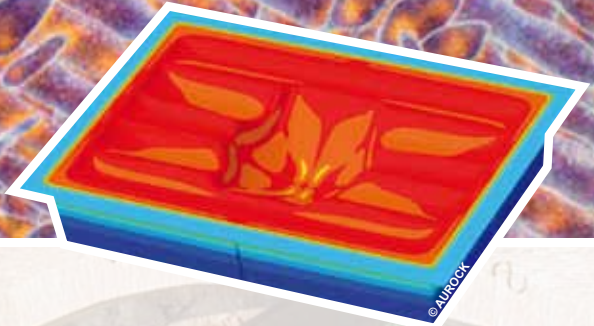
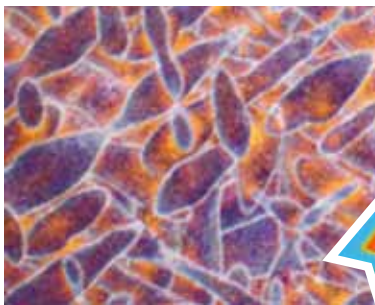
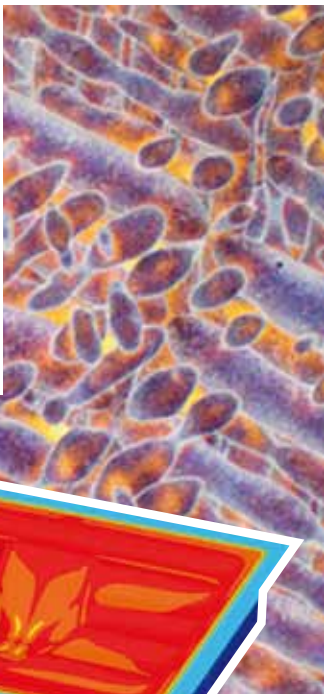
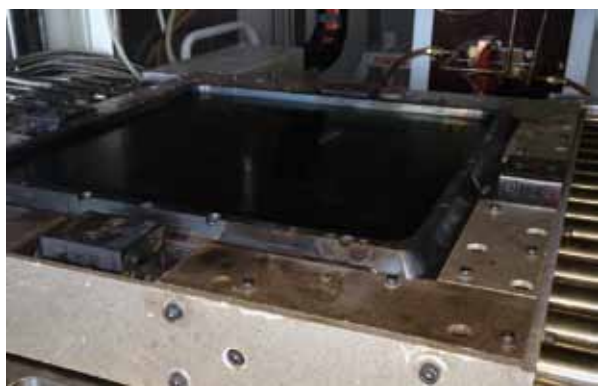


MOULES & OUTILS 2015

15 et 16 octobre - ALBI



A3TS

Association de Traitement Thermique
et de Traitement de Surface



Cercle d'Etudes des Métaux



MINES
Albi-Carmaux



Institut
Clément Ader

MOULES & OUTILS 2015

Quoi de neuf depuis 2011 ? Les aciers pour moules et outils sont des matériaux en pleine évolution grâce aux progrès réalisés dans les techniques d'élaboration, de refusion et de transformation à chaud, ainsi que dans les moyens d'usinage et de gravage. La métallurgie des poudres et les techniques de fusion par laser ont permis le développement de nouvelles techniques comme la fabrication additive. Le traitement thermique a également fortement évolué grâce à la simulation numérique en termes de prévision des risques d'avarie comme les tapures de trempe ou les variations dimensionnelles après trempe et revenu.

Des innovations ont également donné lieu dans le domaine des traitements de surface avec le développement de nouvelles textures superficielles, aussi bien sur le plan mécanique avec la nanostructuration que sur le plan physique avec le gravage laser. Les revêtements nanostructurés se sont fortement développés avec une augmentation substantielle de leur résistance à l'usure et à l'oxydation.

L'objet du colloque «Moules et Outils 2015» est de faire le point sur tous les thèmes cités précédemment, la métallurgie avec les nouvelles nuances ou concepts, le traitement thermique et le traitement de surface avec les principales innovations en termes de fonctionnalisation, de nouveaux revêtements ou traitements adaptés, la simulation numérique au niveau des sollicitations thermomécaniques, la conception des outillages avec un focus sur la fabrication additive et enfin l'endommagement des outillages dans les différents domaines d'utilisation.

Colloque organisé conjointement par l'A3TS, le Cercle d'Etudes des Métaux et Mines Albi-Carmaux sur le site de l'Ecole des Mines d'Albi-Carmaux.

PROGRAMME JEUDI 15 OCTOBRE

8h30 : Accueil des participants

9h00 : Ouverture par les organisateurs : Directeur ICA et Présidents A3TS / CEM

SESSION TRAITEMENTS THERMIQUES ET TRAITEMENTS DE SURFACE

9h30 : Nouveaux procédés par texturation de surface par voie mécanique : application aux moules de plasturgie. C. Morel (*WINOA*).

10h00 : Développement d'une nouvelle génération de traitement de surface des outillages SPF en béton renforcés de fibres métalliques.
O. Barrau, F. Nazaret (*AUROCK*).

10h30 : Les solutions cryogéniques dans l'usinage. M. Gauthier (*AIR LIQUIDE*).

11h00 : Bénéfices des nouveaux revêtements PVD, PVD Duplex et CVD pour la mise en forme des nouvelles tôles et dans les dernières technologies de mise en forme comme l'emboutissage à chaud. J.M. Debois (*ION BOND*).

11h30 : Des innovations BALINIT pour la protection des outils de frappe et d'injection. P. LLoan (*OERLIKON-BALZERS*).

12h00 : Déjeuner

SESSION SIMULATION NUMERIQUE DANS LES OUTILLAGES

13h30 : Moules et modélisation avant Traitement Thermique. B. Stauder (*BODYCOTE*).

14h00 : Prédiction de l'endommagement par fatigue thermique des outillages de

fonderie chez PSA Peugeot Citroën. J.P. Michalet, D. Toumbas (*PEUGEOT CITROEN AUTOMOBILE SA*).

14h30 : Modélisation numérique des outillages de forge - étude des dégradations.
K. Mocellin (*Centre de Mise en Forme des Matériaux / Center for Material Forming MINES ParisTech - CNRS UMR 7635*).

15h00 : Optimisation paramétrique multicritère des outillages d'une gamme de forgeage.

P. Lafon, C. Labergere (*LAMIS - Institut Charles Delaunay - UMR CNRS 6281 - Université de Technologie de Troyes*).

15h30 : Pause café - Posters

SESSION NOUVELLES NUANCES POUR MATERIAUX D'OUTILLAGE

16h00 : ISOTROP : Solution alternative aux aciers ESR pour les outillages de forge et de fonderie.

G. Baron (*INDUSTEEL Le Creusot*), A. Chaize (*INDUSTEEL CRMC, Le Creusot*).

16h30 : Boosting the performance of the moulds through right selection of mould materials and an optimized thermal management. A. Hammasaiid (*ROVALMA*).

17h00 : New alloying concepts for high speed steels.

A. Hackl, G. Kellezi, H. Leitner (*BÖHLER EDELSTAHL GMBH & CO*).

17h30 : Un nouvel acier pour l'injection sous pression d'alliages légers : la nuance ADC88. F. Cenac (*AUBERT & DUVAL*).

18h00 : L'IRT- M2P : Présentation du mode de fonctionnement et exemples de projets de recherche. P. Lamesle (*IRT-M2P - Metz*).

18h30 : Départ pour les hôtels.

19h00 : Visite du Musée Toulouse Lautrec.

20h00 : Dîner

PROGRAMME VENDREDI 16 OCTOBRE

SESSION CONCEPTION ET FABRICATION DES OUTILLAGES

8h00 : Réalisation des outillages avec le procédé d'usinage électrochimique de précision. S. Guerin (*CETIM*).

8h30 : Moules pour formage superplastique du titane : matériaux, propriétés et conception. G. Bernhart (*ICA - FRE CNRS 3687 - Mines Albi*).

9h00 : La Fabrication Additive au service de l'outillage (Forge, Fonderie, Injection).
Prof. Ph. Bertrand (*ENISE - LTD UNR 5513*).

9h30 : Amélioration des systèmes de refroidissement des moules par brasage sous vide. P. Foraison (*BODYCOTE*).

10h00 : Mechanical behaviour of Selective Laser Melting materials.

F. Rézaï-Aria, M. Salem, R. Lacoste, S. Le Roux (*ICA - FRE CNRS 3687 - Mines Albi*).

10h30 : Pause café - Posters

SESSION COMPORTEMENT ET ENDOMMAGEMENT DES OUTILLAGES

11h00 : Fatigue and Wear of dies and Tools.

J. Bergström (*Karlstad University, SE-651 88 Karlstad, Sweden*),

S. Heino (*Udeholms AB, SE-683 85 Hagfors, Sweden*).

11h30 : Nouvelle approche pour la prédiction de l'usure des outillages WC-Co en frappe à froid.

C. Debras, A. Dubois, M. Dubar, L. Dubar (*LAMIH - UMR CNRS 8201 - Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis*).

12h00 : Interdependence of the implementation cycle of tool steels on the surface properties and their performances in service.

A. Magnée, C. Vergne, C. Gaspard,

T. Adams (*University of Liege - Åkers A.B.*).

12h30 : The effect of surface quality and damaging mechanisms of tool steels for HPDC applications.

M. Rosso, I. Peter, F. Gobber, D. Ugues (*Institute of Materials Science and Engineering for Innovative Technologies POLITECNICO di Torino*).

13h00 : Déjeuner

14h00 : Table ronde

- Fabrication additive.
- Simulation numérique.

15h30 : Fin du colloque.

APPEL À POSTERS SCIENTIFIQUES

Outillages, une thématique récurrente... 15 et 16 octobre 2015 aux Mines Albi-Carmaux

Dans le cadre du 3ème colloque « Moules et Outils », le comité d'organisation invite les chercheurs de laboratoires universitaires et industriels à présenter leurs travaux sous forme de posters. Les résumés étendus seront publiés dans le recueil des communications de ce colloque. Les posters doivent être en lien avec l'un des thèmes de ces deux journées à savoir :

- TRAITEMENTS THERMIQUES ET TRAITEMENTS DE SURFACE
- SIMULATION NUMERIQUE DANS OUTILLAGES
- NOUVELLES NUANCES POUR MATERIAUX D'OUTILLAGE
- CONCEPTION ET FABRICATION DES OUTILLAGES
- COMPORTEMENT ET ENDOMMAGEMENT DES OUTILLAGES

Des pauses autour des posters sont prévues au cours de ces journées, ce qui vous permettra de communiquer vos travaux avec les personnes intéressées.

Pour participer à la session posters, nous vous prions de nous communiquer par retour de courriel AVANT le 02 OCTOBRE 2015 à l'attention de :

Mme C. Boher : boher@mines-albi.fr

ou Mr M. Salem : mehdi.salem@mines-albi.fr les informations ci-dessous :

- NOM et Prénom de chaque auteur
- Adresse du ou des laboratoire(s)
- Titre du poster avec un résumé étendu,

FORMAT : A0, l'impression du poster reste à votre charge.

INFORMATIONS GÉNÉRALES

FRAIS DE PARTICIPATION

(Incluant la remise des présentations des conférences, pauses-café, 2 déjeuners, 1 dîner).

Adhérents A3TS - CEM : **300€TTC**

Non adhérents : **390€TTC**

Retraités - Etudiants : **120€TTC**

Accompagnants au dîner du 15/10 : **45€TTC**

Les règlements seront libellés à l'ordre de l'A3TS.

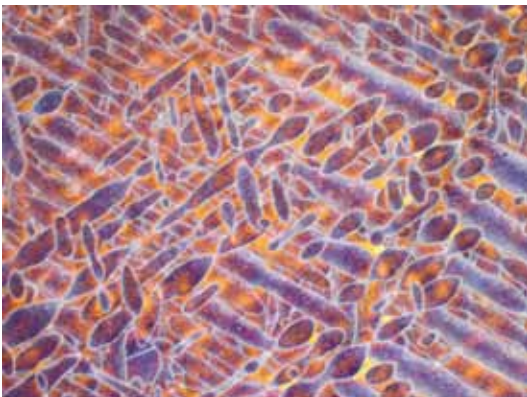
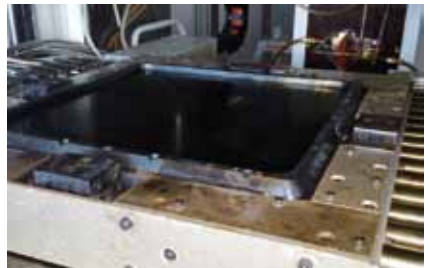
L'accueil et l'enregistrement des participants se feront le jeudi 15 octobre à partir de 8h30 à l'École des Mines d'Albi.

Un transfert gratuit par navette sera mis en place du Centre Ville à l'École des Mines.

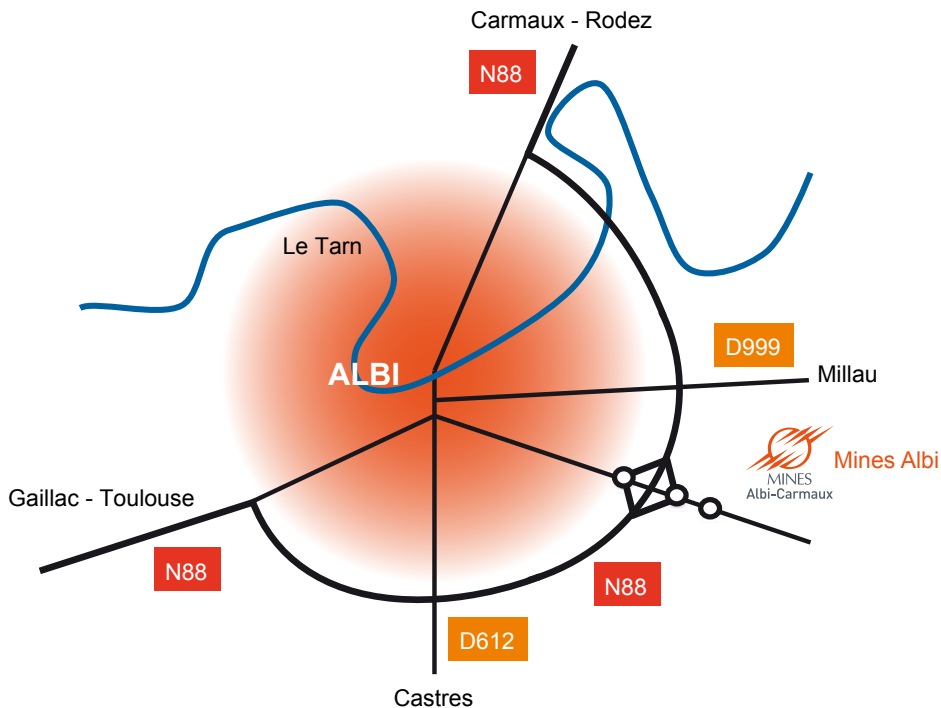
Un espace sera réservé pour la présentation de posters commerciaux et de posters scientifiques pendant les pauses.

Pour vos réservations hôtelières :

<http://www.albi-tourisme.fr/fr/sejourner/hebergements.html>



MINES Albi-Carmaux
Campus Jarlard
81013 Albi CT Cédex 09
Tél. : 05 63 49 30 00 - Fax : 05 63 49 30 99



Pour tous renseignements :

A3TS

Association de Traitement Thermique et de Traitement de Surface

71 rue La Fayette 75009 Paris

Tél. : 01 45 26 22 35 - 01 45 26 22 36 - Fax : 01 45 26 22 61

www.a3ts.org - Email : a3ts@a3ts.org

MOULES & OUTILS 2015

15 et 16 octobre - ALBI École des Mines d'Albi-Carmaux

Nom Prénom

Fonction Société

Adresse

Code postal Ville Pays

Tél Email

- Je m'inscris comme participant aux journées
- J'utiliserai le service de navettes entre le Centre Ville et l'École des Mines
- Je participerai au dîner du 15/10
- J'inscris 1 accompagnant au dîner (45€ TTC) :
- Je participerai à la visite du Musée Toulouse Lautrec
- Je souhaite réserver poster(s) commercial(aux)
- Je règle les frais correspondants par :
- chèque bancaire ou postal à l'ordre de l'A3TS
 - virement bancaire
IBAN : FR76 3005 6000 4000 4054 1676 192
BIC : CCFRFRPP
 - En ligne sur le site A3TS

Adhérents A3TS - CEM : 300€ TTC**Non adhérents : 390€ TTC****Retraités - Etudiants : 120€ TTC****Posters commerciaux : 300€ TTC**

Date et Signature :

Cachet de la société :

Bulletin à retourner avant le 06/10/2015 à :
A3TS - 71 Rue La Fayette - 75009 Paris

MOULES ET OUTILS 2015

Le colloque Moules et Outils 2015, organisé conjointement par l'A3TS, le CEM et Mines Albi-Carmaux a rassemblé les 15 et 16 octobre derniers 70 personnes dont 70% d'industriels. Ce colloque a été constitué par cinq sessions sur trois demi-journées (23 présentations) et deux tables rondes la dernière demi-journée. Les cinq sessions ont traité des sujets suivants :

- Traitements thermiques et traitements de surface
- Simulation numérique dans les outillages
- Nouvelles nuances pour matériaux d'outillage
- Conception et fabrication des outillages
- Comportement et endommagement des outillages

Les deux tables rondes ont abordé deux sujets particulièrement à l'ordre du jour, la fabrication additive et la simulation numérique dans les outillages.

Session 1 : Traitements thermiques et traitements de surface : Cette session a comporté cinq conférences :

- Nouveaux procédés de texturation de surface par voie mécanique, application aux moules de plasturgie (C. Morel, groupe Winoa)
- Développement d'une nouvelle génération de traitement de surface des outillages SPF en béton renforcés de fibres métalliques (O. Barrau, F. Nazaret, Aurock)
- Les solutions cryogéniques dans l'usinage (M. Gauthier, Air Liquide)
- Bénéfices des nouveaux revêtements PVD, PVD Duplex et CVD pour la mise en forme des nouvelles tôles et dans les dernières technologies de mise en forme comme l'emboutissage à chaud (J.M. Debois, Ion Bond)
- Innovations Balinit pour les outillages de frappe et d'injection (P. Lloan, H. Prestavoine, Oerlikon Balzers)

La **première conférence de C. Morel (groupe Winoa)** a montré l'intérêt d'une texturation de la surface du moule par grenailage pour réduire l'effort d'éjection pièce-moule. Le procédé présenté est un procédé breveté au Japon sous le nom de COP (Coverage Optimized Peening) qui consiste en une projection de grenailles d'acier de diamètre compris entre 50 et 150 μm de haute dureté (770/900 HV) par un double flux (transport et projection). Les mesures d'efforts d'éjection, réalisées au PEP sur une pièce axisymétrique, ont montré que des taux de recouvrement des surfaces des moules compris entre 5 et 10% étaient les plus intéressants pour la réduction des efforts.

La **deuxième conférence de O. Barrau (groupe Aurock)** a été relative aux revêtements sur outillages en béton composite renforcés par fibres métalliques utilisés pour le formage superplastique d'alliages de titane. Ces outillages, renforcés par un taux de fibres de 2 à 3%, ont une résistance à la compression à 1000°C comprise entre 75 et 150 MPa. Leur dégradation en température est liée à une oxydation des fibres métalliques et les solutions revêtement $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{AlSi}$ sur ces fibres par techniques plasma, aérosol ou enduction se sont avérées les plus intéressantes. Toutefois, une nouvelle génération de revêtement par imprégnation du béton lui-même (qui est poreux) avec cuisson postérieure à des températures supérieures ou égales à 535°C a apporté des résultats très prometteurs sur un béton renforcé par des fibres en FeCrAlY et un revêtement à base de Cr_2O_3 .

La **troisième conférence de M. Gauthier (Air Liquide)** a montré l'intérêt de l'injection d'azote liquide à l'interface outil copeau pour l'usinage de matériaux réputés difficiles comme les alliages base titane ou base nickel. Il a été constaté des améliorations de 50% sur la durée de vie des outils et une augmentation de 20% de la vitesse de coupe, aussi bien en tournage qu'en fraisage, avec des outils en carbure WC-Co. Il y a fragmentation des copeaux, pas d'influence thermique sur l'outil et on ne note aucun microégrènement de l'arête de coupe. L'intérêt économique du procédé a été clairement démontré.

La **quatrième conférence de J.M. Debois (Ion Bond)** a été relative à la nécessaire évolution des revêtements sur outils de travail des métaux en acier THLE ou UHLE qui nécessitent deux fois plus d'énergie pour le découpage et l'emboutissage à la température ambiante, ou qui nécessitent une mise en forme à chaud. La dégradation des revêtements dans de telles conditions se fait par délamination, transfert, microécaillage et fatigue. Un nouveau revêtement, IonbondTM90, multicouches par technique PVD duplex avec différentes tailles de grains successives pour résister à la propagation des fissures a été mis au point pour le découpage et l'emboutissage à la température ambiante. Pour l'emboutissage à chaud, c'est le revêtement IonbondTM25 à base de chrome et d'aluminium sur acier X40CrMoV7 traité pour un niveau de dureté de 52/54 HRC qui a donné les meilleurs résultats. Pour la mise en forme et la découpe d'aluminium, il est préconisé l'IonbondTM41.

La **cinquième conférence de P. Lloan et H. Prestavoine (Oerlikon Balzers)** a été relative aux solutions préconisées par le groupe Balzers Oerlikon pour les outils de travail des métaux en feuilles et d'injection. Dans le cas du travail des métaux en feuilles, les meilleurs résultats ont été obtenus avec AlCrN sur acier rapide pour le découpage fin, TiAlN avec renforcement du substrat pour l'emboutissage classique, AlCrN duplex pour l'emboutissage à chaud. Pour la mise en oeuvre du plastique, les meilleurs résultats ont été obtenus avec le multicouche Cr/CrN oxydé en surface pour l'extrusion de profilés et a-C:H:Si pour l'injection.

Session 2 : Simulation numérique dans les outillages : Cette session a comporté trois conférences :

- Apport de la simulation numérique pour l'optimisation des conditions de traitement thermique et impact sur le design des outillages (B. Stauder, Bodycote)
- La suite logicielle d'ESI pour la mise en forme métallique : une nouvelle approche de la simulation pour la conception d'outillage avec Visual Die Starter (J. Luquet, ESI)
- Optimisation des procédés de mise en forme par forgeage (P. Lafon, C. Labergere (LAMIS, Université de Troyes)

La **première conférence de B. Stauder (Bodycote)** a montré au travers de quelques exemples l'apport de la simulation numérique au design des outils pour la recherche de l'obtention d'une structure martensitique connue pour avoir les caractéristiques mécaniques optimales après revenu. Un modèle a été mis au point avec le logiciel COMSOL® pour optimiser la gamme de traitement thermique et la disposition de la charge dans les fours et une comparaison a été faite avec des moules instrumentés. Ce modèle permet de calculer et donc d'anticiper les déformations critiques et les champs de contraintes maximales avec risques de tapures en liaison avec la géométrie des outils et notamment les rayons de raccordement.

La **deuxième conférence de J. Luquet (ESI)** a montré une aide à la conception d'outillages avec trois exemples de réalisation : la faisabilité d'un process d'emboutissage, la conception

de canaux de refroidissement d'outils d'emboutissage à chaud et l'optimisation de grappes de moules d'aubes de turbines avec SNECMA. La suite logicielle STARTER en guidant l'utilisateur dans la conception des outils d'emboutissage permet de réduire de manière importante le temps de préparation des modèles de calcul. L'outil de simulation PAM-STAMP de mise en œuvre très rapide permet de visualiser la faisabilité du processus d'emboutissage de pièces de formes complexes avec deux exemples concrets tels que des doublures de capots et des panneaux de planchers. Le couplage de ce logiciel avec celui d'étude thermomécanique SYSWELD permet d'optimiser la conception de canaux de refroidissement d'outils d'emboutissage à chaud pour éviter les zones excessivement chaudes dans les outillages et contrôler le refroidissement de la tôle afin de prévoir la transformation de phase austénite martensite dans le cas d'un acier autotrempeant. La conception de grappes de moules d'aubes de turbine en fonderie à la cire perdue a été optimisée par l'association du logiciel de CAO CATIAV5® et du logiciel Pro CAST® dans le cadre d'une étude menée avec SNECMA.

La troisième conférence de P. Lafon (LAMIS, Université de Troyes) a montré une démarche d'optimisation des outils de mise en forme par forgeage en deux temps, une phase expérimentale avec mesure des énergies de déformation, des efforts maximaux de mise en forme et évaluation des endommagements, pour caler dans un deuxième temps un modèle de simulation numérique du procédé avec prise en compte de l'endommagement ductile. Cette méthodologie a été appliquée à la mise en œuvre du forgeage à chaud d'un manchon axisymétrique et du forgeage « net-shape » de pignons avec des outils préchauffés à 200°C.

Session 3 : Nouvelles nuances pour matériaux d'outillage : Cette session a comporté cinq conférences :

- ISOTROP, solution alternative aux aciers ESR pour les outillages de forge et de fonderie (G. Baron, Industeel, A. Chaize, Industeel CRMC)
- Améliorer la performance des moules grâce à une bonne sélection d'aciers à outils et une gestion thermique optimisée (A. Hamasaïd, Rovalma)
- New alloying concepts for high speed steels (A. Hackl, G. Kellezi, H. Leitner, Böhler Edelstahl)
- Un nouvel acier d'outillage pour la fabrication de moules pour l'injection sous pression d'alliages légers (F. Cenac, Aubert & Duval)
- L'IRT-M2P, présentation du mode de fonctionnement et exemples de projets de recherche (P. Lamesle, IRT-M2P)

La première conférence de A. Chaize (Industeel CRMC) a montré que par abaissement de la teneur en silicium de l'acier AISI H11 au niveau de 0,3%, une élaboration soignée et une technique conjointe de forgeage et de laminage de tôles fortes, il était possible d'obtenir un état de propreté inclusionnaire et une macrostructure voisins de ceux d'un acier refondu sous laitier, avec une réduction de coût. Cet acier est dénommé ISOTROP.

La deuxième conférence de A. Hamasaïd (Rovalma) a montré qu'il est possible de modifier sensiblement les transitoires thermiques lors d'opérations de fonderie, d'emboutissage à chaud ou d'injection de matières plastiques. Cette modification est apportée par la réalisation de canaux de refroidissement sur des outillages de dureté comprise entre 42 et 57 HRC selon le type d'application. Il en résulte l'obtention de niveaux de conductivité thermique voisins de 60 W/m,°K. Pour la coulée d'alliages Al-Si-Cu, la productivité est augmentée de 20%, la réduction du cycle est de 18% avec un rebut diminué de 15%. Il est possible de réaliser en

plasturgie des pièces plus grandes et de géométrie complexe. En emboutissage à chaud, la température du moule est fortement abaissée.

La **troisième conférence de A. Hackl (Böhler Edelstahl)** a montré une approche plus métallurgique dans le cas de l'acier AISI M2. Une addition de 0,5%Al entraîne une augmentation de la quantité de carbures, d'où la possibilité de réduire la teneur en tungstène et en molybdène à 4% avec le même niveau de réponse au traitement de trempe et revenu. Les essais d'usinage menés sur cette nuance ont donné des résultats identiques à ceux obtenus avec l'acier AISI M2. L'addition d'aluminium entraîne une amélioration de l'aptitude à la nitruration, avec une réduction globale du coût.

La **quatrième conférence de F. Cenac (Aubert & Duval)** présente une autre démarche métallurgique appliquée à l'acier AISI H11 pour l'application injection sous pression d'alliages d'aluminium : le développement d'une nuance à 2%Mo avec bas résiduels qui constitue un bon compromis entre résistance à l'usure, tenue à la fatigue mécanique et thermique. Cette nuance est l'ADC88, elle a une résistance à l'adoucissement comparable à celle de l'acier X37CrMoV5-3.

La **cinquième conférence de P. Lamesle (IRT-M2P)** a été relative à la présentation de l'IRT-M2P (Matériaux Métalliques Procédés), centre de recherches mutualisé pour produire dans des conditions pratiquement industrielles. L'institut comprend 45 personnes dont le tiers de doctorants et 15 personnes mises à la disposition des industriels pour des essais de développement process. Une plateforme avec l'ENSAM et le CETIM a été mise en place.

Session 4 : Conception et fabrication des outillages : Cette session a comporté cinq conférences :

- Réalisation des outillages avec le procédé d'usinage électrochimique de précision (S. Guerin, CETIM)
- Moules pour formage superplastique du titane : matériaux, propriétés et conception (G. Bernhart, V. Velay, T. Cutard ICA Mines d'Albi)
- La fabrication additive au service de l'outillage (Forge, Fonderie, Injection) (Ph. Bertrand, ENISE)
- Amélioration des systèmes de refroidissement des moules par brasage sous vide (P. Foraison, M. Saez, Bodycote)
- Mechanical behaviour of Selective Laser Melting materials (F. Rezaï-Aria, M. Salem, R. Lacoste, S. Le Roux, ICA Mines d'Albi)

La **première conférence de S. Guerin (CETIM)** a présenté le procédé PECM (usinage électrochimique de précision) caractérisé par deux innovations, l'électrode en vibration et l'utilisation de courants pulsés. L'électrolyte (eau + sel) est injecté entre pièce et contre électrode sous 5/15 V et 25/100 A/cm². Un équipement a été investi au CETIM (PEM 600) avec des résultats intéressants : amélioration de l'état de surface des pièces usinées (Ra 0,23 µm), et du temps d'usinage par rapport à l'électroérosion. Ce procédé est une alternative entre l'UGV et l'EDM (électroérosion) pour des outillages de dimensions limitées par le générateur de courants pulsés (carré de 120 mm de côté pour PEM 600). Ce procédé entraîne une amélioration de la durée de vie des outillages de travail à froid (moins de microégrènement des parties actives).

La **deuxième conférence de G. Bernhart (ICA Mines Albi)** a présenté deux types de moules pour le formage superplastique des alliages de titane : des alliages base nickel obtenus par fonderie avec diminution des cycles de chauffage et de refroidissement par création de cavités dont de design a été mis au point par simulation numérique, et des bétons renforcés par fibres métalliques coulés sous vibration et soumis ultérieurement à une cuisson à 900°C. Il y a donc deux familles de matériaux, l'une relativement longue à mettre en œuvre (base Ni), l'autre relativement rapide (bétons), mais dont la durée de vie reste à pérenniser.

La **troisième conférence de P. Bertrand (ENISE)** a présenté au travers d'exemples concrets le développement de la fabrication additive pour la réalisation d'outillages devant répondre à un cahier des charges précis susceptible d'intégrer un process donné et ses conséquences sur les caractéristiques de multifonctionnalité. Les projets présentés ont été Itechmould pour les moules d'injection plastique avec réalisation des noyaux et des canaux de refroidissement par fabrication additive, Moulinnov pour la réalisation directe d'outils devant résister à des sollicitations mécaniques et thermiques, Roof pour la fabrication additive d'outillages de forge.

La **quatrième conférence de P. Foraison et M. Saez (Bodycote)** a présenté l'apport du brasage fort sous vide pour concevoir des empreintes de moules ou noyaux en plusieurs parties au plus près des zones sensibles avec des liaisons homogènes ou hétérogènes (fer-cuivre) réalisées entre 900 et 1200°C avec des alliages Ni-B. Ce concept, démarré en Hollande pour la réalisation des empreintes destinées aux CDRom, s'est fortement développé par concertation entre le réalisateur et l'utilisateur des moules, de façon à associer brasage et traitement thermique ultérieur. L'outil réalisé par ce procédé subit les tests classiques d'étanchéité, de contrôle US, de dureté, d'examen métallurgiques et de résistance mécanique. Il permet l'utilisation d'un bloc thermo-régulé, dont les propriétés de résistance à l'usure peuvent être améliorées par un revêtement.

La **cinquième conférence de F. Rezai-Aria (ICA Mines Albi)** a présenté le concept fabrication additive dans sa partie réalisation d'éprouvettes en vue de caractériser les différentes propriétés mécaniques des pièces obtenues en fonction de la nature des matériaux et de l'orientation par rapport au sens d'empilement des différentes couches. Il apparaît que les structures hexagonales comme les alliages de titane possèdent une assez forte anisotropie en traction, fatigue oligocyclique et vitesse de propagation de fissures. Cet effet d'anisotropie ne semble pas apparaître dans les pièces de structure cubique faces centrées réalisées par ce procédé.

Session 5 : Comportement et endommagement des outillages : Cette session a comporté quatre conférences :

- Fatigue and wear of dies and tools (J. Bergström, Karlstad University, S. Heino, Udeholms AB)
- Nouvelle approche pour la prédiction de l'usure des outillages WC-Co en frappe à froid (C. Debras, A. Dubois, M. Dubar, L. Dubar, LAMIH, Université de Valenciennes)
- ROOF, revêtements optimisés pour outillages de matriçage (F. Touratier, Aubert et Duval)
- Nouvelle approche pour la prédiction de l'usure des outillages WC-Co en frappe à froid PDC applications (M. Rosso, I. Peter, F. Gobber, D. Ugues, Institut Polytechnique de Turin)

La **première conférence de J. Bergström (Karlstad University)** a présenté un essai susceptible d'intégrer les différents modes de dégradation des outillages de travail à froid, à savoir l'usure et la fissuration par fatigue, la déformation plastique et l'égrènement. Il s'agit d'un essai de tribométrie disque sur plan à sec avec des charges comprises entre 10 et 1000 N et une vitesse de déplacement de 0,1 m/sec. L'une des pièces antagonistes est un acier rapide PM de dureté 62 HRC et l'autre représente le métal mis en œuvre. La représentation de l'évolution du coefficient de frottement en fonction de la distance de frottement et de la charge, complétée par les examens métallographiques de la surface de l'outil après essai, permettent de discriminer la part usure et la part fissuration dans les mécanismes de dégradation, sans avoir à réaliser deux types différents d'essais qui ne simulent pas le processus de dégradation dans son intégralité.

La **deuxième conférence de C. Debras (LAMIH, Université de Valenciennes)** a présenté l'étude de l'initiation des endommagements de matrices de frappe à froid en métal dur WC-Co. Pour cela, une première partie expérimentale a été réalisée sur des outillages à différents degrés de dégradation. L'évolution des caractéristiques tribologiques, morphologiques et mécaniques a été conduite sur ces différents états de dégradation avec des essais de frottement mis en œuvre sur l'Upsetting Sliding Test. Des observations au MEB, des mesures de dureté Vickers sous charge variable ont permis d'apprécier l'évolution de la ténacité du matériau. La simulation numérique du process de frappe a permis d'évaluer le niveau de sollicitation mécanique afin de cadrer les niveaux de contraintes dans les essais de simulation. Il en résulte que l'endommagement des outils est lié à la fragilisation et à la décohésion des grains de carbures à la surface de contact. Une approche par l'énergie de rupture a été proposée.

La **troisième conférence de F. Touratier (Aubert & Duval)** a montré les résultats d'une étude concertée sur le projet ROOF relatif aux revêtements optimisés pour matrices de forge. Trois types de procédés de rechargement de l'alliage base cobalt Stellite 21 ont été pris en compte, le procédé MIG, le plasma (PTA) et le laser. L'étude du comportement de ces revêtements par essai de tribométrie à 450°C sur un antagoniste en Inconel 718 représentant la pièce forgée a montré qu'en fonction de la distance de glissement, le coefficient de frottement baissait significativement pour les revêtements obtenus par PTA et laser, alors qu'il était constant pour le rechargement MIG. Cette différence de comportement est la conséquence d'une moindre dilution dans les deux derniers procédés de rechargement. En effet, le fer est un stabilisant de la structure CFC du cobalt et il n'y a pas dans ce cas de transformation CFC → HC, alors que cette transformation a été mise en évidence dans les rechargements laser et PTA, car la dilution en fer est nettement moindre.

La **quatrième conférence de M. Rosso (Institut Polytechnique de Turin)** a montré l'influence de l'état de surface des moules sur leur dégradation par fatigue thermique au contact d'aluminium liquide. Cette dégradation commence par une attaque préférentielle des zones à gradient de concentration en éléments d'alliage sur la surface du moule. Des essais d'immersion dans un alliage Al-Si fondu à 680°C et nettoyage du moule dans une eau additivée par un lubrifiant siliconé, conduits jusqu'à 2500 cycles, ont montré qu'il y avait peu de dommage pour une rugosité Ra de 2 µm, alors qu'il y avait de fortes piqûres de corrosion dès 1500 cycles pour une rugosité Ra de 0,2 µm. Un revêtement AlCrN /AlTiN multicouches d'épaisseur 10 µm, respectivement sablé et poli, se comporte différemment après 2500 cycles d'immersion émergence dans Al-Si. Après sablage, il y a oxydation du revêtement, fissuration et décohésion. Après polissage, il y a seulement quelques traces d'oxydation et de fissuration des oxydes.

Compte rendu des deux tables rondes sur la fabrication additive et la simulation numérique dans les outillages

1 - Atelier sur la Fabrication Additive : Les besoins industriels concernent le médical, l'aéronautique, les moules d'injection, le luxe et la mode. Cinq thèmes ont été abordés lors de la discussion, il s'agit des procédés, du design additif, des matériaux et des microstructures, ainsi que des propriétés mécaniques, des traitements thermiques et traitements de surface, et de l'aspect économique.

En ce qui concerne les procédés, ont été abordés les problèmes d'approvisionnement et de caractérisation des poudres, de l'optimisation de la forme de ces dernières à l'élaboration directe par SLM (selective laser melting), de leur recyclabilité, de l'apport de la simulation numérique au process et des problèmes d'hétérogénéité de contraintes résiduelles

En ce qui concerne les problèmes de conception, ont été évoquées la nécessité d'adaptation du « design additif » aux caractéristiques spécifiques de ce procédé, ainsi que ses limites et son intégration dans une chaîne de fabrication complète, avec pré et post processus.

En ce qui concerne les microstructures et les propriétés mécaniques qui en résultent, ont été abordés les problèmes de stratification anisotrope, de ségrégations, de différences fondamentales avec les structures obtenues en fonderie et de capacité d'amélioration des caractéristiques mécaniques par post traitement.

En ce qui concerne les traitements thermiques et de surface, ont été abordés les problèmes d'adaptation des gammes aux pièces réalisées par fabrication additive et d'amélioration des états de surface par post traitement.

Les problèmes de coût élevé du procédé ont été évoqués avec les équipements, les périphériques, la durée de réalisation des pièces et les domaines de compétence du personnel en CAO, mécanique et métallurgie.

2 – Atelier sur la simulation numérique dans les outillages : Quatre thèmes ont été abordés au cours de la discussion : l'approche multi-échelle, le couplage multi-physique, la conception des outillages les performances et techniques de calcul. Les principales conclusions apportées sont les suivantes :

Les approches multi-échelle permettent une description plus précise du comportement mais pour des raisons de capacité de calcul (très grand nombre de degrés de liberté), elles restent limitées à de petits volumes de matière et ne peuvent encore être envisagées à l'échelle d'un outillage.

Peu de logiciels commerciaux ont la capacité de traiter des problèmes aussi complexes comme par exemple le couplage métallurgie-mécanique des matériaux-thermique-mécanique des fluides pour l'emboutissage à chaud. Quelques propositions de développement ont été faites par ESI France.

Pour la conception des outillages, une stratégie de contre-déformation des outillages métalliques semble envisageable. Cette approche itérative devrait permettre une réduction

notable des distorsions. ESI propose un outil informatique prédictif et automatique qui permette de gérer cet aspect.

Les modèles numériques à très grand nombre de degrés de liberté sont de plus en plus fréquents, notamment avec l'approche sans maillage qui utilise la méthode des éléments discrets (DEM). Pour réduire les temps de calcul, il est de plus en plus souvent fait appel à des approches s'appuyant sur des processeurs graphiques ou sur des parallélisations avec des réseaux de machines. Il est également possible de coupler des méthodes de calcul, comme FEM-DEM cité pour la modélisation du grenailage avec Abaqus®