

**ALMA**

Alliages métalliques par/pour  
la fabrication additive

CNRS GDR 2089

# Bilan des Journées GT1 et GT2

8-9 Octobre 2020

## Jeudi 8 Février 2020 : Présentations des activités des laboratoires

9 h 30 - Présentation du GDR ALMA (E. Hug, CRISMAT)

### Présentations autour du GT1

9 h 45 - Activités de l'I2M - Bordeaux (E. Le Guen et R. Kromer).

10 h 10 – Activités du LMGC – Montpellier (S. Rouquette)

10 h 35 – Activités du LaMCoS – Villeurbanne (N. Tardif)

*11 h - Pause*

11 h 15 – Activités du PIMM - Paris (P. Peyre)

11 h 40 – Activités de l'IRDL – Lorient (M. Carin et M. Courtois)

12 h 05 – Activités du CEMEF – Sofia Antipolis (CA Gandin, G. Guillemot ou M. Bellet)

*12 h 30 – 13 h 45 : Pause déjeuner*

13 h 45 : Activités du GeM – Nantes (M. Rauch, B. Courant)

14 h 10 : Activités du SIMAP – Grenoble (G. Martin et R. Dendievel)

### Présentations autour du GT2

14 h 35 : Activités de l'Ecole des Mines de St Etienne (C. Desrayaud)

15 h 00 : Activités de l'ONERA- Palaiseau (M. Thomas)

15 h 25 : Activités du CRISMAT – Caen (E. Hug)

15 h 50 : Activités du laboratoire Roberval – Compiègne (J. Marteau, S. Bouvier)

16 h 15 : Activités du CIRIMAT – Toulouse (E. Andrieu)

16 h 40 : Activités de MATEIS – Lyon (X. Boulnat, E. Maire)

*17 h 15 : Fin de la 1<sup>ère</sup> journée*

Entre 38 et 47 participants

# ALMA

Alliages métalliques par/pour  
la fabrication additive

CNRS GDR 2089

## Vendredi 9 Octobre 2020 : discussion – tour de table

9 h - 9 h 15 – Accueil

9 h 30 – Bilan des thèmes possibles (animateurs des GT) + Table ronde autour des futures collaborations - projets

11 h 30 - Fin de la réunion

Entre 21 et 31 participants

## Identification de thèmes Clés (GT1 et GT2)

(issus des présentations du 1<sup>er</sup> jour)

Bancs instrumentés – Expérience vs Simulation (GT1)

Nouveaux développements procédés-Hybridation (GT1)

Optimisation paramétrique (GT1)

Design d'alliages pour la FA – Alliages modifiés (GT2)

Matériaux à gradients (GT2)

Contraintes – déformations résiduelles

## Bancs instrumentés – Expérience vs Simulation (GT1)

- Représentativité des bancs d'essais vs Machines ?
- Bancs utilisables sur grands instruments (« répliqueurs »)
- Besoin d'expériences modèles pour valider la simulation (1 type d'expérience par procédé ?)
- Mesures de champs: diagnostics manquants ?
- Besoin de mesures thermiques fiables (échelle méso : ZF)
- Besoin de mesures thermo-mécaniques (contraintes déformations) sur pièces représentatives
- Apport de la simulation: aider les expérimentateurs à comprendre la physique associée

*Il serait important de définir des thématiques pour lesquelles la simulation numérique peut a priori apporter des éléments de réponse en orientant les choix expérimentaux, et non pas systématiquement l'inverse (validation de l'expérience) (M. Courtois)*

*=> Exemples : Optimisation numérique de la distribution spatiale d'éclairement laser et de son effet sur le procédé DED ou SLM), design numérique de buses DED*

*Problématique du passage mono-cordon => pièces 3D dans les phases d'optimisation (L'échelle du monocordon ou de quelques cordons-couches est elle suffisante ?)*

*CA. Gandin: Intérêt de travailler sur les réductions de modèles pour le passage cordon-pièce => Plutôt en GTT (Simulation numérique)*

*Important de dégager des thèmes qui ne sont pas trop « machines-dépendants » (R. Dendievel)*

## Nouveaux développements procédés-Hybridation (GT1)

- Amélioration – Adaptation des procédés =  $f(\text{matériau})$  : lasers de couleur, cw/ pulsé, distribution spatiale de puissance
- Rôle de l'atmosphère gazeuse, du vide
- Effets de champs électriques-magnétiques
- Monitoring – contrôle de procédé (tous procédés FA)
- Chauffage pré-DED ou pré-SLM (induction, laser ...)
- Fab Additive + post-traitements intégrés (Laser fs, Choc-laser, enlèvement de matière)
- Nouvelles trajectographies

+ Choix des matériaux les + adaptés pour tester ces améliorations

*Diagnostics optimum ?*

## Optimisation paramétrique (GT1)

- Sur quels critères ?
- Comment procéder sur de nouveaux alliages ?
- Apport de l'intelligence artificielle, apprentissage statistique
- Basée sur des modèles analytiques, physiques, phénoménologiques
- Difficulté de passage du mono-cordon à la pièce 3D
- Échanges (type benchmark) sur les optimisations paramétriques ?
- Spécificité des matériaux architecturés (adaptation des paramètres) ...
- Apport de la simulation (plans d'expérience numériques)

*P. Paillard, S. Rouquette (WAAM) : On procède beaucoup par des plans d'expérience avec une approche essai-erreur*

*Intérêt d'utiliser les bancs expérimentaux pour faciliter l'étude paramétrique (E. Lacoste)*

*Possibilité de procéder par une approche indirecte ? (estimation de la santé matière à partir d'un observable comme l'état de surface ...)*

## Design d'alliages pour la FA – Alliages modifiés (GT2)

- Qu'est ce qu'un bon alliage pour la fabrication additive (critères) ?
  - Couplage avec la source d'énergie (absorptivité ...)
  - Capacité d'élaboration
  - Connaissance des propriétés thermo-physiques des métaux liquides / instabilités
  - Propriétés thermodynamiques / transformations de phase
  - Sensibilité aux défauts métallurgiques (fissuration, porosités)
  - Recyclabilité

⇒ *Travail sur alliages modèles (binaires, corps pur ...) – limitent les problèmes de Propriété Intellectuelle (PI)*

*Le choix du matériau dépend des objectifs visés (étudier la microstructure de solidification, la stabilité du procédé, l'interaction énergie-matière, les contraintes résiduelles ...)*

*Pour travailler sur la microstructure de solidification : + d'intérêt de travailler sur binaires que sur corps pur (CA. Gandin)*

*Exemple : Augmentation progressive du taux de Cr dans des alliages Ni-Cr pour étudier l'énergie de faute d'empilement (E. Hug)*

*Intérêt d'une base de données partagée (paramétrie procédé & propriétés matériaux) (A. Ospina)*

*Intérêt de travailler sur la thermodynamique et les cinétiques de transformation rapide (E. Epifano, J. Favre)*

⇒ Journée thématique Design d'alliages pour la FA ?



## Matériaux à gradients (GT2)

- Quels critères pour les matériaux initiaux ?
  - Critères rhéologiques, capacité d'écoulement-de mélange des poudres
  - Différences de propriétés thermo-physiques (conductivité thermique, tension de surface)
  - Homogénéité – Stabilité des mélanges liquide/liquide
  - Compatibilité métallurgique
  - Coefficient de dilatation ...

⇒ *Intérêt réel d'un travail sur la macro-ségrégation à l'échelle de la pièce en FA (CA. Gandin)*

⇒ *Intérêt d'un travail sur les matériaux à gradients de porosités (S. Bouvier)*

- Complexité de mise en oeuvre

Gestion des mélanges de poudre, de leur recyclage

Adaptation des dépôts sources d'énergie

## Contraintes – déformations résiduelles

- Expériences – pièces modèles
- Effet de la stratégie de fabrication
- Pièces à très grand rapport d'aspect
- Validation de modèles numériques
- Besoin de mesures thermo-mécaniques (contraintes déformations) sur pièces représentatives

*S. Rouquette (WAAM) : Fort intérêt pour les méthodes de mesure (sur grands instruments: diffraction des X ou des neutrons, méthode du contour ...)*

*Intérêt pour le détensionnement des pièces fabriquées par laser (en phase solide)*

## Comment interagir ?

- Journées thématiques
- Problèmes de PI => Comment dégager des thèmes scientifiques clés sur lesquels partager ?  
(thèmes traités très en phase avec demandes industrielles)
- Possibilité de dépôts de pré-projets ANR autour des GT1 et GT2 (Deadline = 1<sup>er</sup> Dec 2020) ?

*E. Hug (Dir. GDR)*

*Peut-être souhaitable dans un premier temps de passer par des projets + simples à mettre en œuvre que des ANR (Stages, projets Région, projets inter-Labex, échanges d'étudiants)*

*Possibilité d'acheter un peu de consommable et/ou de financer des déplacements d'étudiants par le GDR*

*La journée GDR de février doit servir à préciser le cadre et la méthode de travail autour des thématiques identifiées.*