

Simulation simplifiée multi-échelles de défauts de fabrication en SLM - premiers éléments -

Yves BRESSON
(Lionel ARNAUD, Maher BAILI, Amèvi TONGNE)



OKK





Figure 4
(Résine - SLA)



ProX 6100
(Plastique - SLS)



Flex 100
(Métal - SLM)



Factory 350
(Métal - SLM)

Plan

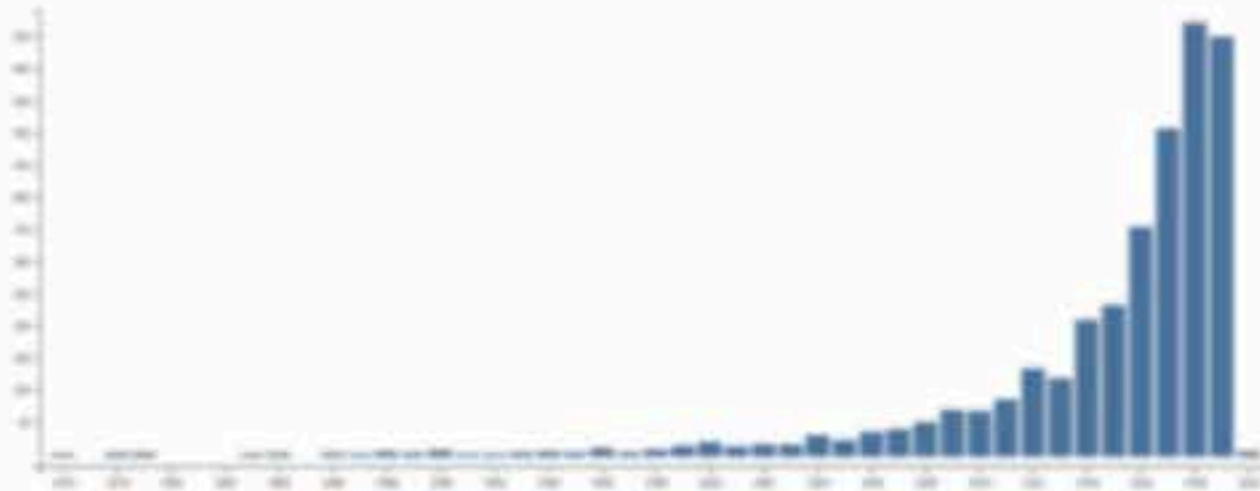


- ☑ Contexte industriel
- ☐ Préliminaire : la biblio en FA
- ☐ Problématique n°1 : poudre A vs B
- ☐ Problématique n°2 : Simulation des défauts
- ☐ Ajustement des échelles de temps et d'espace
- ☐ Conclusions et perspectives

La biblio en FA

Le nombre d'articles explose en FA

- Certains articles sont décevants quand on creuse.
(manque de données, paramètres de fabrication exotiques, extrapolations injustifiées, etc.)
- Les industriels travaillent de leur côté avec leur propre centre R&D, ne s'appuient pas sur les publis.



Web of Science: Publications annuelles (relevées au 31/10/19)
TITLE: (selective laser melting OR SLM)

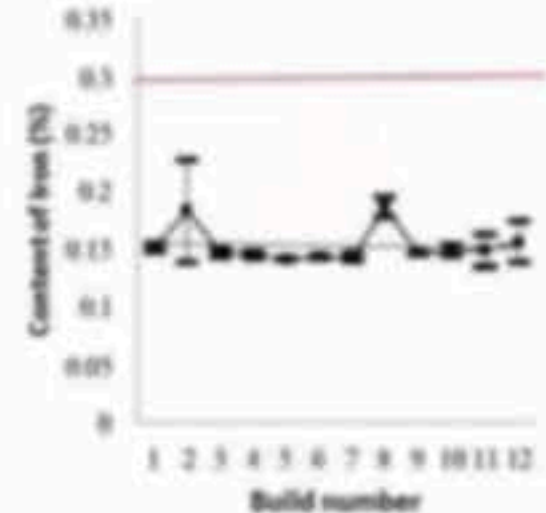
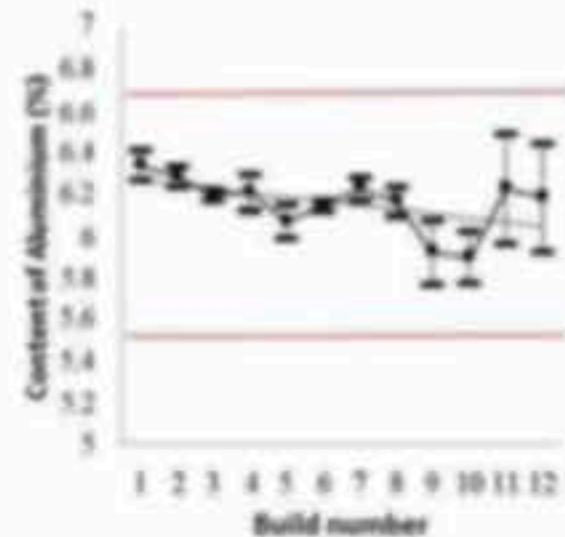


Illustration: interprétations des "tendances" discutables
(article cité 12 fois selon WoS)

Voici ma grille personnelle:

- Origine du document:

- **Type d'article** (article reviewé / conférence / n° spécial...)
- **Auteurs** (academic expert / industry / ...)

- Contenu de l'article :

- **Objectifs** (quelle est la question des auteurs?)
- **Angles d'attaques** (pb général/précis , numérique/exp. , 1 cas/plusieurs cas , académique/industriel , mono/multi-labo/entreprise , ...)
- **Biblio** pertinente ? (vérifier que les éléments techniques sont bien présents dans les articles originaux)
- **Hypothèses** et **données** explicites ? (plus de 50% n'explicitent pas toutes leurs hypothèses)
- Les résultats sont-ils pertinents et précis ? **Permettent-ils de répondre à la question ?**
- L'interprétation des résultats et les conclusions répondent-elles vraiment à la question ? Ne sont-elles pas exagérées ?

- Bilan

- Que peut-on tirer comme informations de cet article ? Avec quelles limites et fiabilité ?

⇒ Consolider ce bilan en communiquant directement avec les auteurs.

Pb n°1 : poudre A vs B



Problématique industrielle :

Peut-on utiliser une poudre alternative au regard de son **coût**, en gardant une qualité équivalente de production?

Problématique scientifique :

Constat prélim. : Tous les paramètres de la poudre, et toutes les variations semblent influencer sur la qualité de la production

▷ Faut-il donc tout mesurer à chaque changement? ⇒ *Beaucoup trop d'essais..*

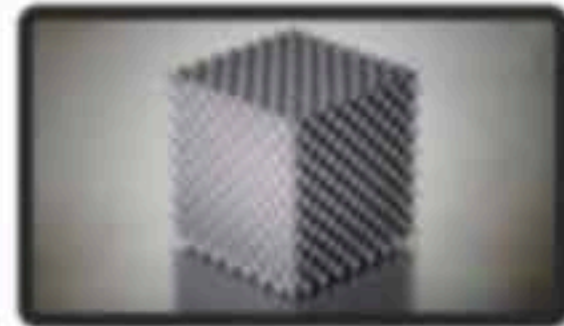
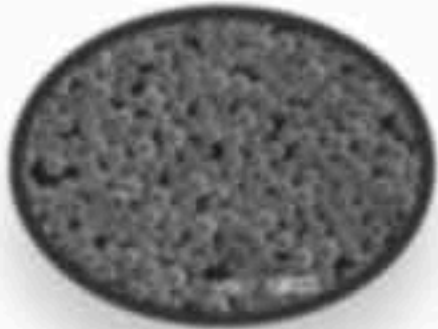
▷ Et pour le suivi de production? Pour une PME? ⇒ *Nécessité de moyens simples*

Problématique principale:

Hiérarchiser les paramètres selon des critères de qualité pièce

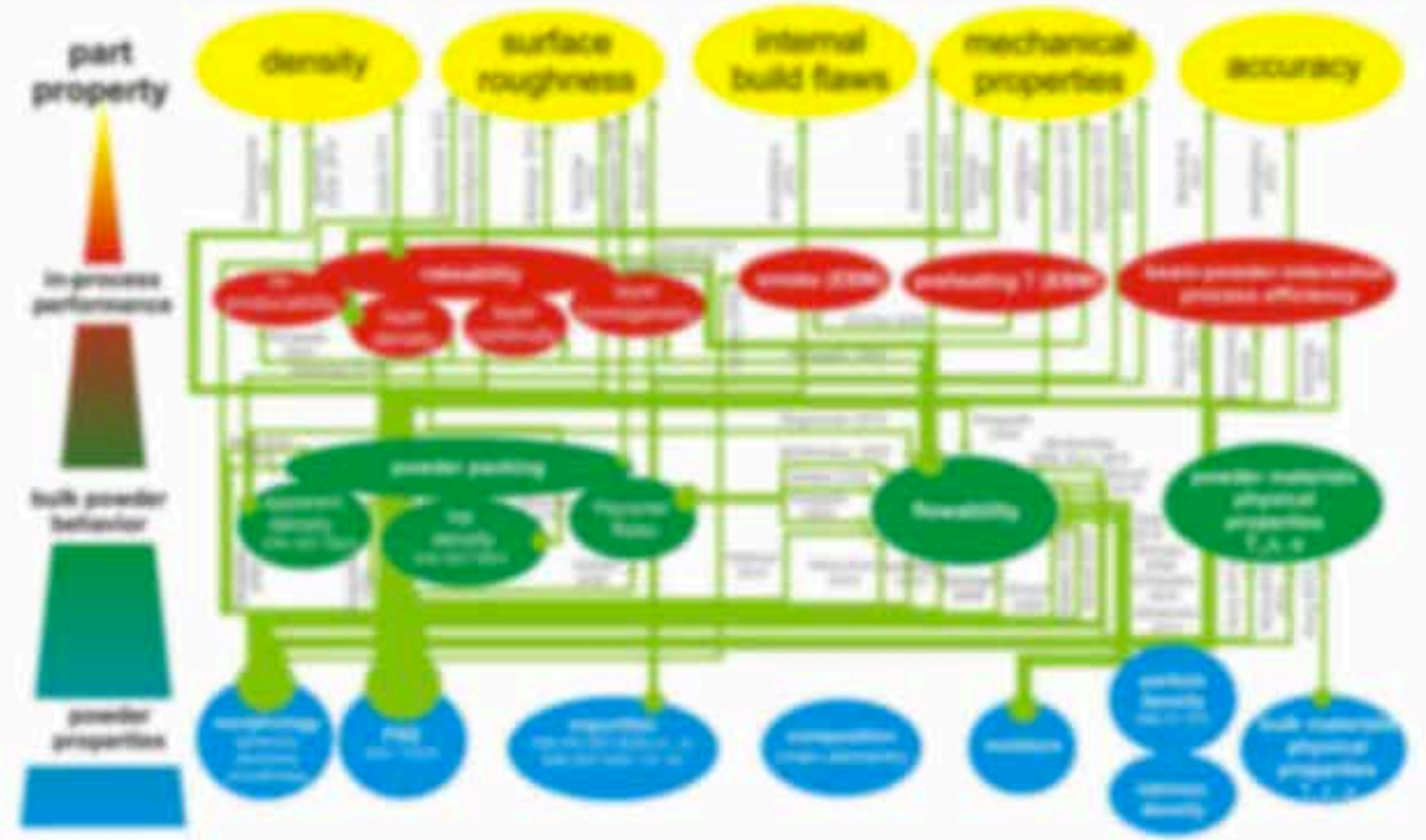
Problématique secondaire:

Suivre la qualité des poudres (vieillessement, recyclage, conditionnement)



Pb n°1 : poudre A vs B

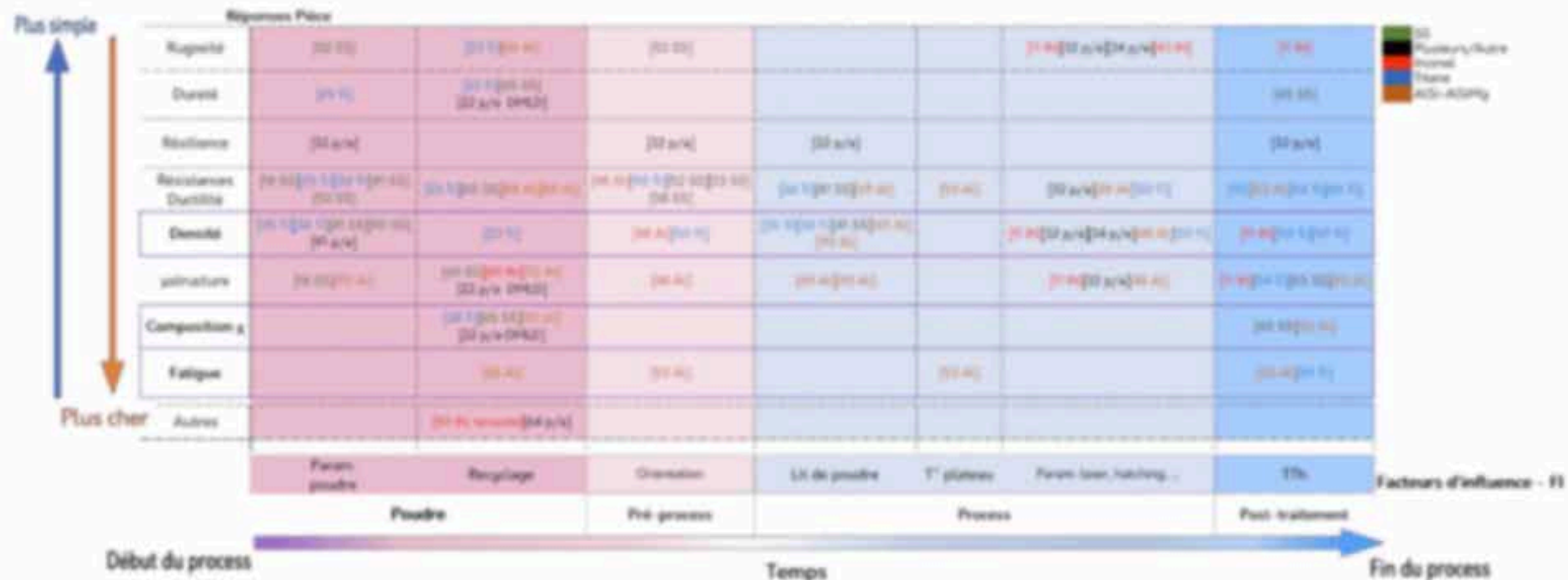
Nombreux paramètres et multiples interactions.
(la biblio tend à montrer que tous les paramètres peuvent avoir un effet)
→ Difficile de distinguer un effet seul et de hiérarchiser les paramètres



Wick, L., Wilkes, B., Wilkes, A., Wegmann, T. & Wilkes, B. Prog. Addit. Manuf. (2019)

Pb n°1 : poudre A vs B

1^{ère} grille d'analyse : qualité pièce = fct° (paramètres poudre & procédé)



Synthèse bibliographique graphique: Facteurs du process influençant les paramètres mécaniques & métallurgiques de la production

Pb n°1 : poudre A vs B

1^{ère} Hiérarchie obtenue

(Bibliographie)

=> Sur les 3 principaux paramètres de qualité pièce (composition, densité, résistance à la fatigue)

Ce sont les **contaminants** et la **porosité initiale** des poudres qui sont les plus critiques.

(peu d'informations sur l'effet du recyclage)

Paramètres	Sous-paramètres	Défauts liés	Importance	Manipulabilité
Composition chimique	O, C, H, N (TA6V, AISI alloys, SS)	Contamination / oxydation	+++	X
	Humidité	Contamination	+++	✓
		Perte de Coulabilité	-	
	Al, V (TA6V)	Évaporation d'élément d'alliage	-	X
Porosité		Porosités internes	+++	X
Taille	Teneur en petites particules	Teneur en oxygène dissous	+++	✓
		Agrégats	-	
		Vaporisation	-	
	Teneur en grandes particules	Sortie du lit de poudre	+	✓
		Fusion incomplète	+	
	Distribution granulométrique	Faible densité du lit de poudre	+	X
		Perte de coulabilité	-	
Forme	% Sphéricité	Perte de Coulabilité	-	X
	Porosités ouvertes			
Surface	Rugosité	Perte de Coulabilité	-	X
	Satellites			

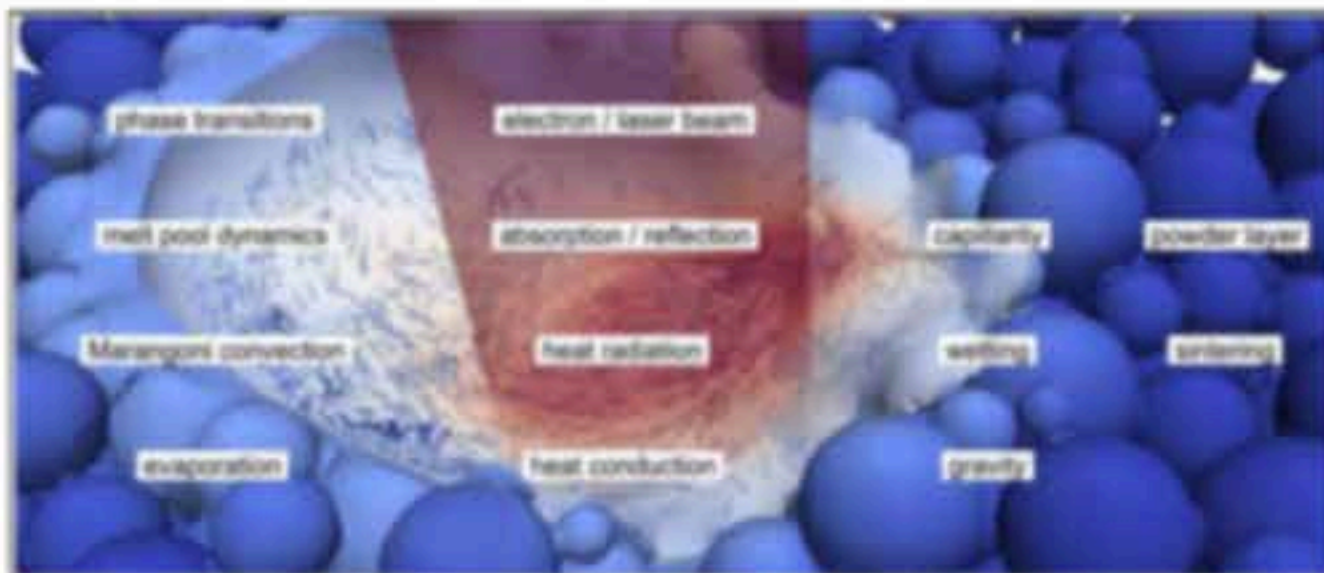
Pb n°2 : simulation des défauts

Problématique industrielle : limiter les essais-erreurs:

- ▶ Anticiper les défauts dans les productions
- ▶ Faciliter l'optimisation du procédé

Problématique scientifique : comment simuler un plateau entier ?

- ▶ Comment prédire efficacement les porosités, les déformations?



Pb n°2 : simulation des défauts

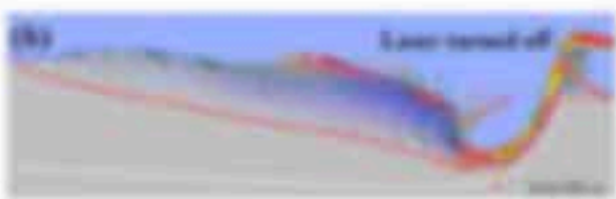


Certains défauts de type porosités sont liés directement aux phénomènes thermiques :

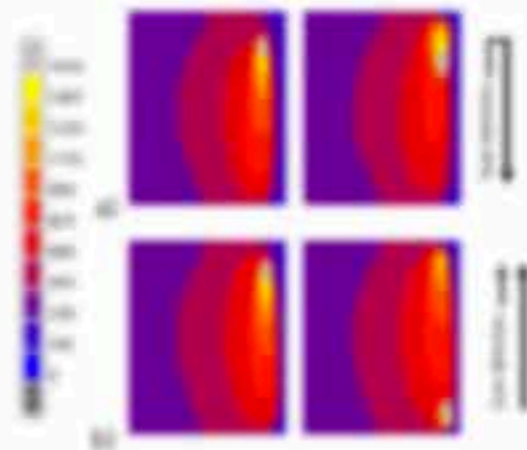
Températures trop hautes: évaporation du métal, irrégularités du bain de fusion \Rightarrow bulles

Températures trop basses: fusion partielle, bain de fusion peu volumineux \Rightarrow porosités

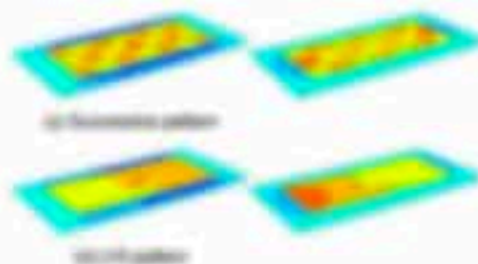
\Rightarrow Nécessité de simuler l'histoire thermique à différentes échelles



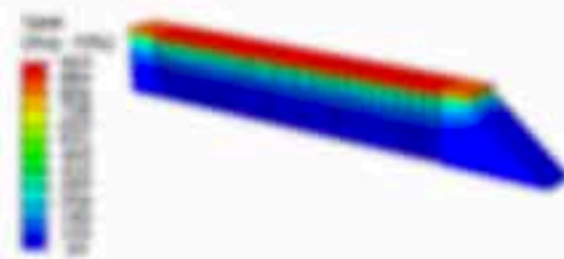
Khanlouli, S. A., Anderson, A. T., Rubenchik, A. & King, W. Z. *Acta Mater.* **108** (2016)



Perry, L., Ashcroft, J. A. & Willmann, R. *Addit. Manuf.* **12** (2014)



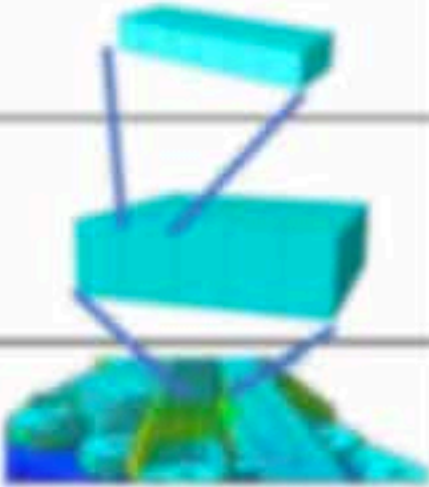
Li, C., Fu, C. H., Guo, Y. B. & Fang, F. Z. *J. Mater. Process. Technol.* **229** (2016)



Li, C., Liu, J. F., Fang, X. Y. & Guo, Y. B. *Addit. Manuf.* **17** (2017)

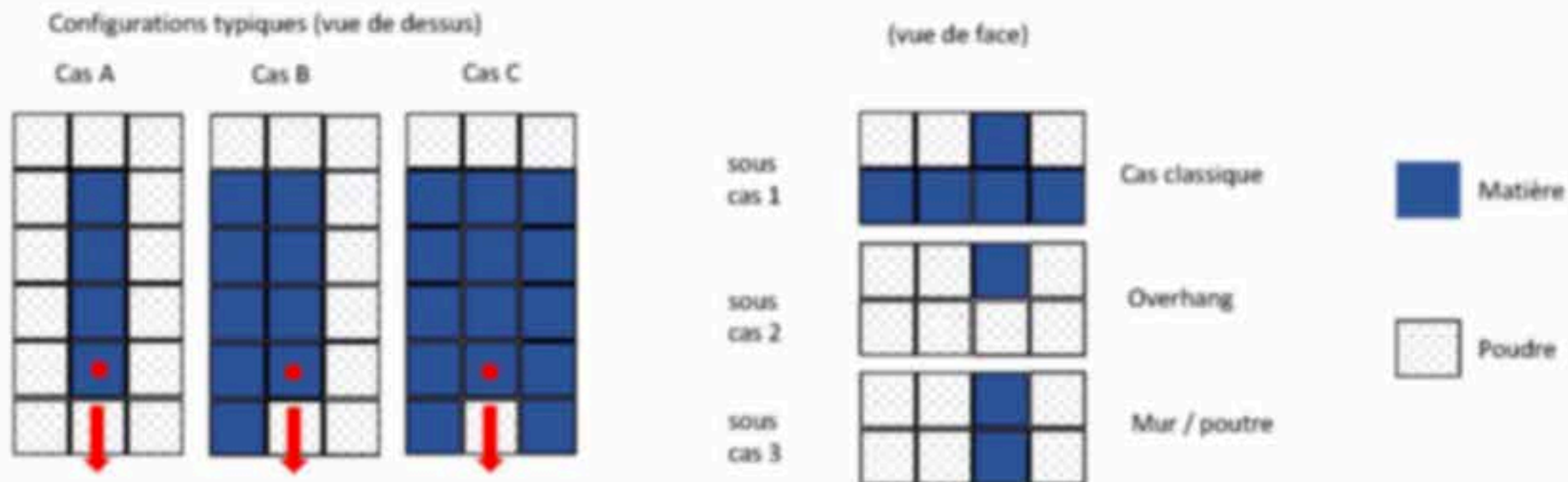
Pb n°2 : simulation des défauts

Échelles en jeu:

Niveau	Formation	Maillage	Échelle de temps
Micro	1- Bain de fusion : $(100 \mu\text{m})^3$ 2- Vecteur laser : $(100 \mu\text{m})^2 * 10 \text{ mm}$		0.1 ms 10 ms
Méso	3- Couche : $50 \mu\text{m} * (100 \text{ mm})^2$ 4- Bloc de 20 couches: $1 \text{ mm} * (100 \text{ mm})^2$		1 min 20 min
Macro	5- Pièce et plateau de production: $\approx (100 \text{ mm})^3$		40 heures

Pb n°2 : simulation des défauts

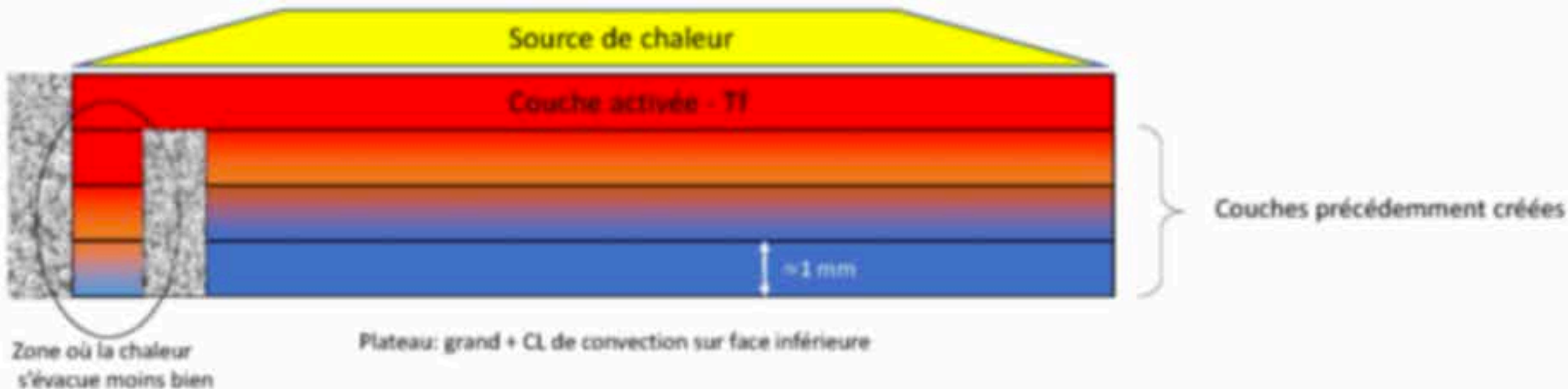
Échelle micro (n°2) : vecteur laser



Suite à ces calculs thermiques de référence, les informations transmises aux échelles supérieures seront les min. et max. des températures, cas par cas (A1, A2, A3, B1, B2, ...)

Pb n°2 : simulation des défauts

Échelle macro (n°5) : pièce



Activation des couches à la température de fusion

Délai entre 2 activations \approx 20 min (à caler avec la réalité)

Niveau 2 + Niveau 5 => Zones à risques de sous-fusion / surfusion

Partie poudres:

Hiérarchie des paramètres des poudres proposée en fonction de la nature du matériau et de la machine employée.

Nous manquons de recul sur les processus de vieillissement des poudres (contamination et coulabilité notamment).

Partie simulations:

De nombreuses solutions commerciales de simulation sont disponibles, mais la physique n'est pas toujours respectée.

Nécessité d'identifier ce que font vraiment les logiciels et dans quelle mesure leurs méthodes de modélisation les limitent.

=> Modèle thermique multi-échelles simplifié (applicable dans un cadre PME).

Partie poudres:

Développer une approche de sélection de poudres prenant en compte son coût via la mesure de certains critères.

Développer une méthodologie pour maximiser le nombre d'utilisations des poudres.

Partie simulations:

Valider l'approche thermique multi-échelles simplifiée.

Développer une approche de simulation se rapprochant de la réalité physique.

Déterminer les écarts et les limites des hypothèses employées dans les logiciels commerciaux.