un défaut de fabrication est un enjeu important. Avec un réglage rapide de la machine, le nombre de pièces non conformes sera réduit au minimum. C'est par un système de contrôle des pièces à chaud que le temps du contrôle après la fabrication sera le plus court. La mesure 3D par stéréovision devient possible et, après la prise en compte de règles de conversion chaud-froid en fonction des entités à contrôler, la pièce est immédiatement reconstruite numériquement afin de la comparer à la pièce type. L'institut Carnot Arts, en collaboration avec l'Institut supérieur européen de l'entreprise et de ses techniques (Iseetech) de Metz, a associé un système de mesure 3D à un robot six axes afin de placer la pièce rapidement et de façon optimale. Ce système de contrôle est un peu moins précis qu'une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT), mais convient parfaitement à la forge-fonderie.

X-Raybot, la cellule robotisée transportable de mesure des contraintes résiduelles est une exclusivité du

Cetim. Elle est beaucoup utilisée pour la prédiction de durée de vie. La difficulté liée à la robotisation est la relative imprécision des robots. Le Cetim associé à la société MRX a donc développé un système d'auto-positionnement du robot, vérifié ensuite par triangulation. L'ensemble est utilisable et transportable par une seule personne, offre une grande flexibilité d'usages et s'adapte à toutes les formes de pièces. En remplaçant le refroidissement par eau utilisé habituellement sur les tubes de rayons X par un refroidissement à air, le système gagne en légèreté et s'affranchit d'un branchement d'eau.

La cellule robotisée collaborative mise au point par le Cetim en partenariat avec Ideatech vise la simplicité et l'économie. Elle est destinée à des opérations simples de manutention pour libérer les opérateurs de tâches répétitives, faciliter de nouvelles mises en œuvre et mieux organiser la production. Afin d'obtenir une autonomie complète, la cellule intègre tout ce qui est nécessaire au fonctionnement. Le système a été conçu pour être flexible. Par un simple changement du préhenseur, la cellule peut fonctionner avec une autre machine. Les demandes émanent surtout des décolleteurs de la vallée de l'Arve pour de grandes séries, mais également d'industriels de mécanique générale pour des petites séries, comme du tronçonnage de bielles pour l'aéronautique. « *Nous mettons le robot à disposition dans les entreprises, explique Rémy Roignot du Cetim. Les réglages demandent un quart d'heure, après avoir étudié le système. Nous avons cherché à réaliser l'opération de la façon la plus simple possible. Nous sommes sur une approche de technicien, et non de roboticien, avec un minimum de capteurs. L'idée est de ne jamais rester bloqué, et de pouvoir*

éventuellement revenir en manuel en cas de problème. » Le Cetim propose un accompagnement d'une semaine pour l'installation et la formation, lié à un prêt de deux mois de la cellule pour une expérimentation grandeur nature.

Enfin, l'institut Image de Chalon-sur-Saône d'Arts et Métiers montrait un simulateur en réalité augmentée d'un processus de démarrage d'une

ligne de fabrication, développé en seulement deux semaines par des étudiants. Ce simulateur pourrait être utilisé à la formation aux procédures pour des opérateurs amenés à travailler sur une ligne de production qu'ils ne connaissent pas. L'utilisateur porte un casque de réalité virtuelle et est immergé dans un environnement lui permettant de reproduire une procédure, afin d'être plus rapidement efficace sur la ligne.



Soudage robotisé par friction malaxage

Les neufs démonstrations

- Thermographie robotisée appliquée à des pièces de forge (Cetim)
- Amélioration de la compétitivité et de l'attractivité du poste de polissage par la cobotique (CEA TN@UPSaclay)
- La robotique flexible mobile pour la manutention des pièces (Cetim)
- Le forgeage libre robotisé sous presse (ARTS)
- Le contrôle sans contact de pièces chaudes par stéréovision (ARTS)
- Le soudage robotisé à l'état solide par friction malaxage (ARTS)
- Simulateur de processus de démarrage d'une ligne de fabrication (ARTS)
- Mesures des contraintes résiduelles des pièces métalliques via un système robotisé transportable (Cetim)
- Le cobot économique de la start-up Mip Robotics



Nicolas CRÉON,
Responsable Environnement
Hygiène et Sécurité

Une nouvelle compétence dans l'équipe de la Fédération

C'est avec grand plaisir que Nicolas Créon a rejoint l'équipe de la Fédération Forge Fonderie en tant que responsable HSE le 3 décembre.

Chimiste spécialisé dans les matériaux, il a achevé sa formation par un doctorat à l'Université de Caen.

Après trois années de recherche à l'Université d'Oslo et à l'IFP Energies nouvelles, il a choisi d'élargir ses compétences aux sujets liés à l'environnement et à l'hygiène et la sécurité au travail et a suivi le Mastère spécialisé Management de la Qualité, de la sécurité et de l'environnement de l'école d'ingénieur Ei.CESI.

Il a travaillé pendant un an en tant qu'ingénieur HSE sur un site spécialisé dans la synthèse de molécules pour les industries pharmaceutique et les industries de la parfumerie.

Il a ensuite occupé pendant près de sept ans le poste de responsable Environnement au sein de l'Alliance des minerais, minéraux et métaux, la fédération professionnelle qui représente les entreprises françaises des secteurs miniers et métallurgiques. Il a, à cette occasion, travaillé sur quasiment l'ensemble des sujets environnementaux auxquels sont confrontées ces entreprises puisqu'il a été successivement en charge des sujets ICPE,

biodiversité, industries minières, énergie et changement climatique.

Fort de ces expériences, Nicolas Créon rejoint la Fédération Forge Fonderie pour défendre les intérêts de la profession et conseiller les adhérents sur les problématiques HSE. Il sera en charge des sujets suivants :

- Environnement : ICPE, SEVESO, BREFs, émissions industrielles, RSE, fiscalité environnementale, efficacité énergétique, économie circulaire, etc.,
- Hygiène et sécurité : exposition des travailleurs, produits chimiques, sécurité au poste de travail, etc.

Contact : n.creon@forgefonderie.org



Alliages d'Aluminium Primaires
(sur demande, alliages bas Fe - bas Si)

Alliages mères d'Aluminium
(Base Aluminium 99,7% : Magnésium, Strontium, Strontium-Calcium, Silicium...)

Transformation d'alliages spéciaux avec remise au titre
Pour toute demande spécifique, nous consulter.




ADIAL ■ Route de Moulismes ■ 86430 ADRIERS
Tél: 33 (0)5 49 48 01 00 ■ Fax: 33 (0)5 49 48 13 10
E-mail : adial@adial-ahu.com ■ site : www.adial.fr



Un nouveau Président à la tête de l'ESFF

Après 15 ans à la conduite du conseil d'administration de l'ESF puis de l'ESFF en tant que Président, Monsieur André Robert-Dehault a souhaité passer le témoin à un autre administrateur de l'école, Monsieur Thierry Chazot.

Ancien élève de l'ECAM puis de l'ESF en année de spécialisation (68), André Robert-Dehault a su soutenir et encourager le développement des compétences pour nos professions.

Lors de sa dernière cérémonie de remise des diplômes, il a reçu une « standing ovation » de l'ensemble de l'assemblée. Les élèves, anciens élèves, enseignants, représentants de la profession et des partenaires de l'ESFF ont tenu à marquer par ce geste, le profond respect qu'ils ont souhaité lui témoigner et le remercier pour ces belles années d'engagement et de fidélité pour nos métiers au travers de la conduite de l'école de la profession.



Lors du dernier conseil d'administration, le 18 octobre 2018, et après une assemblée générale extraordinaire, Monsieur Thierry Chazot, administrateur de l'école depuis février 2013, bien connu du monde de la forge, a officiellement pris la présidence de l'école.

Il était déjà très impliqué au devenir de la formation professionnelle en tant qu'administrateur d'A3F.



Diplômé de l'Ecole Centrale de Paris en 1973 (option métallurgie), il a exercé son métier d'ingénieur au sein de 3 des plus grands groupes français de forge, dans des fonctions opérationnelles et de management.

Il débute dans l'usine de Pamiers (09), appartenant alors à Creusot-Loire, (et maintenant au groupe Aubert & Duval, *adhérent de l'AFF/FFF, ndlr*), de 1974 à 1989, comme ingénieur qualité puis

responsable de services de production, finissant par le management et la supervision de tous les services matriçage et estampage du site.

Puis, recruté en 1989 comme directeur de l'usine de Setforge la Clayette (*adhérent de l'AFF/FFF, ndlr*), il assume au sein du groupe Setforge, et progressivement, la supervision des cinq sites de production, en étant le Directeur Général Adjoint à partir de 2001.

Il rejoint ensuite le groupe Manoir Industries en 2003, recruté comme Directeur général de la société filiale Forges de Bologne. Il est ensuite nommé en 2006 président de la business Unit Manoir Aerospace. Il occupe cette fonction jusqu'en 2009.

A l'occasion du changement d'actionnaire dans le groupe Setforge, il retourne en 2009 dans ce groupe au sein duquel il exerce dès 2010 une double fonction :

- Président de Setforge Engineering, société filiale qui est le centre R & D produits et *process* de forge du groupe (12 ingénieurs spécialisés en conception mécanique) ;
- Directeur industriel (COO) du groupe regroupant les neuf sociétés de production, avec une mission d'assistance et de conception des procédés développés dans ces sociétés et des investissements associés.

Il exerce ces 2 fonctions jusqu'à fin juillet 2018, date à laquelle il a fait valoir ses droits à la retraite.

L'école a pris officiellement un deuxième F pour la forge en 2005 sous l'impulsion de Monsieur Roger Hubert alors administrateur du conseil. Il était normal de créer cette alternance à la tête de l'école.

Chacun aura noté que c'est pour l'école le premier président issu de la forge qui va maintenant incarner la grande diversité actuelle et future des métiers de la mise en forme des matériaux métalliques.

Souhaitons-lui une pleine réussite dans ces nouvelles responsabilités.

Pierre-Yves BRAZIER,
Directeur de l'ESFF

Formations catalogue inter entreprises A3F



Réf	Intitulé	Date début	Date fin	Animateur CTIF	Animateurs	Animateur A3F	Lieu
TM F049	Technical English in foundry	15 janv. 19	16 janv. 19	COLLIARD Christine (CTIF)			Sèvres (92)
FE F001	Réfractaires en fonderie de métaux ferreux et cuivreux : choix et mise en oeuvre	22 janv. 19	24 janv. 19		Sylvain CHOQUENET (Calderys), Pascal PRIGENT (TRB)		
TM F061	Les principes de la métallurgie appliquée aux matériaux métalliques	29 janv. 19	30 janv. 19	Cécile FIZANNE MICHEL (CTIF)			Sèvres (92)
CU F026	Métallurgie, Elaboration et traitements thermiques des alliages de cuivre moulés	5 Feb 19	7 Feb 19	Michel STUCKY (CTIF)			Sèvres (92)
NFE F067	Process et qualité des pièces en fonderie sous pression	5 mars 19	7 mars 19	José RUIZ (CTIF)			
TM F015	Apprentissage des bases de la fonderie Session A	12 mars 19	15 mars 19		Yannick TREMENEK, Vincent LACROIX, (Lycée Marie Curie) Jean Charles TISSIER (ATF)		
FG A01	Gamme de forge	19 mars 19	20 mars 19			Jean CANOEN (A3F)	Sèvres (92)
AL F002	Métallurgie, élaboration et traitements thermiques des alliages d'aluminium moulés	19 mars 19	21 mars 19	Michel FLEURIOT, Michel STUCKY, Antonio DA SILVA (CTIF)			Sèvres (92)
FE F045	Techniques et conduite de fours de fusion à induction	26 mars 19	28 mars 19		Christophe BERNELIN (Inductothermie), Patrick DUTHOY (ABP), Lionel ALVEZ (Otto Junker GmbH)		
OGA03	Management d'atelier	27 mars 19	28 mars 19			Laurent CHALLAN BELVAL (CB Consult)	Sèvres (92)
FG A13	Conception et qualité de pièces forgées	2 Avr 19	3 Avr 19			Jean CANOEN (A3F)	Sèvres (92)
TM F057	Contrôles et analyse de défauts de pièces de fonderie	2 Avr 19	4 Avr 19	Laurent BIRCKEL, Rachid MEDDOURI, Crystèle LAGUERRE (CTIF)			Sèvres (92)

AGENDA

Réf	Intitulé	Date début	Date fin	Animateur CTIF	Animateurs	Animateur A3F	Lieu
FT F043	Métallurgie et métallographie des fontes	9 Avr 19	11 Avr 19		Jacques FARGUES (ATF) Jean Paul CHOBAUT (CM2T)		
AC F042	Métallurgie, élaboration et traitements thermiques des aciers moulés	14 Mai 19	16 Mai 19	Cécile FIZANNE MICHEL (CTIF)			
TM F068	Quelle technique de mise en œuvre pour vos pièces : la fonderie, la forge, la fabrication additive	14 Mai 19	16 Mai 19	Laurent BIRCKEL Alexandre MOUILLET (CTIF)			Sèvres (92)
TM F006	Moulage et noyautage en sable à prise chimique	21 Mai 19	23 Mai 19		Pierre SADON (ATF), Thierry NORMAND (ASK) Manuel VARGAS (HAF)		
SP F063	Métallurgie et traitements thermiques des superalliages et alliages de titane	21 Mai 19	23 Mai 19	Gilles REGHEERE Michel STUCKY (CTIF)			Sèvres (92)
TM F008	Masselottage et remplissage en moulage sable (tous alliages)	4 juin 19	7 juin 19	Didier TOMASEVIC (CTIF)			Sèvres (92)
TH F065	Optimiser une visite technique chez son fondeur	4 juin 19	5 juin 19		Guillaume ALLARD, Claude Henri LEMAIRE (ATF)		
TM F056	L'analyse chimique par spectrométrie des produits moulés	12 juin 19	13 juin 19	Virgine RIGAUX (CTIF)			Sèvres (92)
AL F022	Défauts en fonderie d'alliages d'aluminium coulés par gravité	12 juin 19	14 juin 19	Michel STUCKY (CTIF)			
FG A06	Métallurgie et traitements thermiques des pièces en acier forgé	18 juin 19	19 juin 19	Cécile FIZANNE MICHEL (CTIF)			Sèvres (92)
FT F014	Défauts en fonderie de fonte : diagnostics et solutions	18 juin 19	20 juin 19		Denis ROUSIERE Christian TROCHU Fabrice MORASSI (ATF)		
FG A12	Les bases de la forge à froid	25 juin 19	26 juin 19			Dominique PREGUICA (A3F)	Sèvres (92)

février 2019

SUBCONTRACTING FAIR	05/02/2019 - 08/02/2019	Leipzig (Allemagne)	www.subcontracting-fair.com	International Subcontracting Fair for parts, components-modules and technologies
SIEE POLLUTEC ALGÉRIE 2019	11/02/2019 - 14/02/2019	Alger (Algérie)	www.sieepollutec.com	protection de l'environnement, écologie, eau
COLLOQUE DU SYNDICAT DES ENERGIES RENOUVELABLES	08/02/2019	Paris (France)	www.colloque-ser.fr	Energie renouvelables
MAINTENANCE	20/02/2019 - 21/02/2019	Dortmund (Allemagne)	www.easyfairs.com	Salon de la maintenance
INTERNATIONAL RAILWAY SUMMIT 2019	20/02/2019 - 22/02/2019	Frankfurt (Allemagne)	www.irits.org	Transport ferroviaire
SIMA	24/02/2019 - 28/02/2019	Paris (France)	www.simaonline	Mondial des Fournisseurs de l'agriculture
SIAM	28/02/2019 - 03/03/2019	Monaco	www.salonautomonaco.com	Salon International de l'Automobile
INTERNATIONAL ENGINE CONGRESS	26/02/2019 - 27/02/2019	Baden Baden (Allemagne)	www.vdi-wissensforum.de	Moteur à combustion interne

mars 2019

INTERNATIONAL MOTOR SHOW 2019	07/03/2019 - 17/03/2019	Genève (Suisse)	www.salon-auto.ch/fr	Industrie automobile
GLOBAL INDUSTRIE	05/03/2019 - 08/03/2019	Lyon (France)	www.global-industrie.com	Salon international de la sous-traitance
La Fédération sera présente au village Forge Fonderie				
ST PETERSBOURG TECHNICAL FAIR	12/03/2019 - 14/03/2019	St Petersburg (Russie)	http://en.ptfair.ru	Salon et congrès de la métallurgie, de l'ingénierie mécanique, du travail du métal et de l'innovation industrielle
JEC WORLD	12/03/2019 - 14/03/2019	Paris (France)	www.jeccomposite.com	Salon des composites

mars 2019

JEC WORLD	12/03/2019 - 14/03/2019	Paris (France)	www.jeccomposite.com	Salon des composites
SALON DE L'INDUSTRIE ET DE LA SOUS-TRAITANCE DU GRAND-OUEST	21/03/2019 - 23/03/2019	Nantes (France)	www.industrie-nantes.com	Sous-traitance
MAINTENANCE	27/03/2019 - 28/03/2019	Anvers (Belgique)	www.antwerexpo.be	Le salon professionnel de la maintenance industrielle
SUBTORNITURA	28/03/2019 - 30/03/2019	Parme (Italie)	www.fiereparma.it	Salon de la sous-traitance industrielle
INDUSTRIE LYON 2019	05/03/2019 - 08/03/2019	Lyon (France)	www.industrie-expo.com	Salon des technologies de production
SIFER	26/03/2019 - 28/03/2019	Lille (France)	www.sifer2019.com	Salon international de l'industrie ferroviaire

avril 2019

EUROCOKE SUMMIT	02/04/2019 - 04/04/2019	Amsterdam (Pays-Bas)	www.metcokemarket.com	Coke, Coal and Steel industry
RIST	02/04/2019 - 04/04/2019	Valence (France)	www.rist.org	Rencontres interrégionales de Sous-Traitance
HANNOVER MESSE	05/03/2019 - 08/03/2019	Hannover (Allemagne)	www.hannovermesse.de	Salon mondial de la sous-traitance industrielle et de la construction légère
RETEC	25/04/2019 - 27/04/2019	Augsbourg (Allemagne)	www.retec-fair.com	Le salon international des machines d'occasion ReTEC

mai 2019

BIEMH 2019	05/05/2019 - 29/05/2019	Bilbao (Espagne)	www.bilbaoexhibitioncentre.com	Machine-outil
ESAFORM 2019	08/05/2019 - 10/05/2019	Vitoria-Gasteiz, (Espagne)	https://esaform2019.mondragon.edu/en/home	International Conference on Material Forming
SOLIDIFICATION COURSE 2019	12/05/2019 - 17/05/2019	Les Diablerets (Suisse)	www.esi-group.com	Intensive course for metallurgists and foundry engineers (28th Edition)
INTERNATIONAL CONFÉRENCE "NEW DEVELOPMENTS IN HYDROFORMING"	14/05/2019 - 15/05/2019	Stuttgart (Allemagne)	www.ifu-konferenz.de	Hydroformage
RAILTEX	14/05/2019 - 16/05/2019	Birmingham (Angleterre)	www.railtex.co.uk/2019/english/	Event for railway equipment industry
STAINLESS STEEL FAIR	15/05/2019 - 16/05/2019	Brno (Rep.Tchèque)	www.bw.cz	Salon international et conférence sur l'acier inoxydable
MOULDING EXPO	21/05/2019 - 24/05/2019	Stuttgart (Allemagne)	www.messe-stuttgart.de/en/moulding-expo	Foire de la fonderie
FORGE FAIR	21/05/2019 - 23/05/2019	Cleveland (Ohio, USA)	www.forging.org	Salon et conférence international pour la forge

juin 2019

GIFA	15/06/2019 - 29/06/2019	Düsseldorf (Allemagne)	www.gifa.de	Trade fair for casting technology
-------------	-------------------------	------------------------	--	-----------------------------------

septembre 2019

LUXEPACK	30/09/2019 - 02/10/2019	Monaco	www.luxepack.com	
-----------------	-------------------------	--------	--	--

INDEX DES ANNONCEURS

ACTEMIUM	2^e de couv
ADIAL	61
ALTIFORT SMFI	15
ASK CHEMICALS	3^e de couv
EDITIONS TISSOT	20
FOSECO	4^e de couv
FICEP	14
GNR	15
LASCO	4
SCHULER PRESSEN GMBH	29
SIIF	1
TRANSVALOR SA	6



Je désire m'abonner à **LA REVUE forge et fonderie** pour 4 numéros au tarif de 95,34 € TTC (90,37 € HT)

Veuillez trouver ci-joint mon règlement à l'ordre de CIFORGE (Centre d'Information de la Forge)

Veuillez trouver ci-joint copie de mon ordre de virement bancaire

Merci d'indiquer votre numéro de TVA intracommunautaire

.....

Domiciliation

Neuflize OBC 3 avenue Hoche 75008 PARIS
Code banque 30788
Code guichet 00100
N° Compte 10283040001
Clé Rib 75
Code IBAN FR 7630788001001028304000175
Code BIC NSMBFRPPXXX

BULLETIN D'ABONNEMENT

Mes coordonnées

Société

Service ou fonction

Nom Prénom

Rue

CP Ville Pays

Téléphone : Fax mail

Date Signature



LA REVUE forge et fonderie est éditée par
le Centre d'Information de la FORGE et de la FONDERIE
45, rue Louis Blanc, 92400 COURBEVOIE
Tél. : 01 43 34 76 30, Fax : 01 43 34 76 31
E-mail : contact@forgefonderie.org

LA TECHNOLOGIE DE
FONDERIE DE DEMAIN

Etes-vous prêts

un monde plus coloré?



ECOCURE BLUE pour plus de protection pour l'environnement et pour les employés



En choisissant ECOCURE BLUE, le système de résine boîte froide exempt de produits classés dangereux dans la partie 1 (au regard de la réglementation CLP), vous vous engagez clairement dans la protection de vos employés et de l'environnement. Le nouveau système de résine réduit les émissions de COV, de BTX, de phénol et de formaldéhyde dans les process de fonderie ainsi que la teneur de phénol dans le sable recyclé. En même temps, ce nouveau système égale en performance les systèmes actuellement sur le marché au regard de la réactivité, des caractéristiques mécanique set des résultats sur pièces.

Nos experts sont à votre disposition

Tel.: +33-2-32525027

E-Mail: info.france@ask-chemicals.com

www.ask-chemicals.com/beyondtomorrow

ASKCHEMICALS
We advance your casting

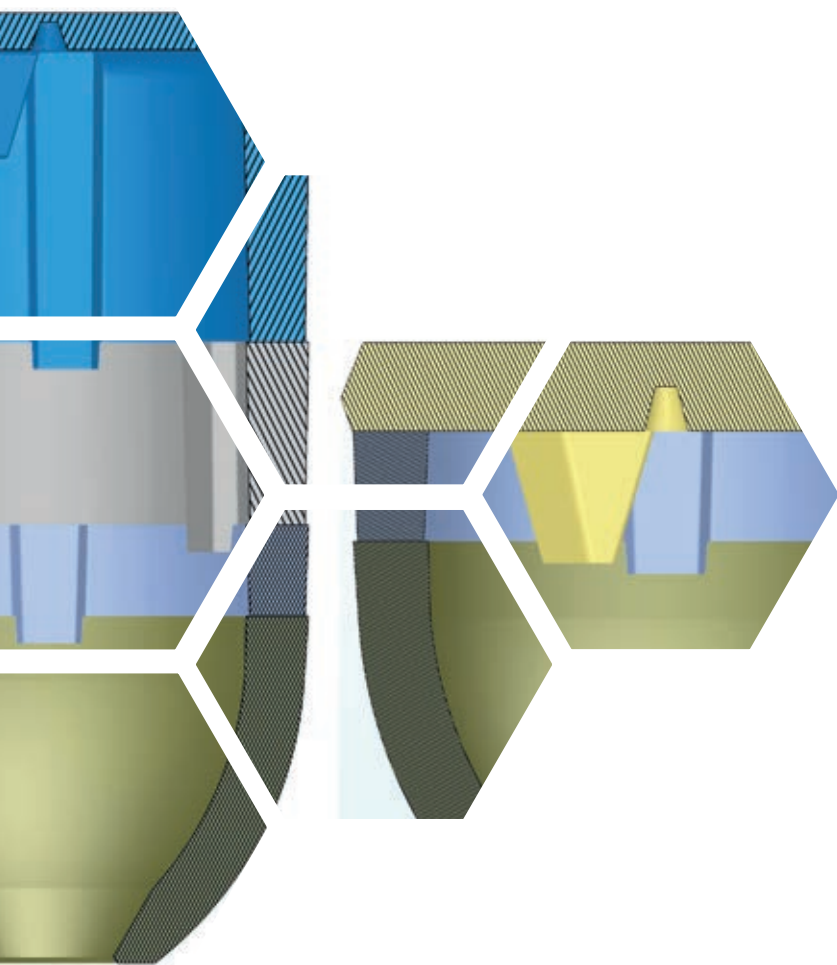


NOUVEAU

FEDEX K VAK

MASSELOTTAGE SPOT

- + Encombrement minimum et très faible surface de contact
- + Compactage optimal du sable sous la galette compressible
- + Volume intérieur du manchon invariable
- + Démasselottage facile
- + Ebarbage réduit au minimum
- + Amélioration de l'alimentation à travers le col



FEDEX SCK

SYSTÈME DE MASSELOTTAGE

- + Les composants peuvent être adaptés au module et au volume requis
- + Surface de contact avec la pièce la plus petite possible et la plus propre
- + Assemblage simple des composants individuels avec système d'emboîtement
- + Bon serrage du sable dans la zone du col du manchon
- + Présence d'un crève masselotte pour améliorer le fonctionnement du manchon
- + Volumes constants
- + Système interchangeable

www.foseco.fr
info.france@foseco.com

