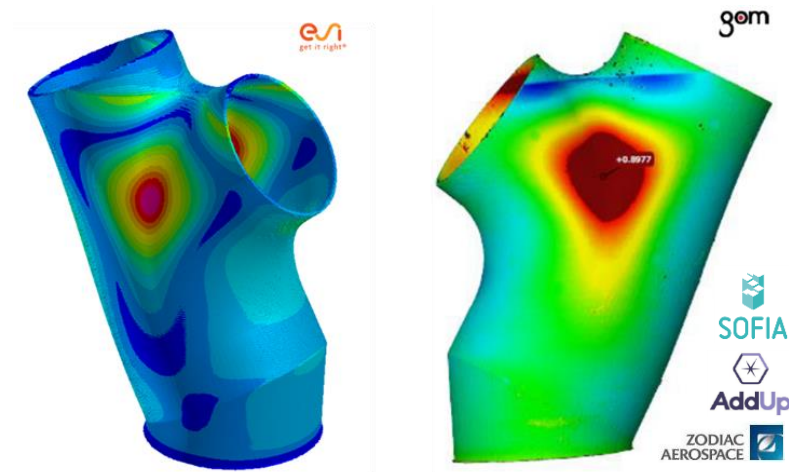


Journée SNS – CFV

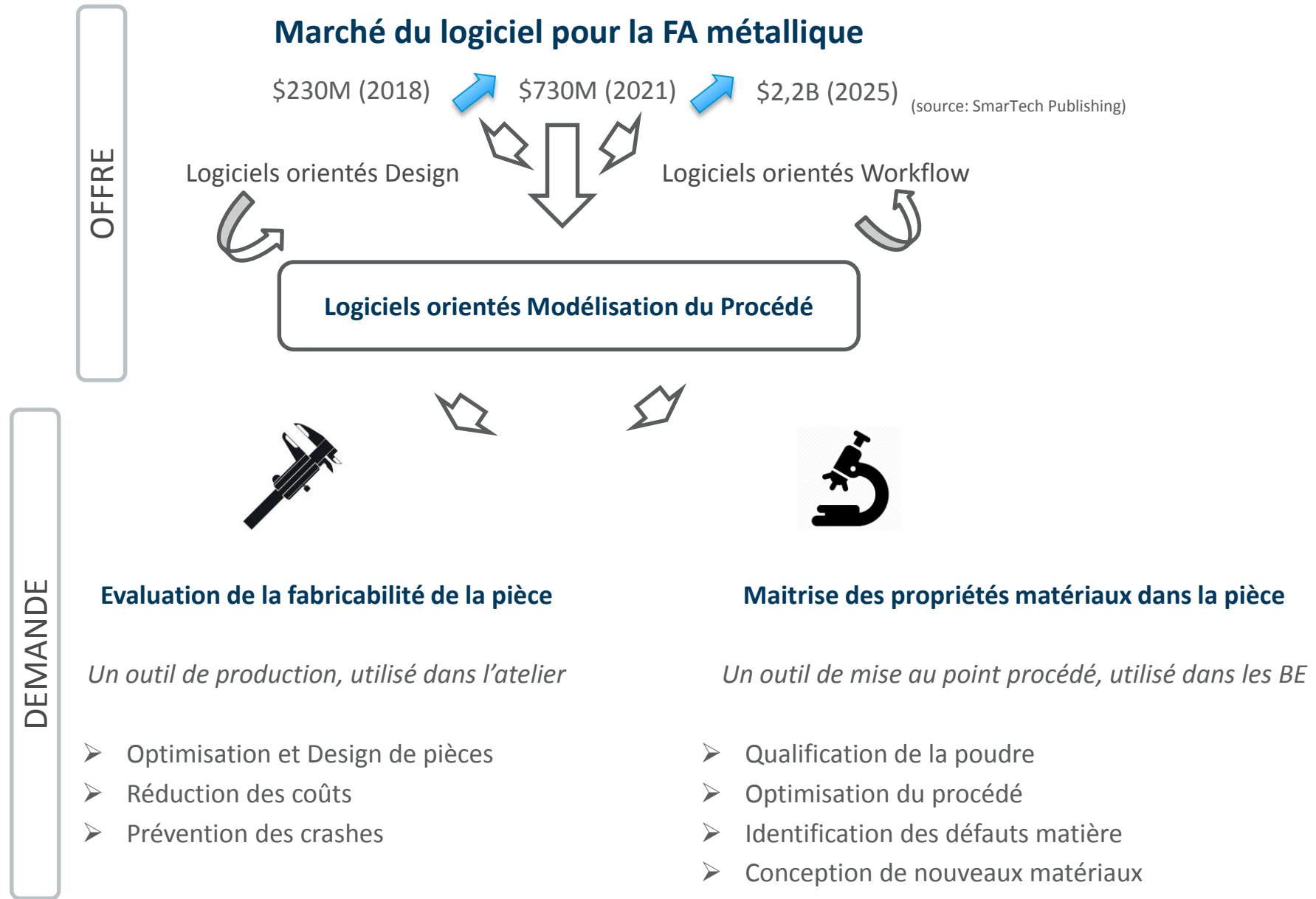
Simulation thermomécanique à l'échelle de la pièce,
quelles perspectives pour la fabrication additive ?



Olivier Desmaison / Pierre-Adrien Pires
ESI Group – olivier.desmaison@esi-group.com

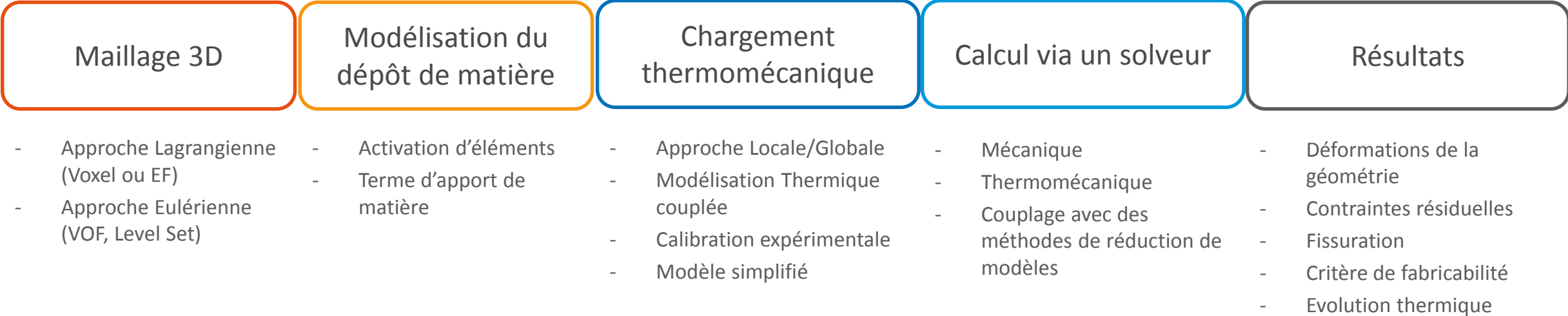
26 Juin 2018

Contexte



Simulation thermomécanique à l'échelle de la pièce

Approche générale



Quelle approche pour quelle:
Vitesse du calcul ?
Précision dans la prédiction ?
Facilité de mise en œuvre du modèle ?

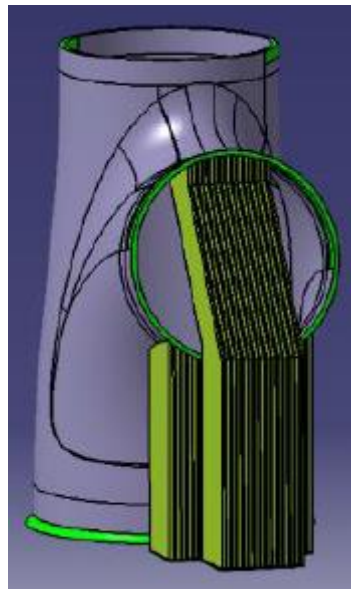


*Simulation thermomécanique à l'échelle de la pièce,
quelles perspectives pour la fabrication additive ?*

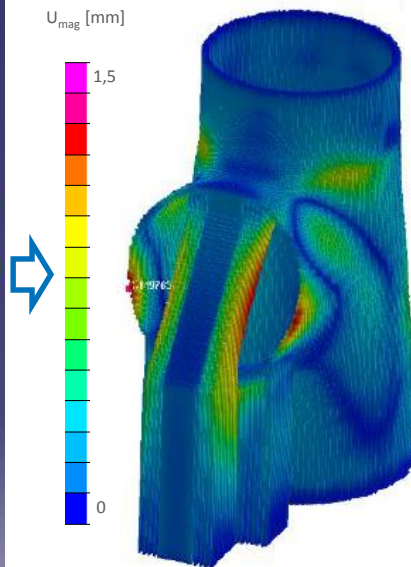
Simulation thermomécanique à l'échelle de la pièce

Cas d'application type

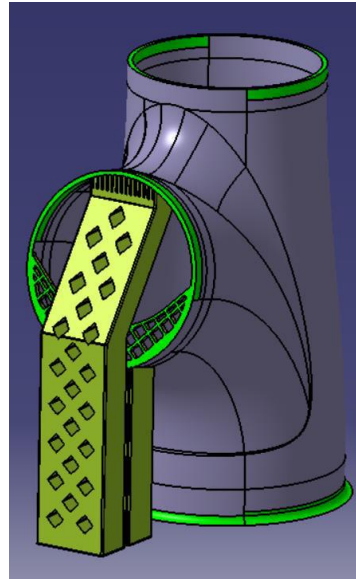
- Pièces conçues par 
- Pièces fabriquées sur FormUp 350 par 
- Pièces simulées via  Additive Manufacturing 
- Dans le cadre du projet



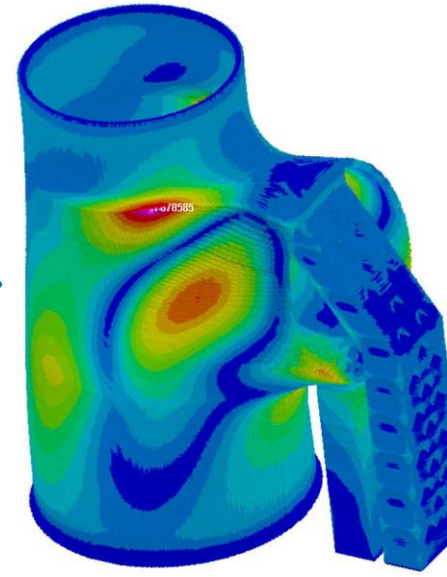
1. Design initial



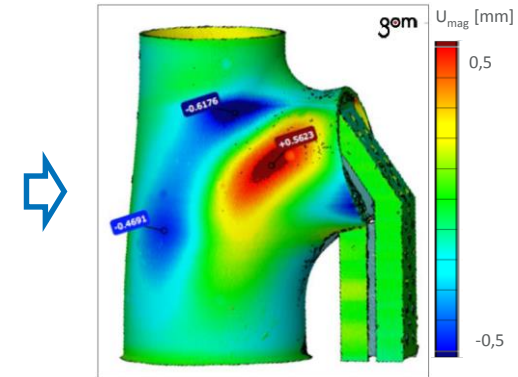
2. Prédiction de déformations critiques



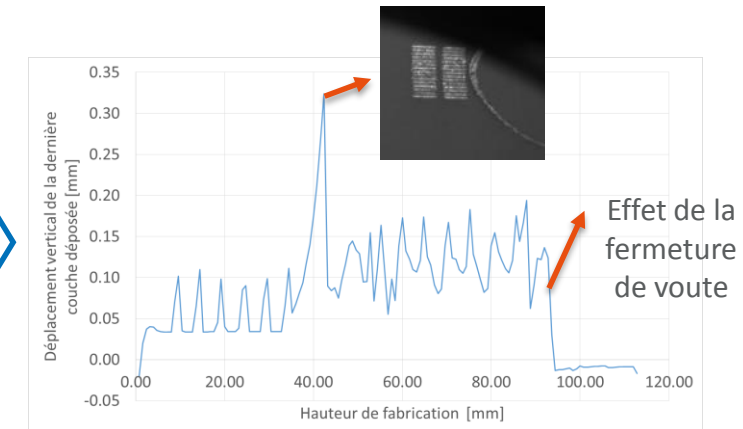
3. Définition d'une nouvelle stratégie de supportage



4. Simulation de la fabrication du nouveau design



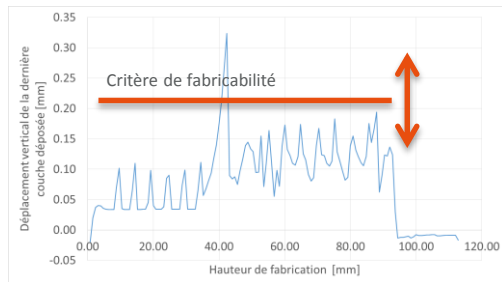
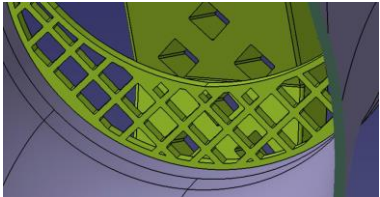
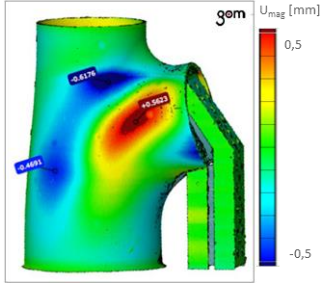
5. Comparaison des résultats aux mesures expérimentales.



6. Analyse du critère de fabricabilité

Simulation thermomécanique à l'échelle de la pièce

Constat



1. La pièce finale s'est déformée pendant la fabrication.
2. Les tendances de déformations prédites par la simulation sont excellentes mais les amplitudes annoncées surestimées.
3. Si les calculs étaient plus rapides, il serait possible d'imaginer un processus itératif pour la validation du design des pièces.
4. Comment prendre en compte l'impact des détails géométriques sur la fabricabilité de la pièce ?
5. La valeur du critère de fabricabilité semble discutable.



A. Compensation



B. Calibration du chargement thermomécanique



C. Réduction de modèles



D. Maillage lissé



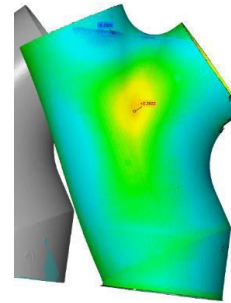
C. & D.

A. Compensation

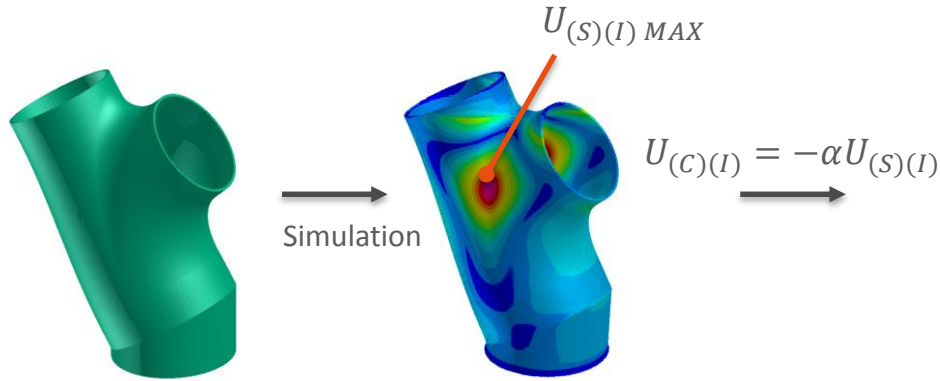
Principe

Géométrie Compensée
Fabriquée (CF)

Déformation
Max= 0,3mm



Fabrication



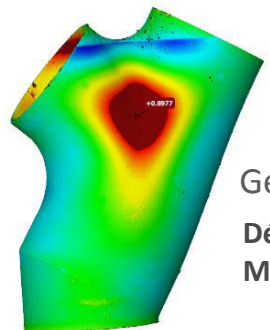
Géométrie Initiale (I)

Géométrie Simulée (S)

Géométrie Compensée (C)

Simulation

Géométrie Déformée Prédite (D)



Géométrie Initiale Fabriquée (F)

Déformation
Max= 0,9mm



- Réduction de 65% de la distorsion maximale mesurée sur la pièce finale
- Facilité de mise en œuvre



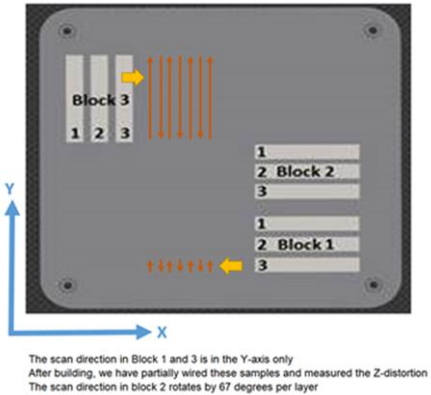
- Peut nécessiter un processus itératif pour obtenir la bonne géométrie compensée (calibration)



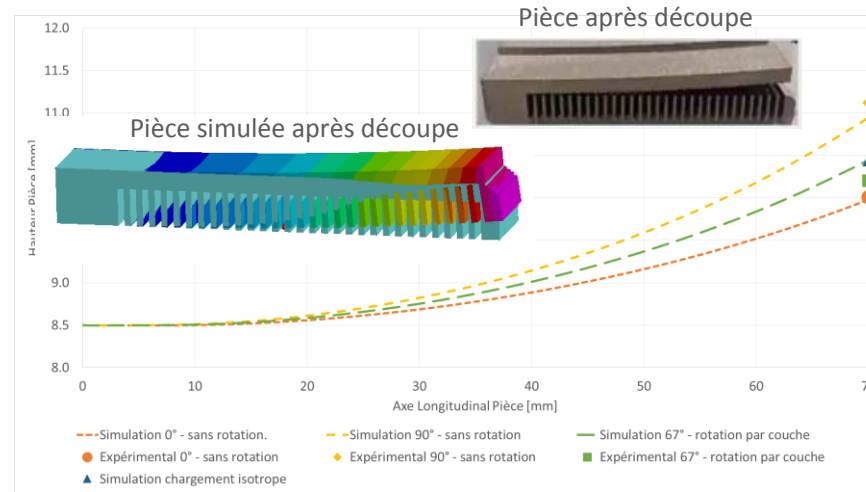
- Il est primordial que la prédiction du modèle numérique soit juste.

B. Calibration du chargement thermomécanique

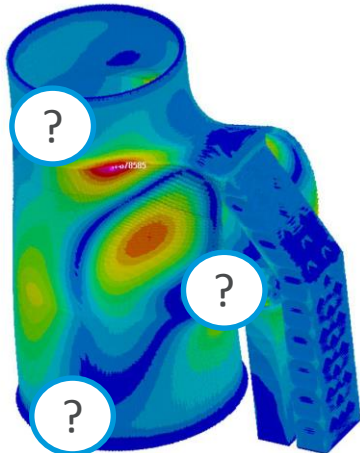
Chargement anisotrope



1. Calibration Expérimentale (Source: Renishaw)



2. Calibration numérique sur modèles 1 & 3



$$\epsilon_X, \epsilon_Y, \epsilon_Z$$



Détermination du chargement
"équivalent"



- L'utilisation d'un chargement anisotrope est essentiel pour des stratégies de lasage mono-directionnelle.



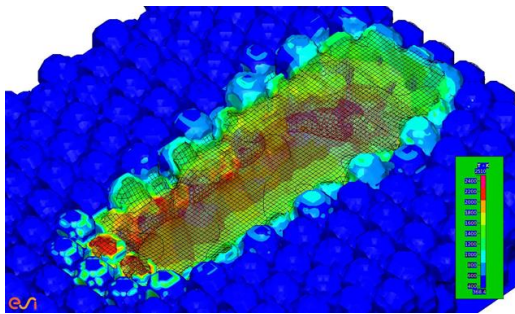
- La calibration effectuée sur des pièces de petite taille ne prend pas en compte l'échauffement d'une grande pièce pendant fabrication



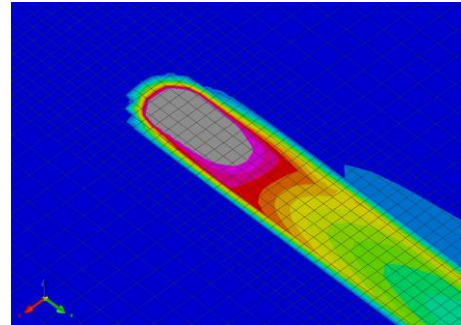
- Coût de la calibration

B. Calibration du chargement thermomécanique

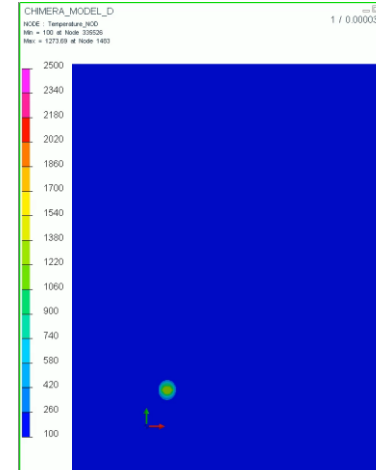
Couplage thermomécanique



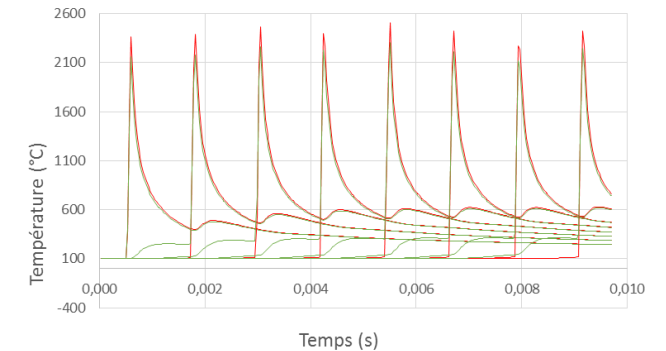
1. Echelle poudre: modèle en source de chaleur surfacique



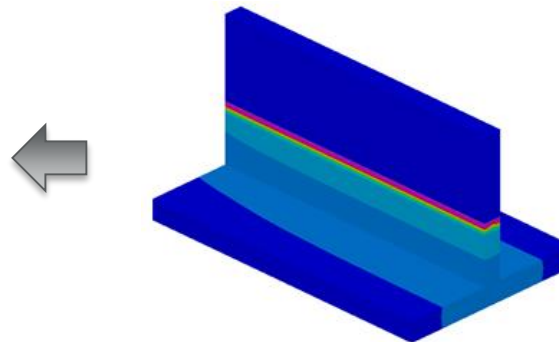
2. Echelle du bain: modèle en source de chaleur volumique équivalente



3. Echelle d'un hatch: modèle en source de chaleur volumique équivalente

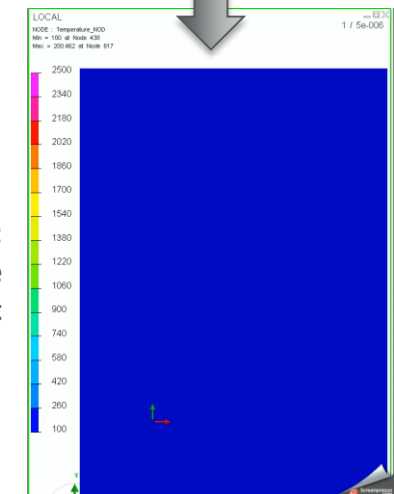


4. Echelle du hatch: extraction d'un cycle thermique équivalent



6. Echelle d'une couche

5. Echelle d'une bande: flash par cycle thermique équivalent



Comment justifier la sensibilité du modèle aux paramètres procédés au regard des hypothèses simplificatrices ?

Le chainage des modèles complexifie la mise en œuvre du modèle, augmente le temps de calcul global et altère la justesse du résultat...

B. Calibration du chargement thermomécanique

Couplage thermomécanique



- L'histoire thermique dans la pièce durant sa fabrication a un impact sur sa déformation.
- Seule une méthode rapide et simplifiée permettra de systématiser l'utilisation du couplage thermomécanique.



- Selon l'échelle du 1^{er} modèle de référence, une calibration est nécessaire.



- Approche locale/globale excessivement lente

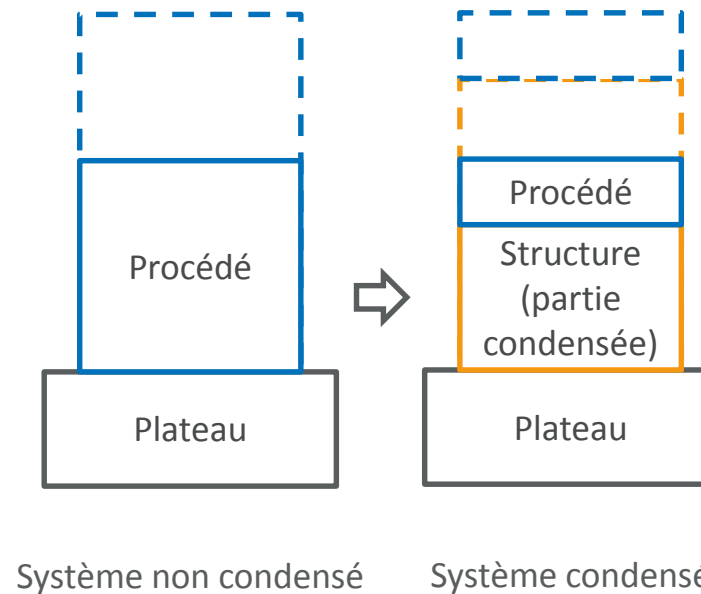
Quel futur modèle thermique?

Unique, Générique, Rapide, et Reconnu



C. Réduction de modèles

Par méthode de condensation - Principe



$K(u)$ Matrice tangente
 K_c Raideur condensée (élastique)
 F Incrément de chargement
 F_{int} Force interne
 F_c Force condensée

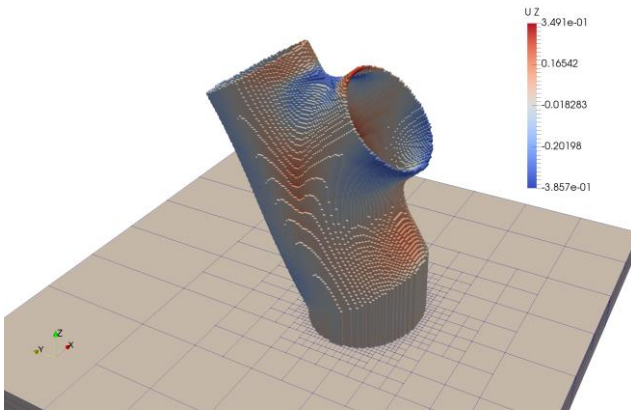
$$\begin{bmatrix} K(u) & K_I \\ K_I & K_{nc} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \Delta u \\ \Delta u_{nc} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F - F_{int} \\ F_{nc} \end{pmatrix}$$

$$\underbrace{[K(u) - K_I \cdot K_{nc}^{-1} \cdot K_I]}_{K_c} (\Delta u) = (F - F_{int} - \underbrace{K_I \cdot K_{nc}^{-1} \cdot F_{nc}}_{F_c})$$

$$\Delta u = (K(u) + K_c)^{-1} (F - F_{int} + F_c)$$

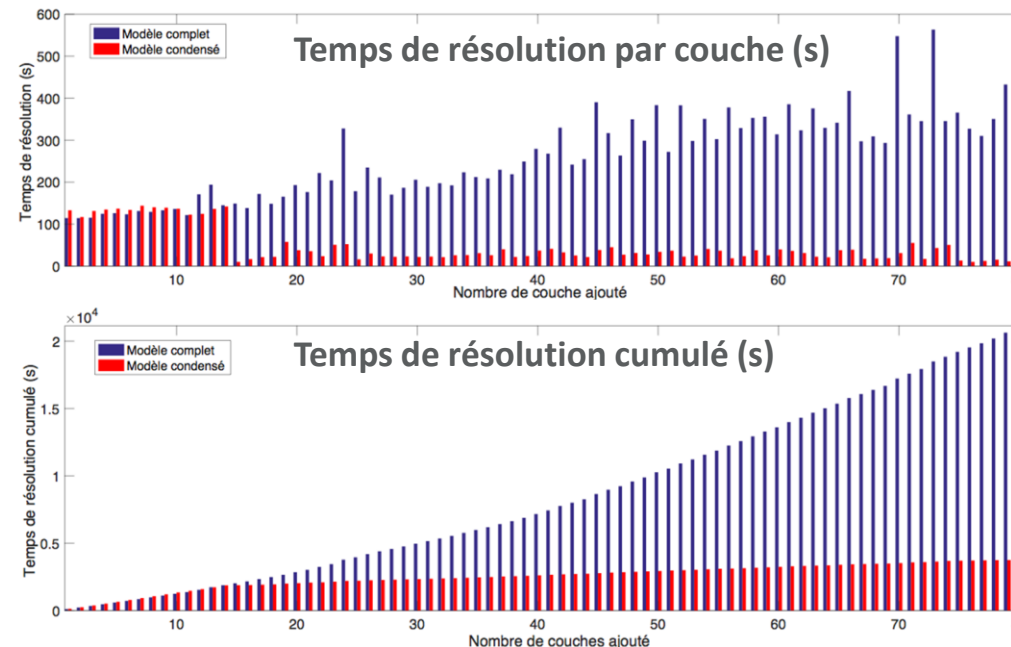
C. Réduction de modèles

Par méthode de condensation - Résultats



Résultat issu d'un système condensé

- 265 000 DDL & 80 couches
- Actualisation de la condensation toutes les 5 couches
- Taille de la partie procédé: 10 couches



- Speed-Up: > x5
- Méthode conservative et non intrusive.



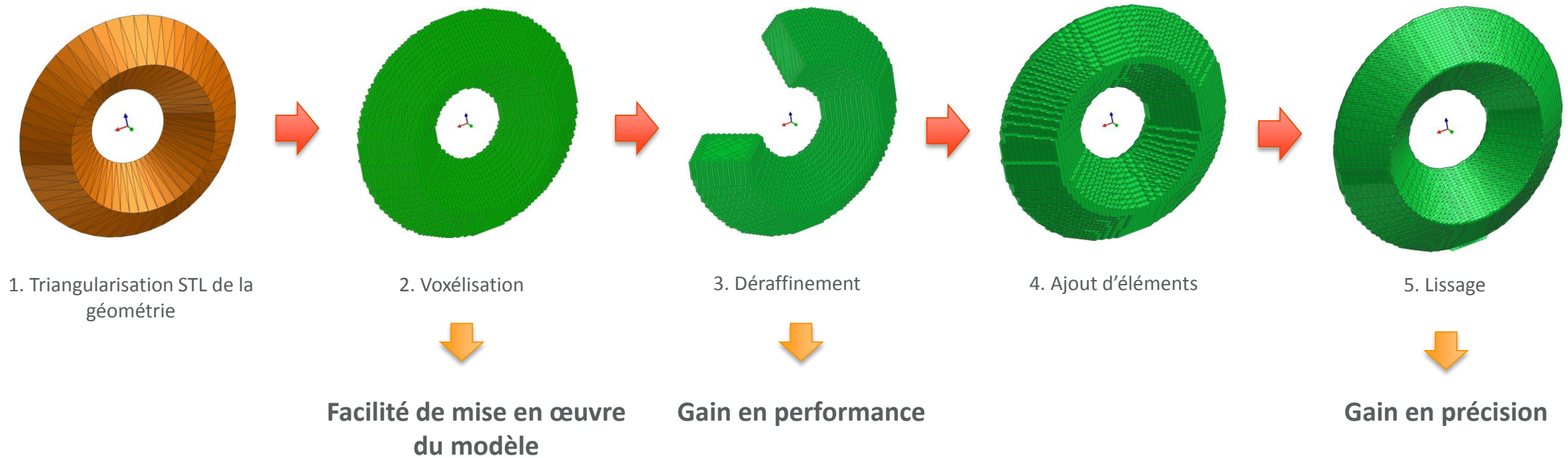
- Forte hypothèse simplificatrice (comportement élastique généralisé)
- Nécessité de réactualiser l'interface (perte de temps)



- Ne convient pas à des pièces dont la plasticité augmente continuellement tout au long de la fabrication.

D. Maillage lissé

Principe

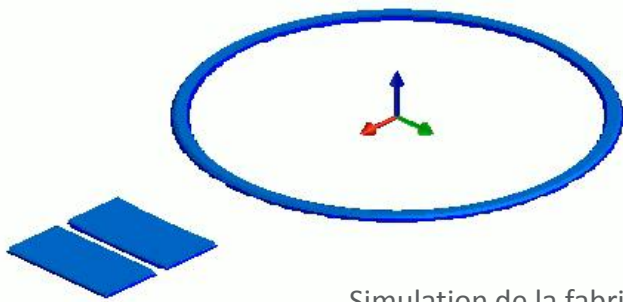


D. Maillage lissé

Cas d'application

- Pièces conçues par 
- Pièces fabriquées sur FormUp 350 par 
- Pièces simulées via 
- Dans le cadre du projet 

U_{mag} [mm]



Simulation de la fabrication de la pièce
à partir d'un maillage lissé



- Réduction de 20% de la distortion maximale mesurée sur la pièce finale
- Lissage du critère de fabricabilité
- Optimise les opérations de mapping (utiles pour la compensation)



- Taille des maillages légèrement augmentée

Conclusion

Simulation à l'échelle de la pièce, quelles perspectives pour la FA ?

AUJOURD'HUI

Un workflow de simulation déjà largement maîtrisé qui permet de prédire les déformations d'une pièce lors de sa fabrication, tout en garantissant ou non sa fabricabilité.

LES PERSPECTIVES A VENIR SONT

Amélioration de la prédiction des modèles

- Par l'utilisation d'une méthode de maillage lissé
- Par la prise en compte de l'évolution thermique de la pièce durant sa fabrication
- Par l'utilisation de chargement thermomécanique anisotrope

Amélioration de la performance des modèles

- Par l'implémentation de méthodes de réduction de modèles (méthode de condensation)

DANS LE BUT DE

- Garantir un bon niveau de prédiction
- Systématiser l'utilisation de la simulation comme outil d'aide à la décision de la fabrication d'une pièce
- Accélérer le redesign (itératif) des pièces pour assurer le respect des spécifications géométriques



MERCI DE VOTRE ATTENTION



Additive Manufacturing



www.esi-group.com/additive-manufacturing