

DE LA SIMULATION DU SOUDAGE À LA SIMULATION DE LA FABRICATION ADDITIVE : CONTEXTE ET ENJEUX CHEZ ARIANEGROUP

Journée Simulation Numérique du Soudage / Commission Formage Virtuel
Association Française de Mécanique 26 juin 2018

Loïc Debeugny
Cluster Propulsion Liquide
ArianeGroup Vernon

JOLE2-363/2018

01 ARIANEGROUP & ARIANE 6

02 ALM @ ARIANEGROUP

03 INTÉGRATION DE L'ALM EN PROPULSION

04 L'HÉRITAGE DE LA SIMULATION NUMÉRIQUE DU SOUDAGE

05 SIMULATION THERMOMÉCANIQUE DE L'ALM

06 SIMULATION MÉCANIQUE DE L'ALM

07 CONCLUSIONS



01

ARIANEGROUP & ARIANE 6

LEADER MONDIAL DE L'ACCÈS À L'ESPACE

9 000

COLLABORATEURS
EN FRANCE
& EN ALLEMAGNE

11

FILIALES
& PARTICIPATIONS
MAJEURES

50/50

CO-ENTREPRISE
D'AIRBUS
& DE SAFRAN

3 MDS€

DE CHIFFRE
D'AFFAIRES
PROFORMA ESTIMÉ



LANCEMENT SPATIAL

- ▶ Ariane 5
Ariane 6
Services de lancement



DÉFENSE

- ▶ Programme M51



ÉQUIPEMENTS & SERVICES

- ▶ Pour les satellites,
les engins spatiaux
Pour les lanceurs
Pour la défense, la sécurité,
les infrastructures critiques
et l'industrie

ARIANE 6

INNOVATION & FIABILITÉ

Une flexibilité inédite

- Un lanceur, 2 versions : Ariane 62 et 64
- Deux types de coiffes et de nombreuses configurations
- Pour lancer tous types de satellites vers toutes les orbites

Une efficacité industrielle maximum

- Des coûts de production réduits pour une meilleure compétitivité

13
PAYS
EUROPÉENS
IMPLIQUÉS

 Allemagne	 Norvège
 Autriche	 Pays-Bas
 Belgique	 Rep. Tchèque
 Espagne	 Roumanie
 France	 Suède
 Irlande	 Suisse
 Italie	

2 ou 4
BOOSTERS

PREMIER VOL
2020

JUSQU'À
12 t
DE CHARGE UTILE
EN ORBITE
DE TRANSFERT
GÉOSTATIONNAIRE
(GTO)

JUSQU'À
12
LANCEMENTS
PAR AN



02

ALM @ ARIANEGROUP

ALM – RÉSEAU ARIANEGROUP



Les Mureaux



**Structures Lanceur
& Satellite**



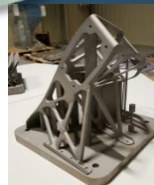
Vernon



**Composant moteur, injecteur,
Echangeur thermique APU**




Bremen



Structures lanceur

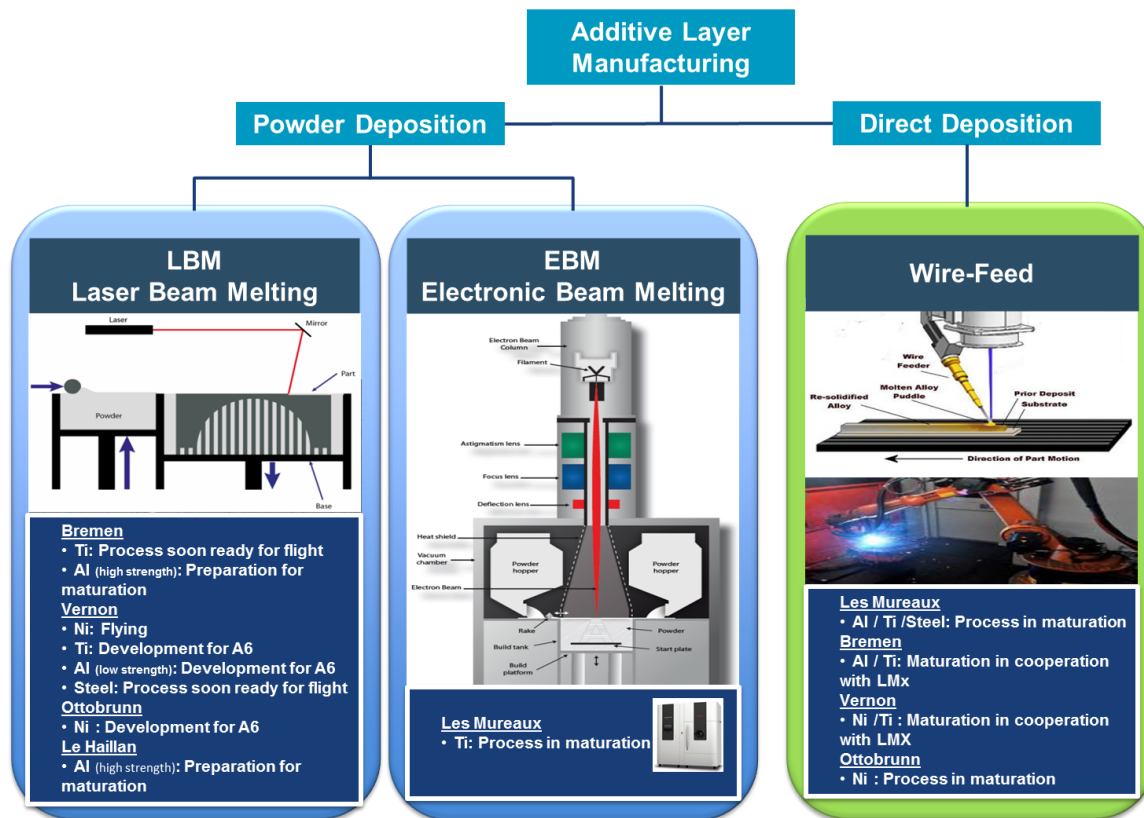


Ottobrunn




**Ligne & injecteurs,
Echangeur thermique APU**

TECHNOLOGIES ALM @ ARIANEGROUP



03

INTÉGRATION DE L'ALM EN PROPULSION

INTRODUCTION DE L'ALM EN PROPULSION SUR ARIANE 5 & 6

Croix de cardan Inco718

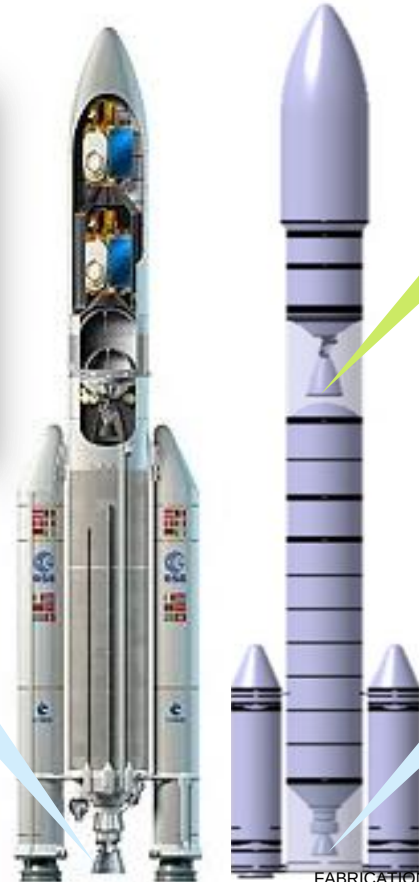


Vulcain 2 Liquid Propulsion System

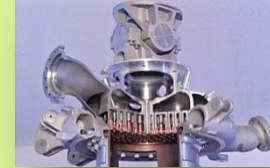


Batch production

**Demonstration Vol sur Ariane 5
en 2016**



Injecteur VINCI



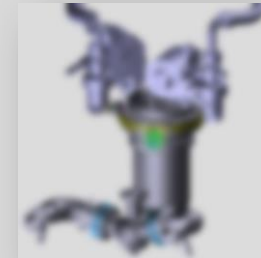
Elements d'injection

Subscale cartridge



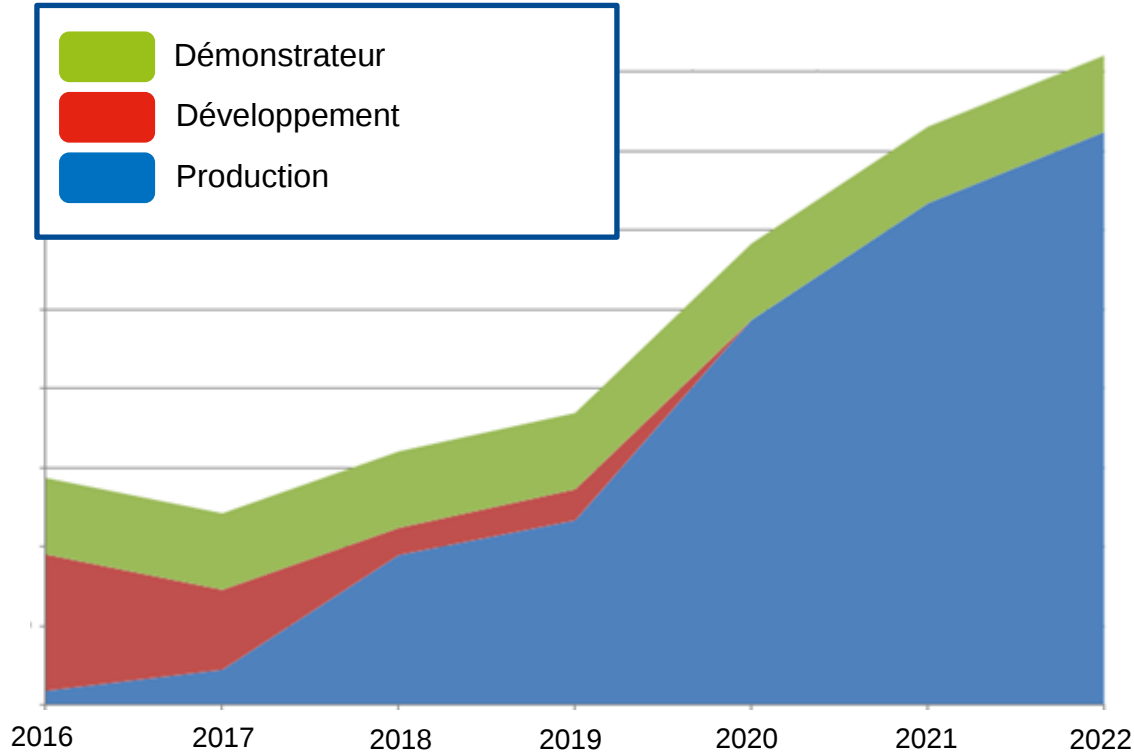
Plaque inco718

**Vulcain 2.1
Générateur de Gaz**



[R. Salapete, 2018]

PRODUCTION ARIANE 6 ALM



EOS M290



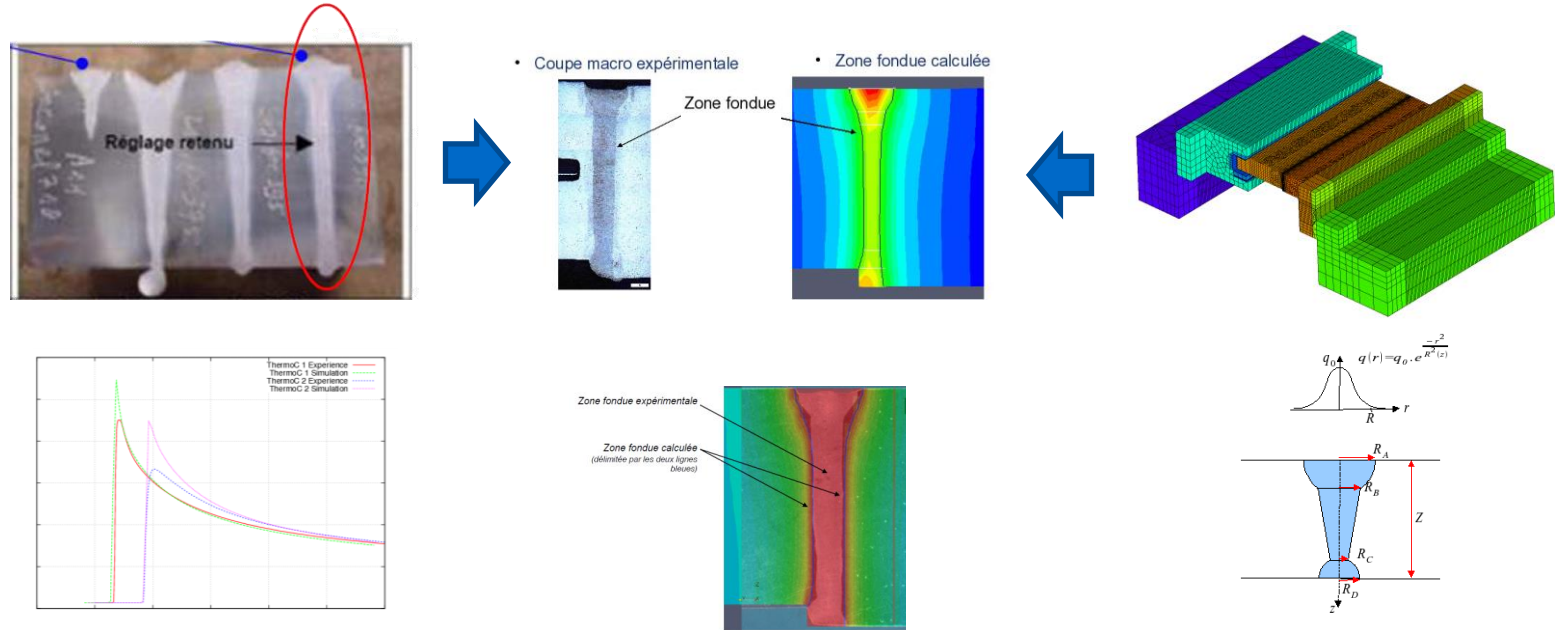
EOS M400-4

04

L'HÉRITAGE DE LA SIMULATION NUMÉRIQUE DU SOUDAGE

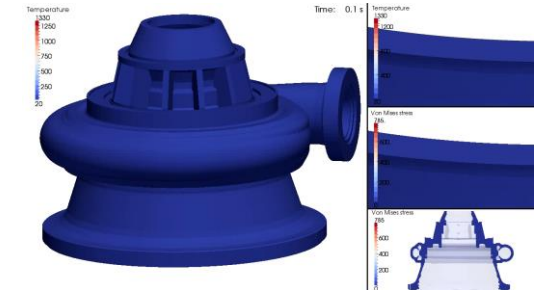
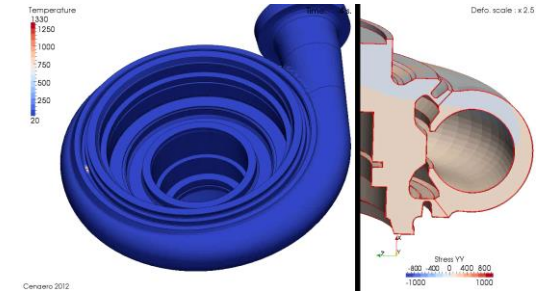
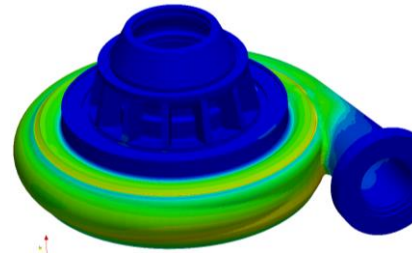
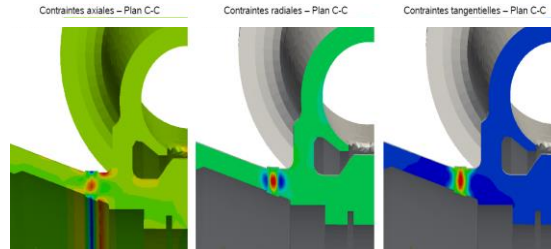
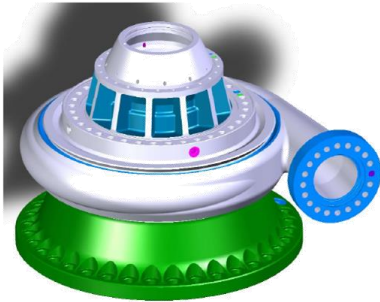
DE LA SIMULATION THERMOMÉCANIQUE DU SOUDAGE ...

- Calcul thermique et thermomécanique non linéaire dans Morfeo 
- Source de chaleur équivalente recalée (en température) par essai élémentaire



DE LA SIMULATION THERMOMÉCANIQUE DU SOUDAGE ...

- Simulation de la déformation et du cycle thermique de grand composant pendant un procédé de soudage fusion (ici FE et TIG)
 - Aide au choix de procédé de soudage fusion (impact sur les assemblages),
 - Validation et Optimisation des gammes de soudage,
 - Aide à la compréhension d'anomalie de fabrication,
 - ...



... À CELLE DE LA FABRICATION ADDITIVE

Contexte :

- Augmentation du nombre de nouvelles références, augmentation des tailles et masses des composants imprimés,
- Acquisition des connaissances sur les limites de fabricabilité en cours, faible retour d'expérience,
- Nouveau procédé avec de nombreux paramètres clés, nouvel état matière, etc.

Problématique :

- Réduire le nombre de pièces de mise au point
- Anticiper les déformations en cours de procédé
- Améliorer la compréhension du procédé
- Optimiser les paramètres opératoires
- Améliorer la connaissance de l'état matière
- Prédire la santé métallurgique : niveau de porosité, présence de défaut, etc.



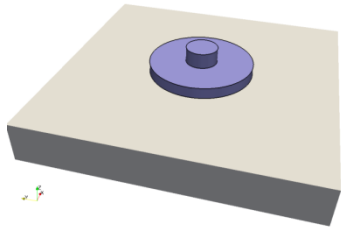
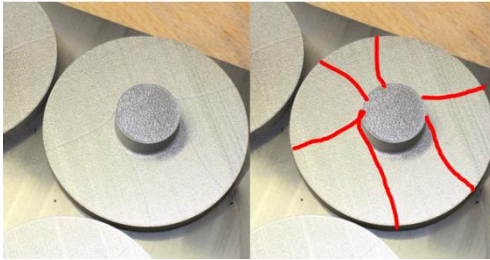
Augmentation du
niveau de détail
des modèles

05

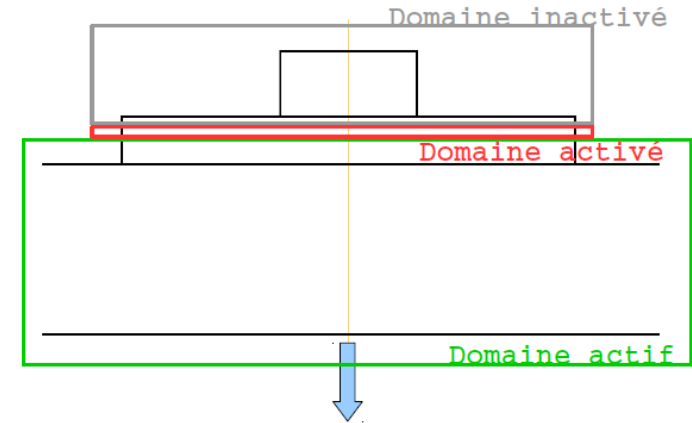
SIMULATION THERMOMÉCANIQUE DE L'ALM

SIMULATION THERMOMÉCANIQUE LIT DE POUDRE

- Calcul thermique et thermomécanique non linéaire dans Morfeo
- Activation d'éléments pour modéliser la fusion de la poudre,
- Source de chaleur équivalente pour une couche élément-finis,

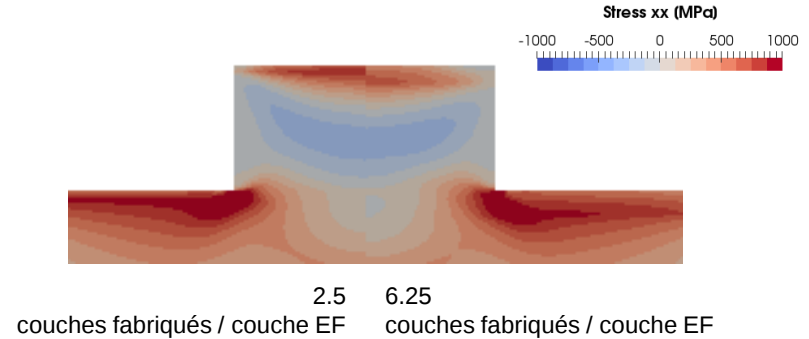
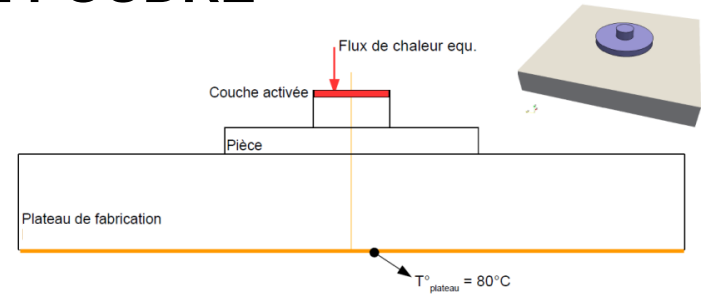
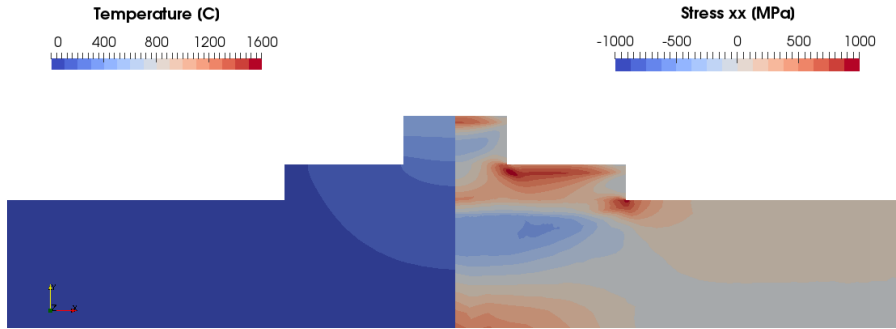


Modèle 2D
axisymétrique



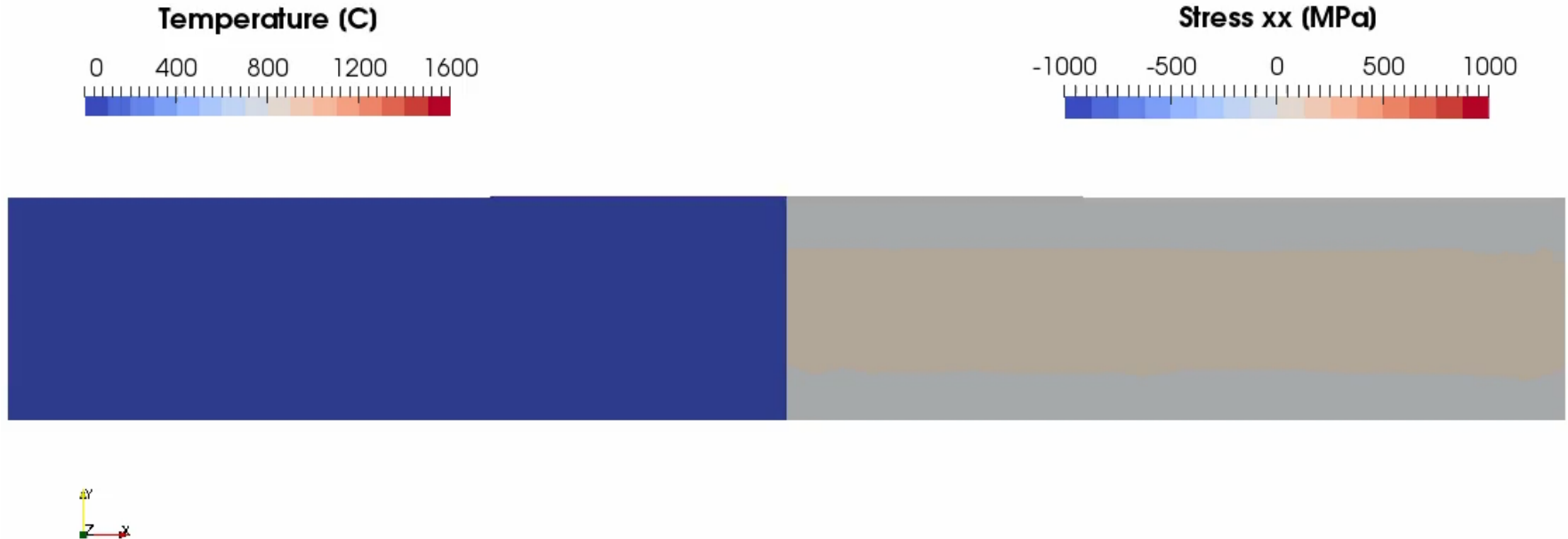
SIMULATION THERMOMÉCANIQUE LIT DE POUDRE

- Analyse de sensibilité des paramètres numériques :
 - Taille de couche élément-finis / épaisseur de couches fabriquées,
 - Quantité / temps d'application du flux de chaleur,
 - Identification de paramètre clé de simulation,



- Reproduction du comportement observé expérimentalement : site d'initiation et direction de propagation

SIMULATION THERMOMÉCANIQUE LIT DE POUDRE



06

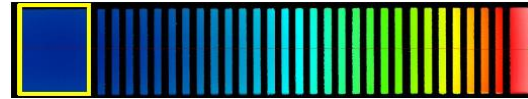
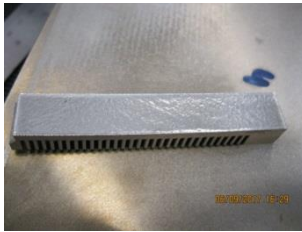
SIMULATION MÉCANIQUE DE L'ALM

SIMULATION MÉCANIQUE LIT DE POUDRE

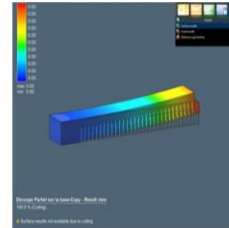
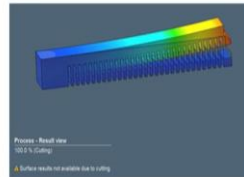
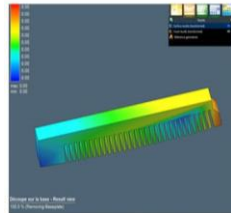
- Calcul mécanique non linéaire dans MSC.Simufact
- Activation d'éléments pour modéliser la fusion de la poudre,
- Approche *inherent strain* : application d'une déformation « catalogue » induite par le procédé sur un maillage EF



Fabrication &
Mesure de
spécimen



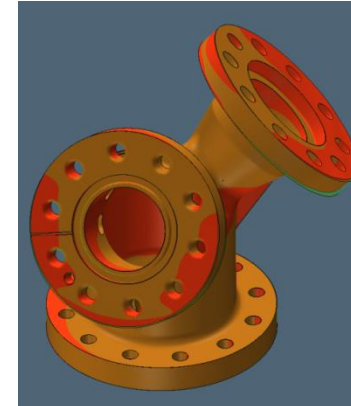
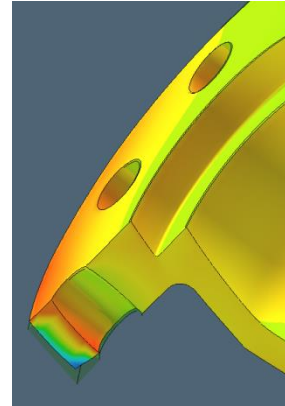
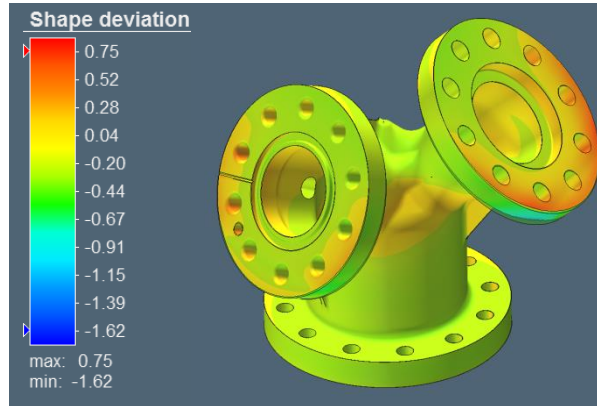
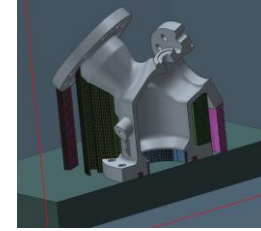
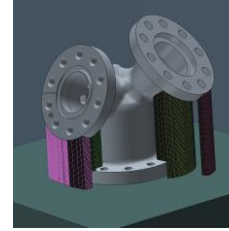
Modèle numérique &
boucle d'optimisation



Constitution du catalogue
d'*inherent strain*
Pour chaque matériau / machine
/ paramètres opératoires

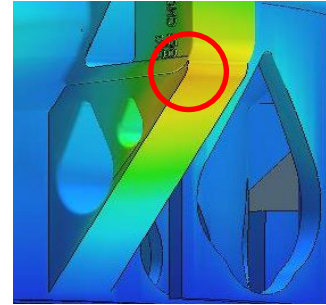
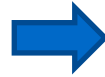
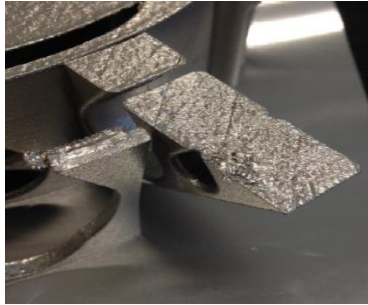
SIMULATION MÉCANIQUE LIT DE POUDRE

- Analyse de sensibilité de la gamme proposée :
 - Anticipation de la forme et du niveau de déformation,
 - Identification de zones à risque,
 - Optimisation de l'orientation et de la stratégie de supportage,
 - Prévion de surépaisseurs.

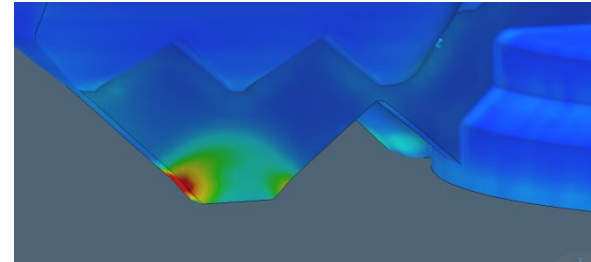
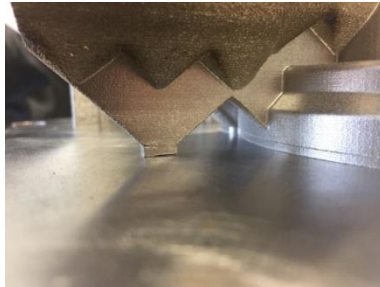


SIMULATION MÉCANIQUE LIT DE POUDRE

- Anticipation du risque de blocage racleur



- Anticipation du risque de fissuration en cours de fabrication



07

CONCLUSIONS

CONCLUSIONS

Simulation thermomécanique du soudage et de l'ALM

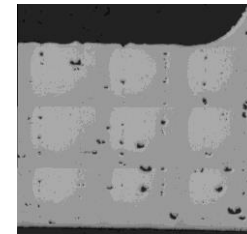
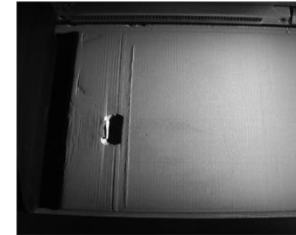
- Prévission du cycle contrainte / déformation du procédé,
- Rapidement limité par la taille des modèles.

Simulation mécanique de l'ALM

- Prévission de la déformation induite par le procédé, catalogue de déformation,
- Identification de zones à risques, risque de blocage,
- Optimisation de l'orientation / de la stratégie de supportage.

Et encore des enjeux pour la simulation

- Prévission du risque de manque de poudre,
- Prévission de la santé métallurgique, niveau de porosité (e.g. en downskin).



RÉFÉRENCE

- [R. Salapete, 2018] Introducing additive manufacturing @ ariane group, Raphaël Salapete, additive manufacturing for aerospace & space, Munich Feb. 20th-22nd, 2018
- [L. Debeugny, 2015] Simulation du soudage d'un carter de turbopompe forte pression, Loïc Debeugny, 13ème colloque modélisation et simulation numérique du soudage, 26 mars 2015