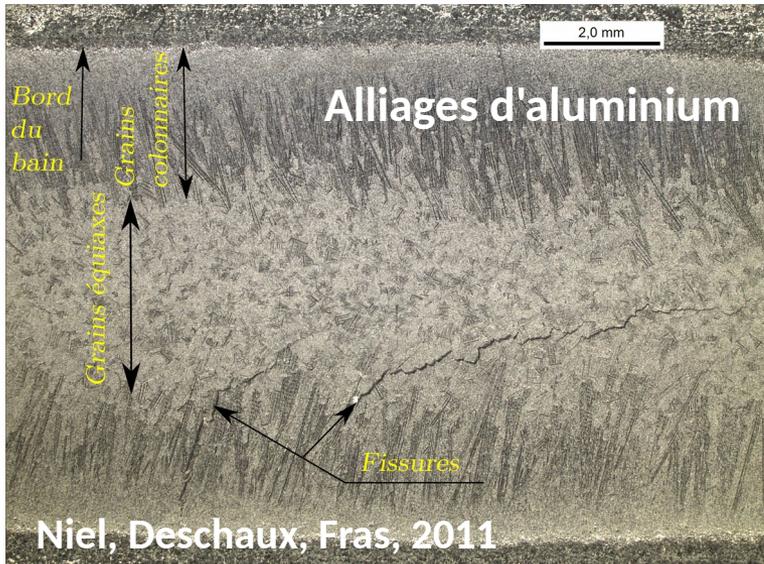


Prédiction de microstructure et Fissuration à chaud en soudage

A.Chiocca, A.Niel, V.Villaret, F.Soulié, F.Deschaux-Beaume,
C.Bordreuil

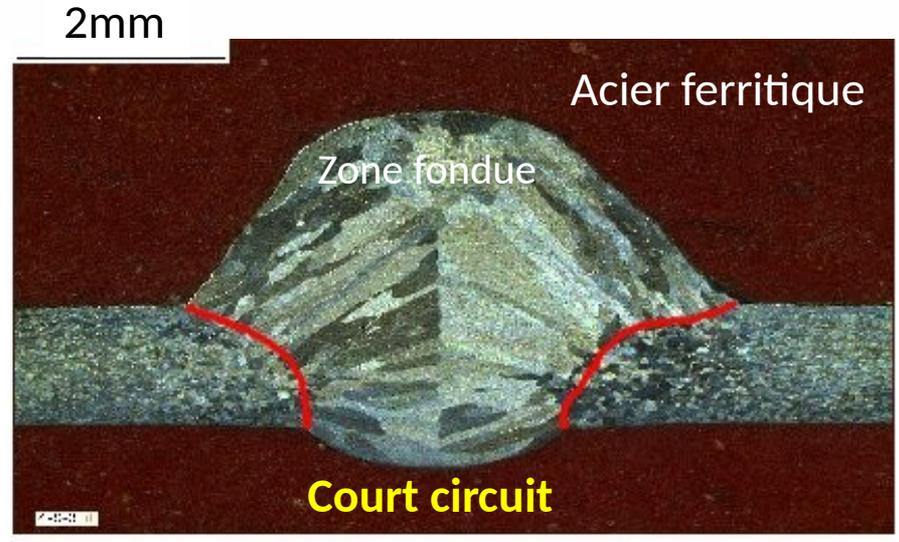
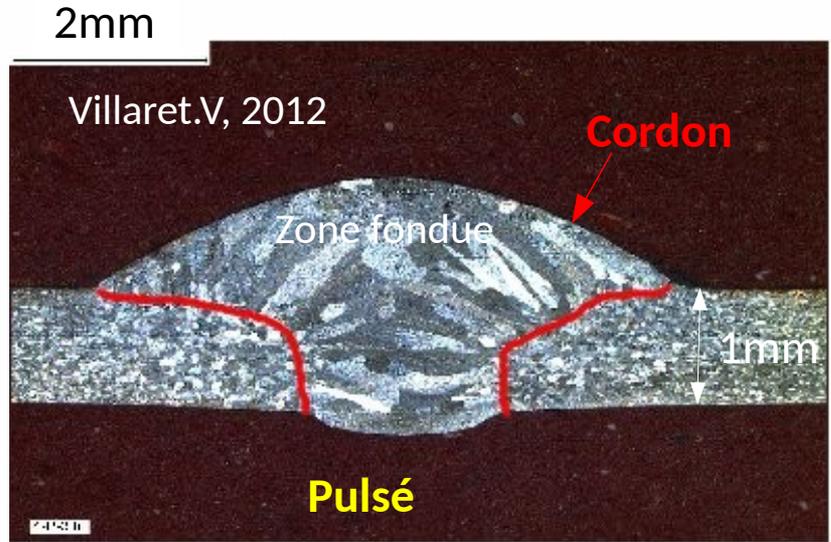
Université de Montpellier

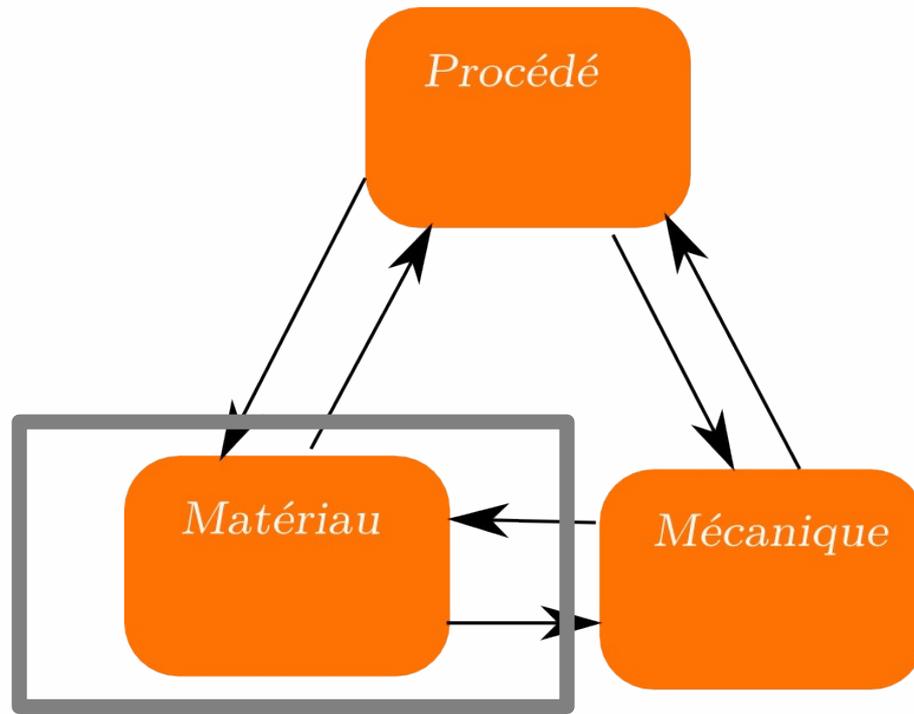
Joint soudé et microstructures



La morphologie de la Microstructure influe sur :

- Intégrité (fissuration)
- Tenue mécanique (comportement)





Intégrité des structures

1. Observation des phénomènes et des conditions de solidification (CuNi)
2. Prédiction de la morphologie (CuNi) :
Couplage simulation thermique du procédé – Automate Cellulaire
3. Etude de la fissuration à chaud d'un alliage d'aluminium:
Modélisation du réseau de joints intergranulaires au cours de la solidification – couplage simulation mécanique du procédé

1. Observation de la solidification (A.Chiocca):

Particularités expérimentales :

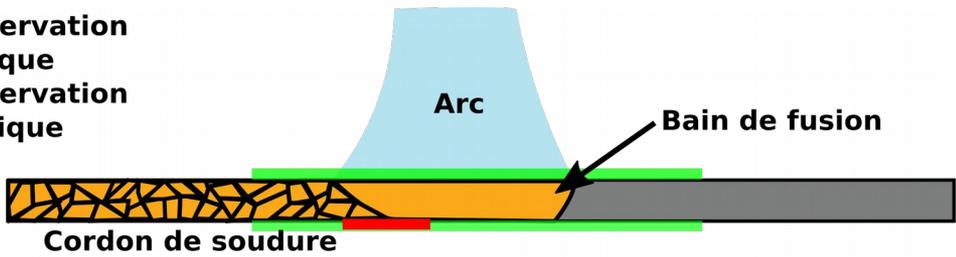
- Alliage binaire Cu30Ni
- Ligne de fusion (v soud)

Objectifs :

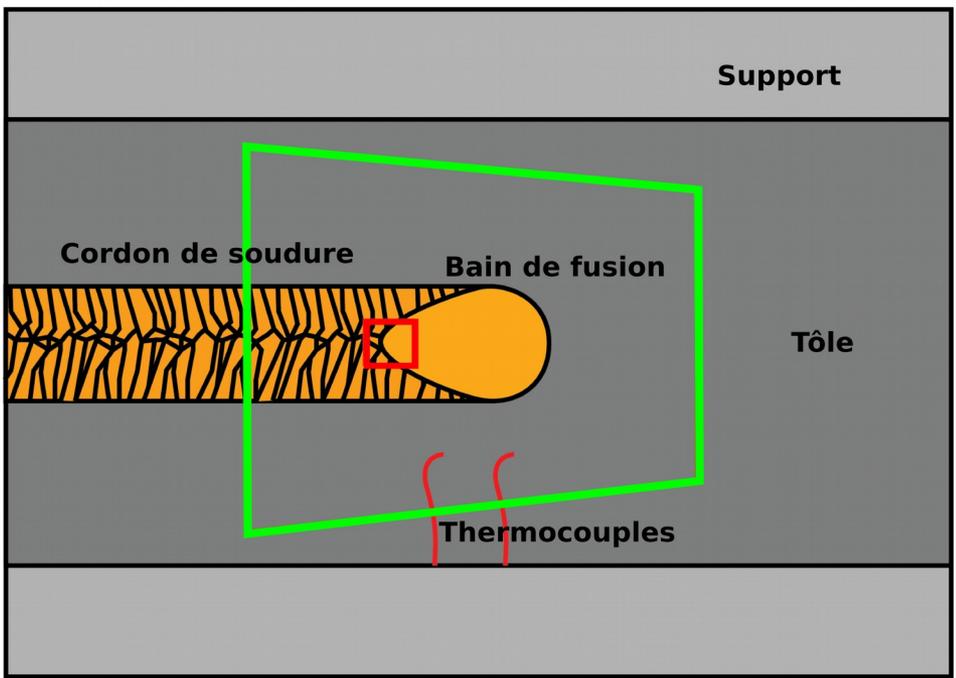
- Morphologie de l'interface (micro- macro)
- Description des phénomènes de solidification

-  Zone d'observation microscopique
-  Zone d'observation macroscopique

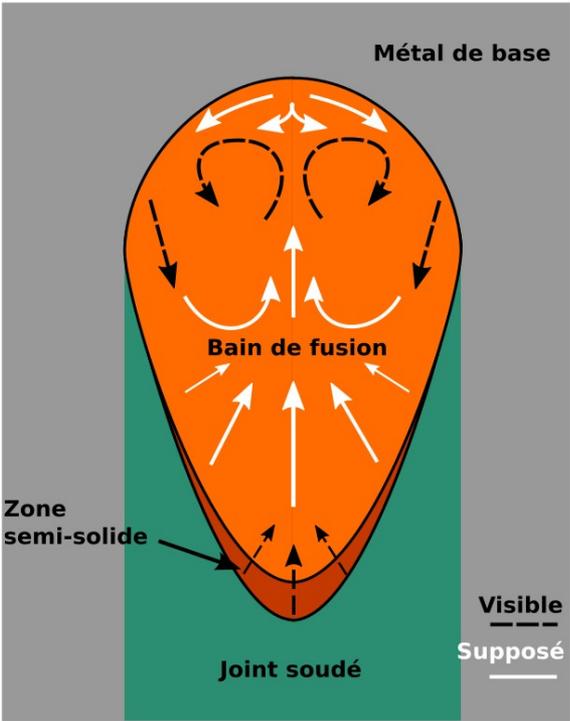
Vue en coupe longitudinale



Vue de dessous

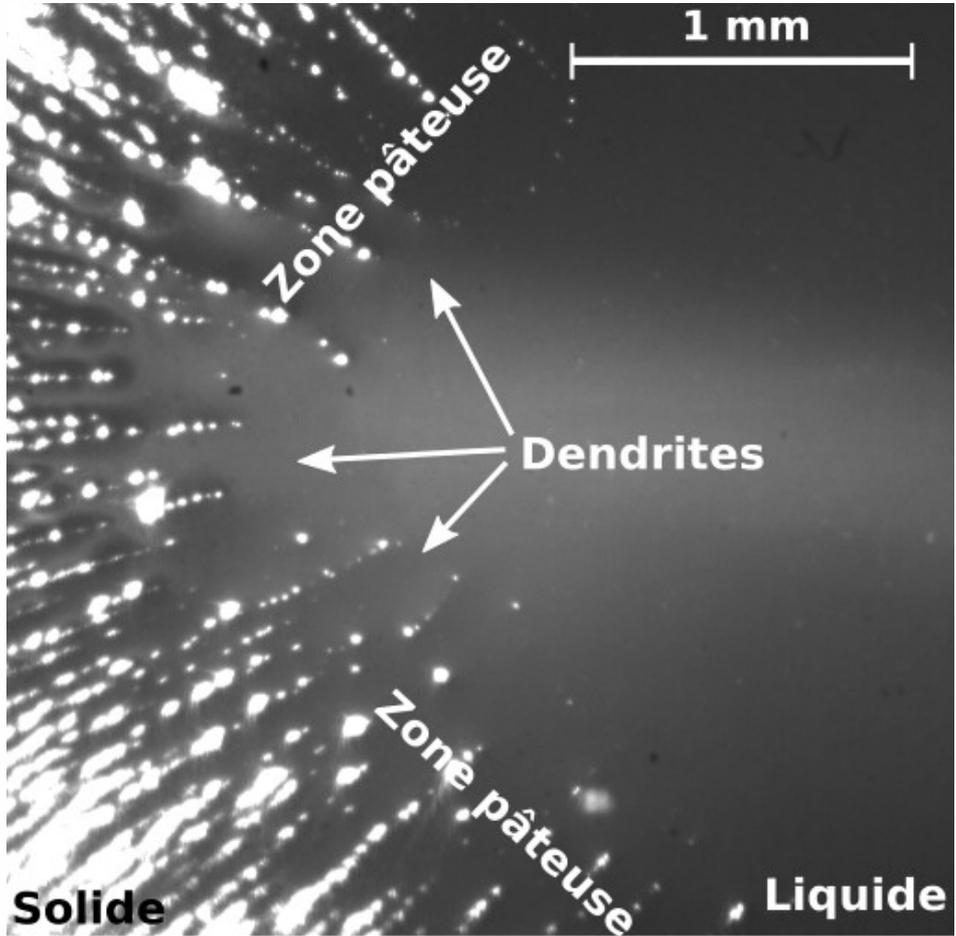


1. Observation du bain liquide



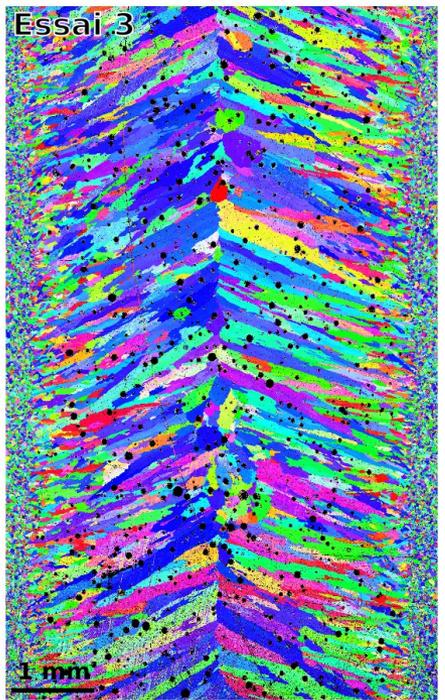
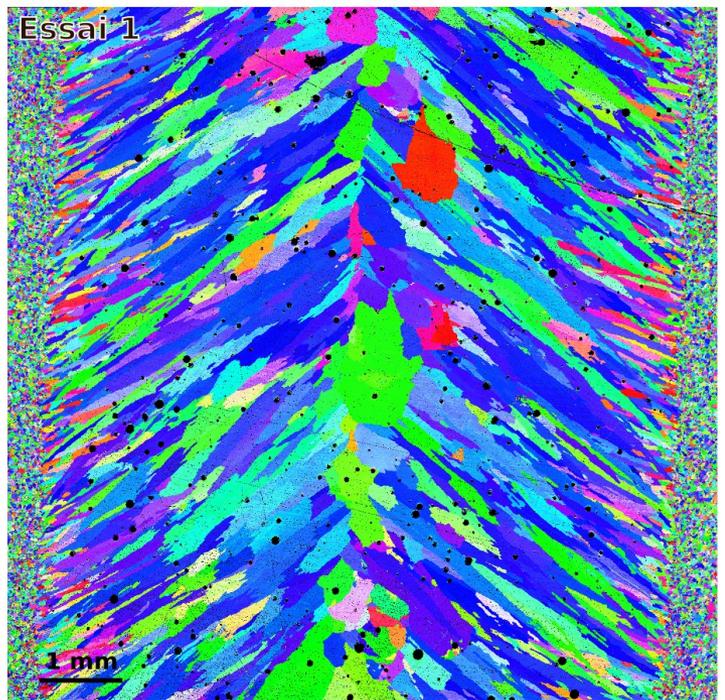
- Mouvements importants dans le bain liquide
- Conditions de solidification non-homogènes le long de l'interface et dépendantes des paramètres procédés.

1. Observation de la morphologie de l'interface



- Croissance dendritique
- Ecoulement interdendritique

1. Relation paramètres procédé – Morphologie :



↑
Direction de soudage : y

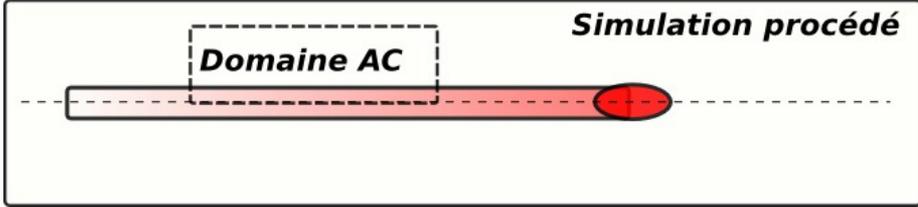
Cu30Ni, I=80A, U=10V, v=, E=300J/mm

Cu30Ni, I=80A, U=10V, v=, E=210J/mm

Paramètres procédés → Echanges thermiques → Microstructures

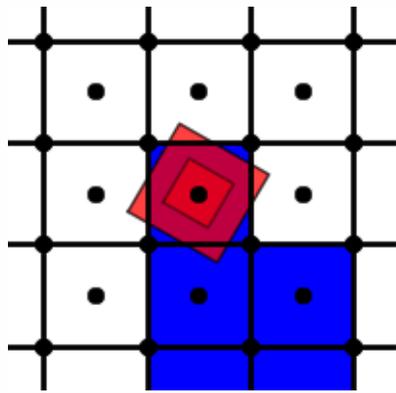
2. Modélisation de la solidification

- Champ de température → Simulation thermique du procédé (paramètres)
- Evolution de la structure de grain → Automate Cellulaire



Automate Cellulaire (Gandin-Rappaz, Chen-Guillemot-Gandin, Carrozani) :

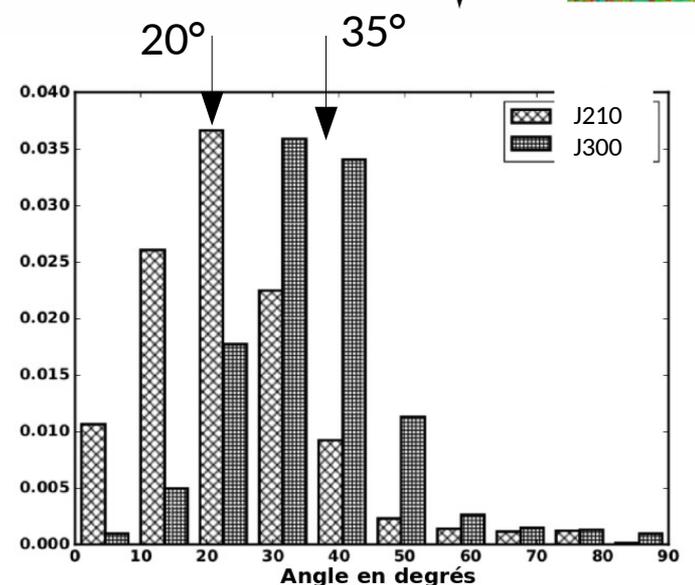
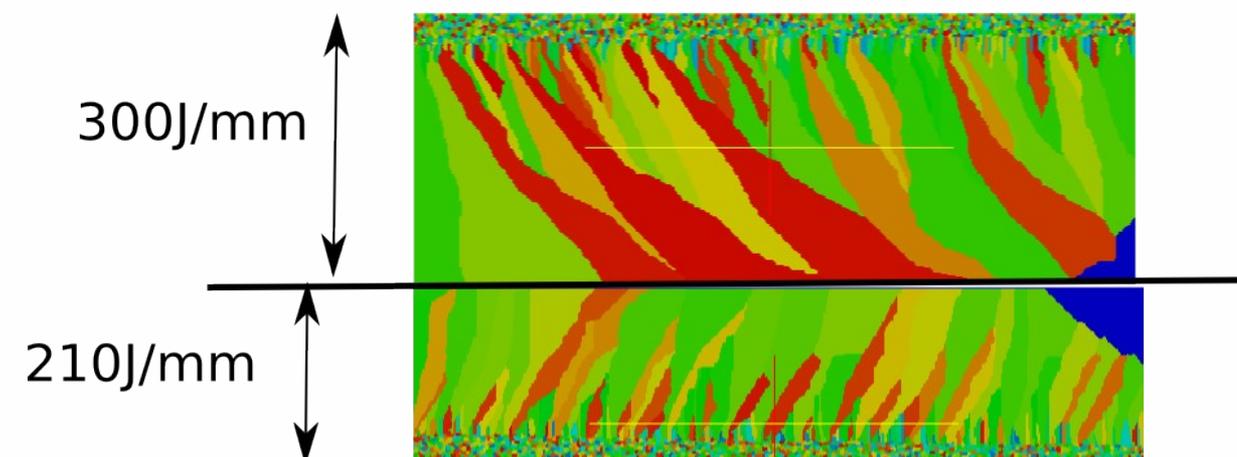
- Définition de la zone liquide
- Croissance de dendrites en fonction de « undercooling ».
- Compétition en fonction de l'orientation
- Taille de grille .vs. Domaine .vs. Taille de grain
- Pas de couplage avec le champ thermique



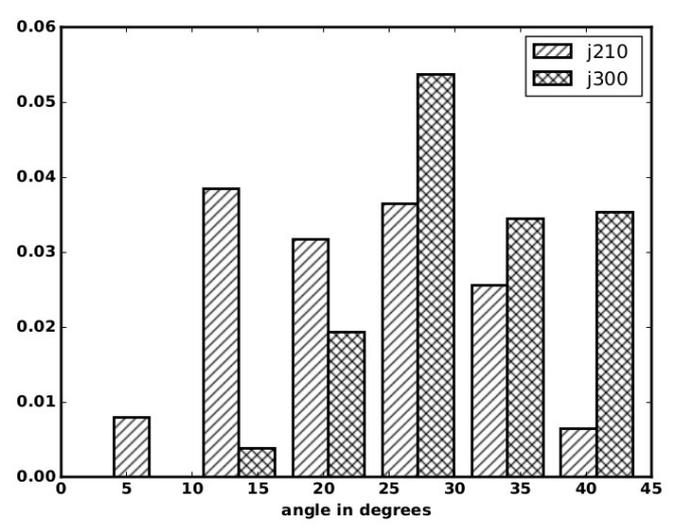
Evolution de la microstructure pilotée par :

- Croissance dendritique en solidification semi-rapide:
 - Influence des écoulements modification de la loi de croissance
- *Nucléation* : type de mécanismes (inoculants, arrachement bras dendrites,...)

2. Comparaison Essais - Modélisation



Orientations des grains basés sur les mesures EBSD



Orientations des grains prédits par modèle CAFE



2. Prédiction de microstructure en soudage

Observations

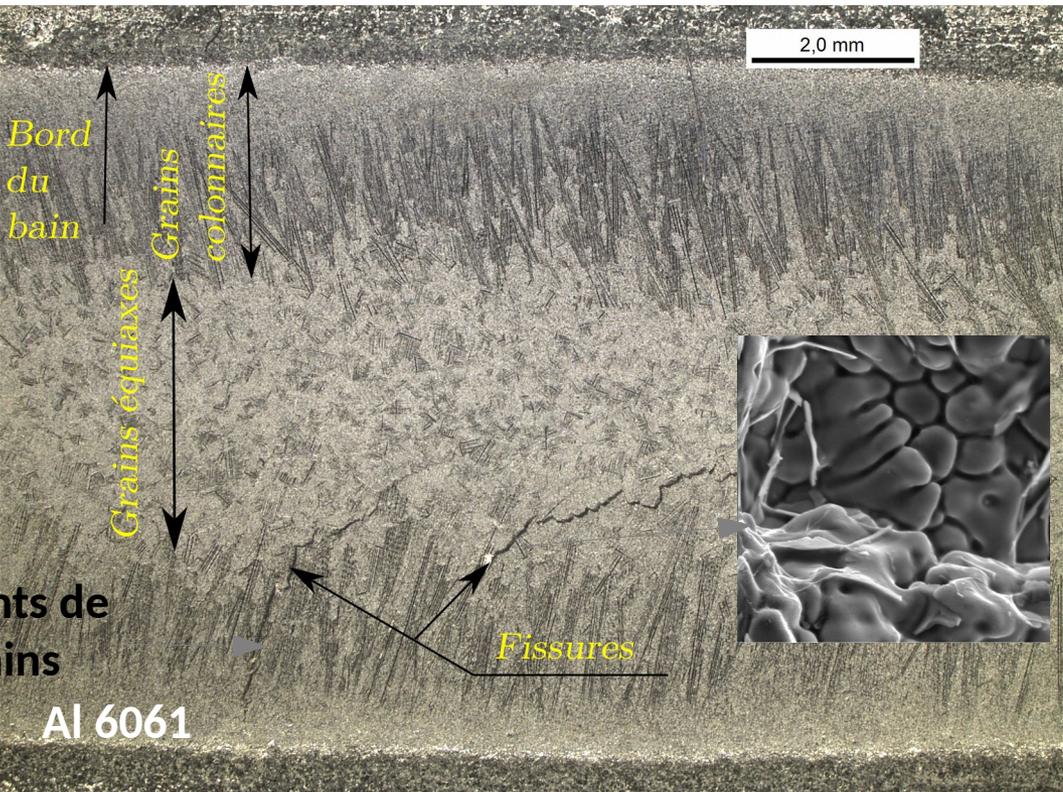
Les échanges sont complexes : échanges thermiques, vitesses d'écoulement, Écoulement interdendritiques, tridimensionnel.

Mécanismes de solidification : croissance cristalline – germination (arrangement de bras de dendrites, inoculants,..)

Modélisation :

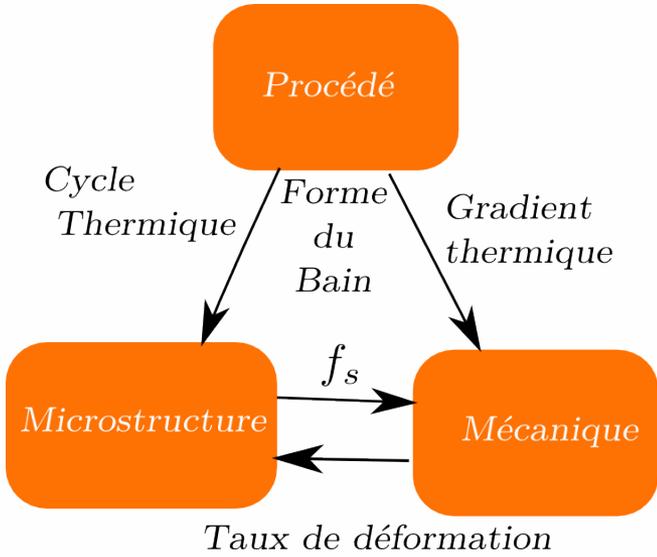
- Transferts thermiques en mode conductif
- Automate cellulaire avec croissance dendritique adaptée en fonction des écoulements

3. Fissuration à chaud

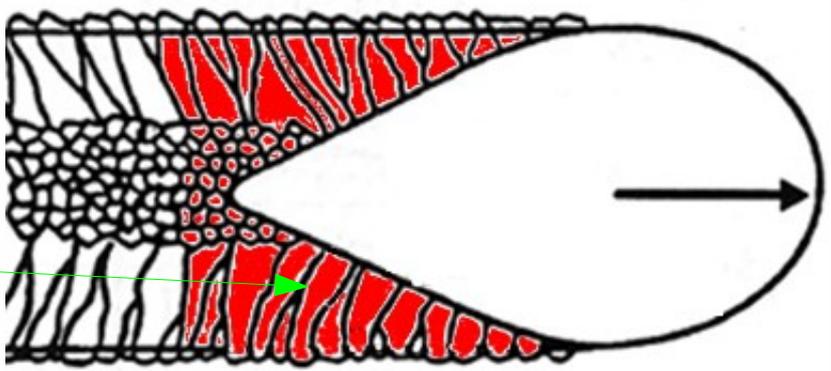


Apparition de fissuration à chaud pour du 6061:

- Paramètres procédés (Vsoudage, I), bridage extérieur

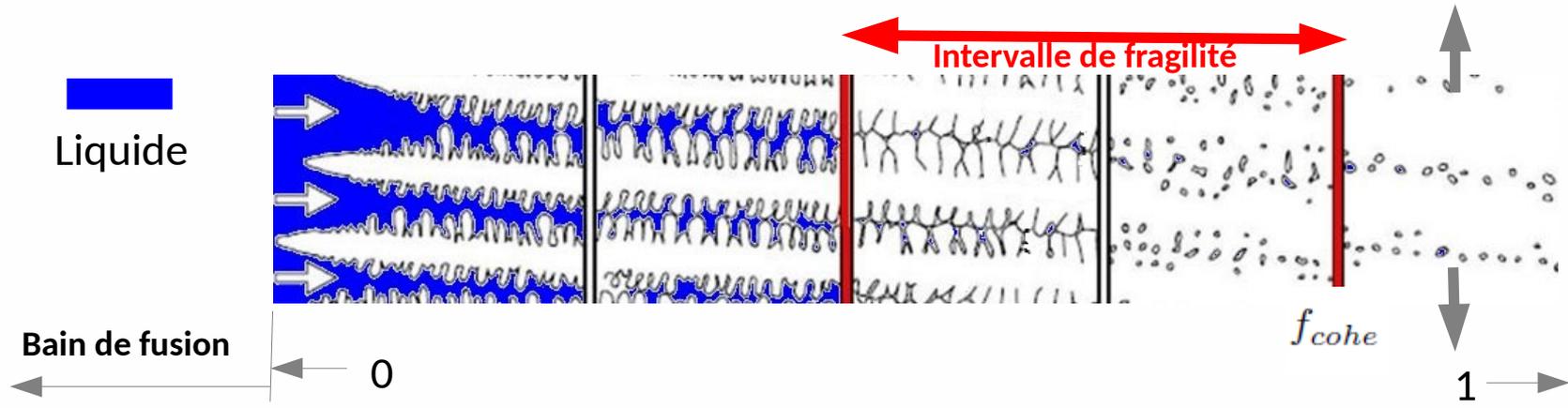


Initiation en fin De solidification



Fissuration intergranulaire Dans une zone en cours de solidification

Fissuration à chaud : Phénoménologie et Modélisation



Écoulement le long des joints de grains *Rappaz - Drezet - Gremaud, Met.Trans 1999:*

Microstructure

Solidification

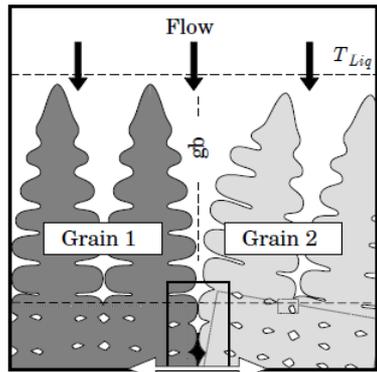
$$\frac{d}{d\eta} \left(\frac{K}{\mu} \frac{dp}{d\eta} \right) = \beta \frac{df_s}{dT} \dot{T} + (1 + \beta) f_s \dot{\varepsilon}_{p\perp}$$

Niel et al, STWJ 2012

Film Fluide

Chargement mécanique

Coalescence de films liquides aux joints de grains:



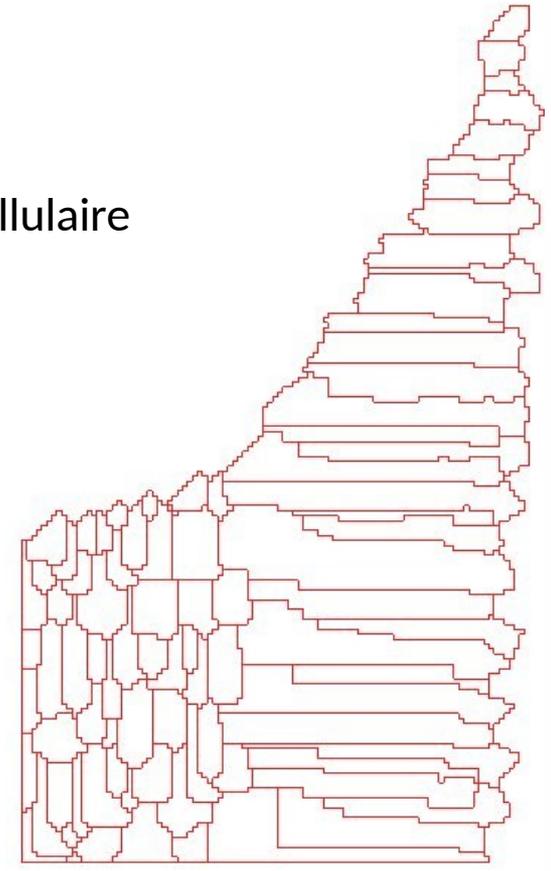
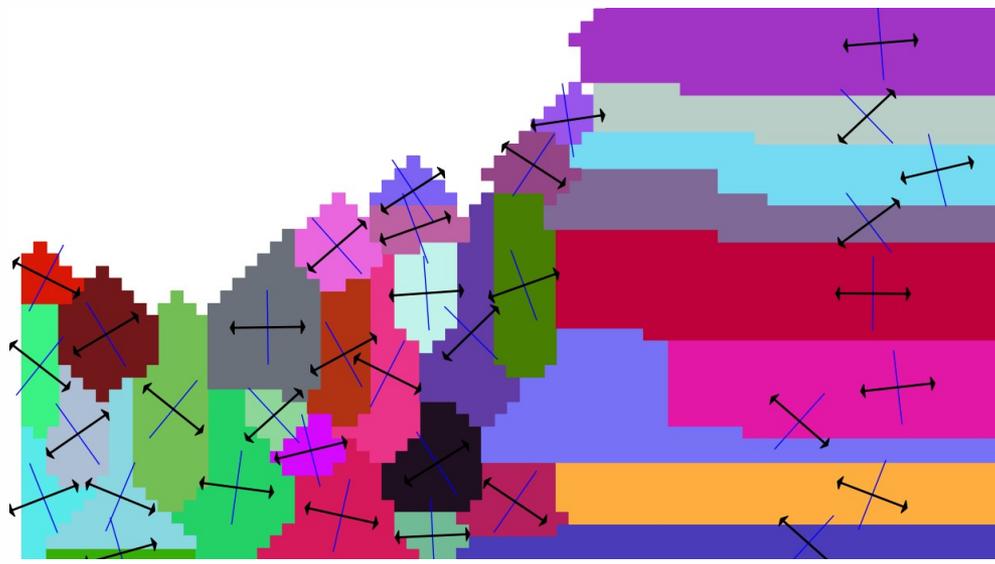
Dantzig-Rappaz, 2009

$$\Delta T_{coal} = \frac{\gamma_{gb} - 2\gamma_{sl}}{\Delta S_f \delta}$$

Read-Shockley = $f(\theta)$

3. Fissuration à Chaud :

Microstructure en cours de solidification prédit par Automate Cellulaire

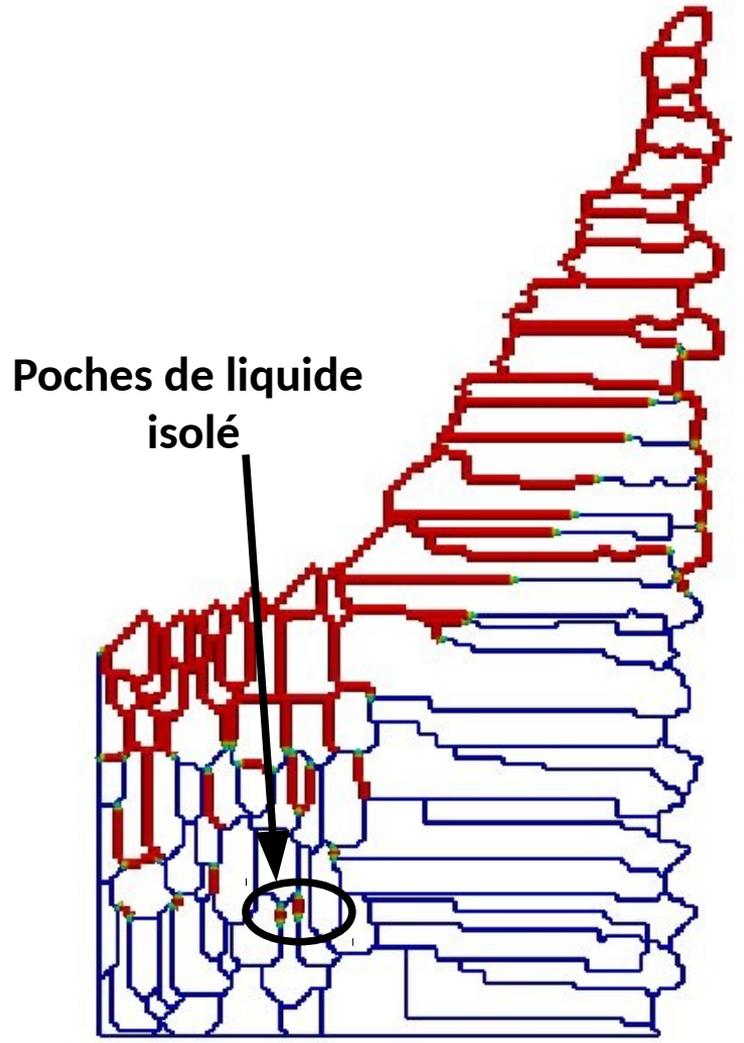


Réseau continu pour $f_{grain} < f_{cohe}$

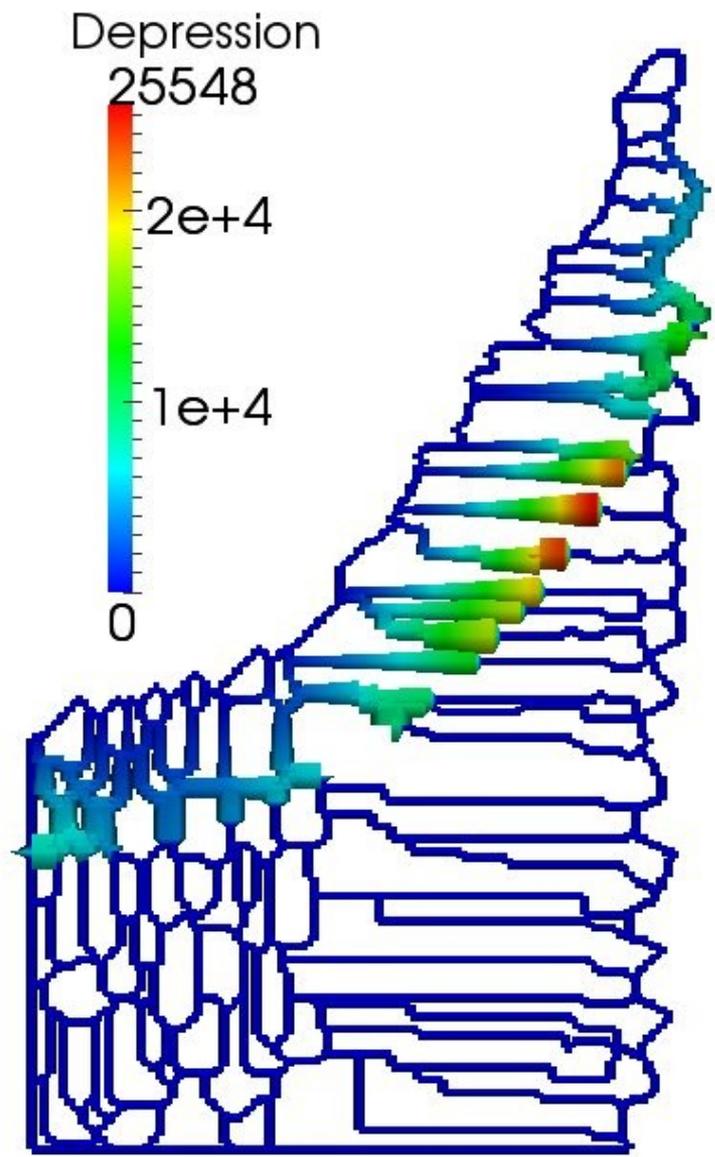
$$\int_0^L [\mathbf{N}]^T \frac{d}{d\eta} \left(\frac{K}{\mu} \frac{dp}{d\eta} \right) d\eta = \int_0^L [\mathbf{N}]^T \left(\beta \frac{df_s}{dT} \dot{T} + (1 + \beta) f_s \dot{\varepsilon}_{p\perp} \right) d\eta$$

Macroscopique : **Thermique** **Mécanique**

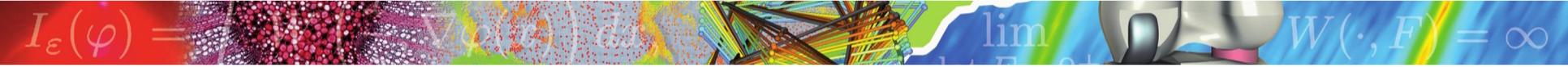
3. Risques de fissuration :



Prise en compte de la coalescence



Dépression dans le réseau continu de films liquides



Conclusions

Correspondance entre les résultats de la simulation et les observations réalisées sur un Alliage binaire.

Possibilité d'extraire des informations importantes des simulations permettant de prédire La structure de grain.

Développement d'un modèle permettant de prédire la fissuration à chaud intergranulaire

Perspectives

Prendre en compte les effets tridimensionnels – développements d'une interaction entre Le fluide et la structure en cours de solidification (Croissance - Nucléation)

Développement d'un modèle permettant de prédire la fissuration à chaud intragranulaire