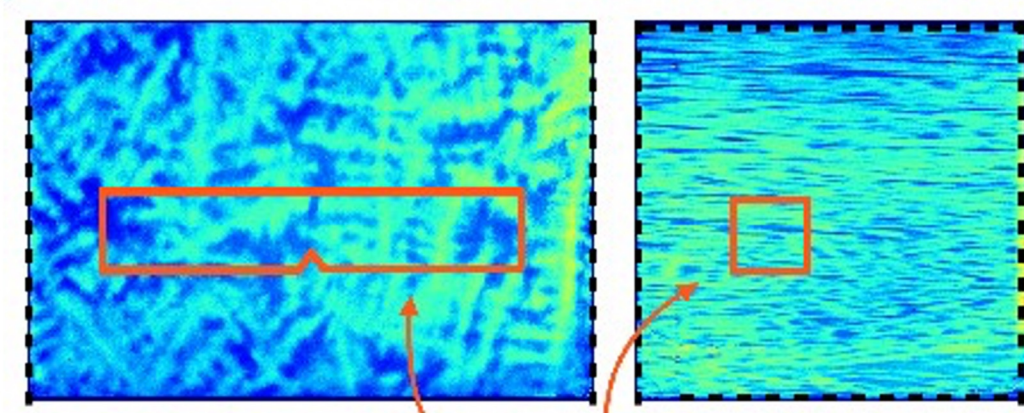


Dispersion des propriétés à rupture des aciers pour gros composants forgés

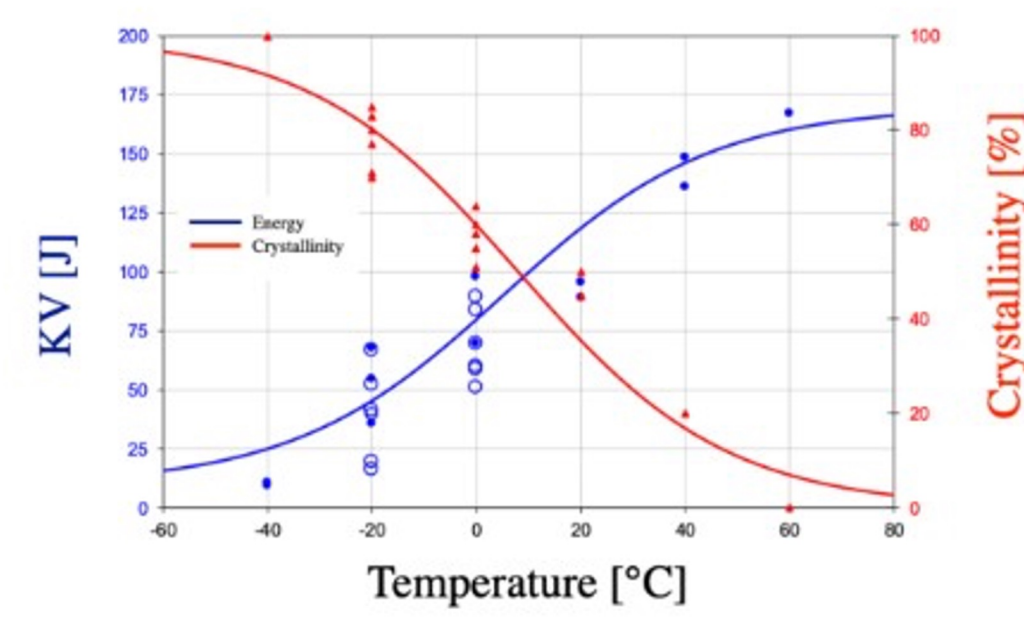
- Contexte: essais de résilience très dispersifs dans les pièces en acier forgées de grande taille
→ "points bas" en résilience
- Problématique: comment la dispersion est-elle liée aux ségrégations en éléments d'alliage observées sur ces Matériaux ?



Éprouvettes Charpy



Méso-ségrégations révélées par attaque chimique au Nital en surface

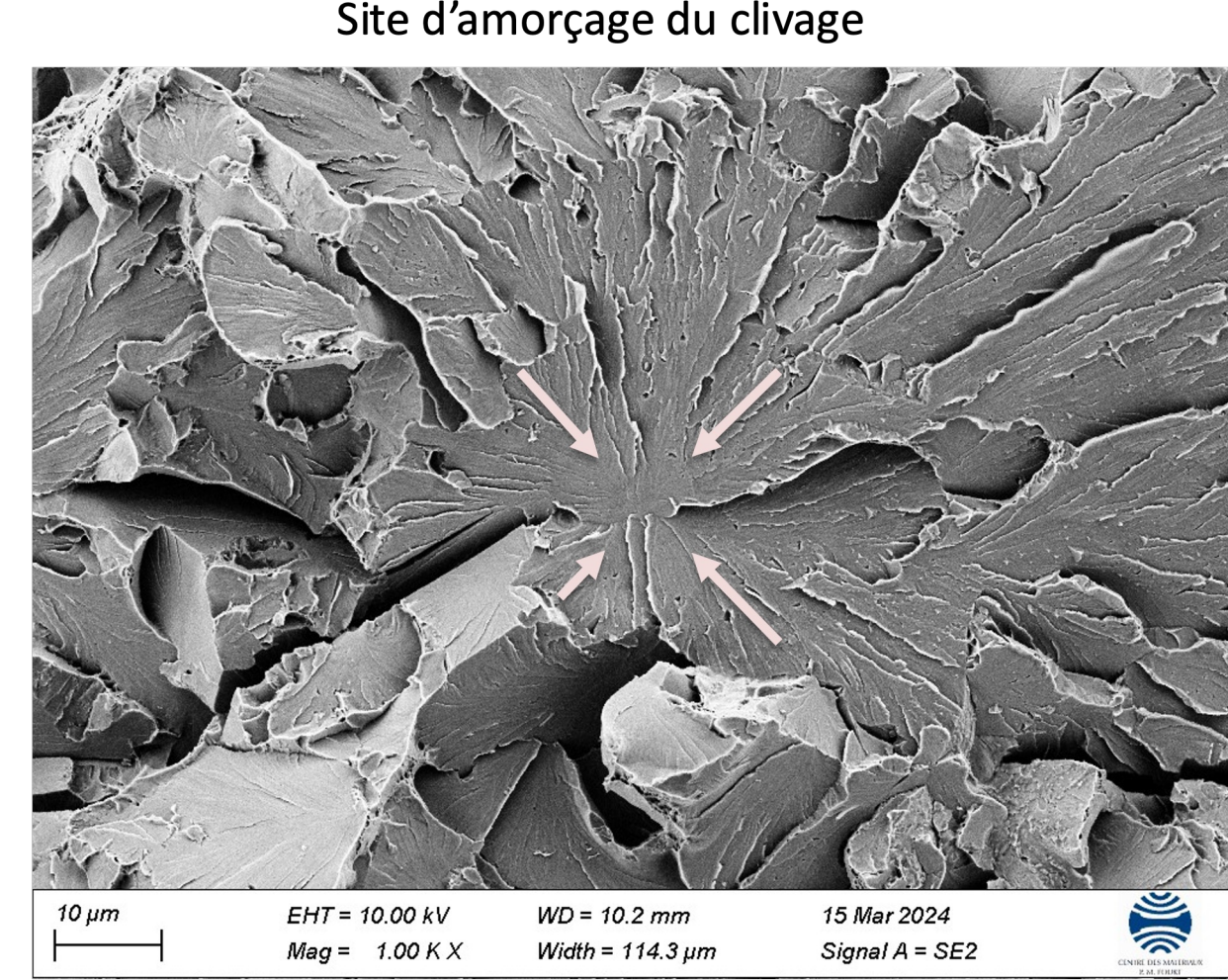


Résultats d'essais de résilience

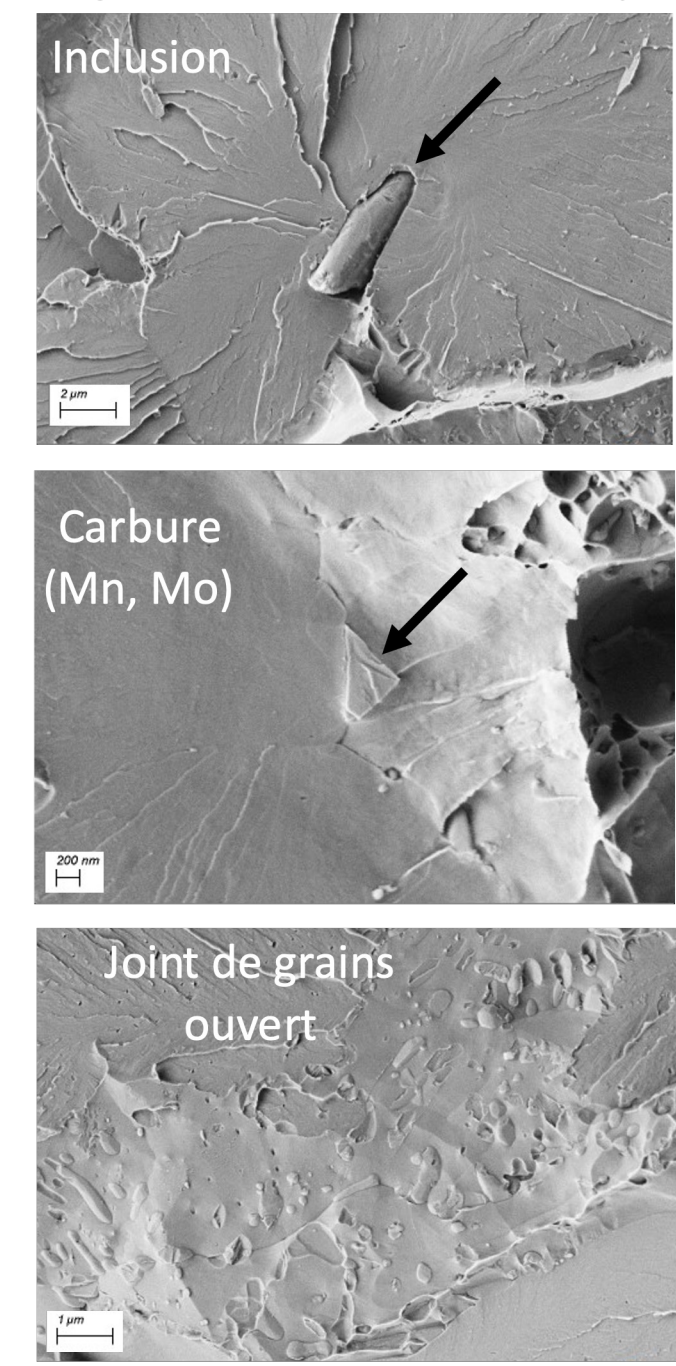
Nature du site d'amorçage de la rupture fragile

Typologie des sites d'amorçage du clivage, déterminée par fractographie couplée à l'analyse chimique locale

- Sites majoritaires : carbures aux joints
- Autres sites : inclusions ; rarement : décohesion à un joint de grains



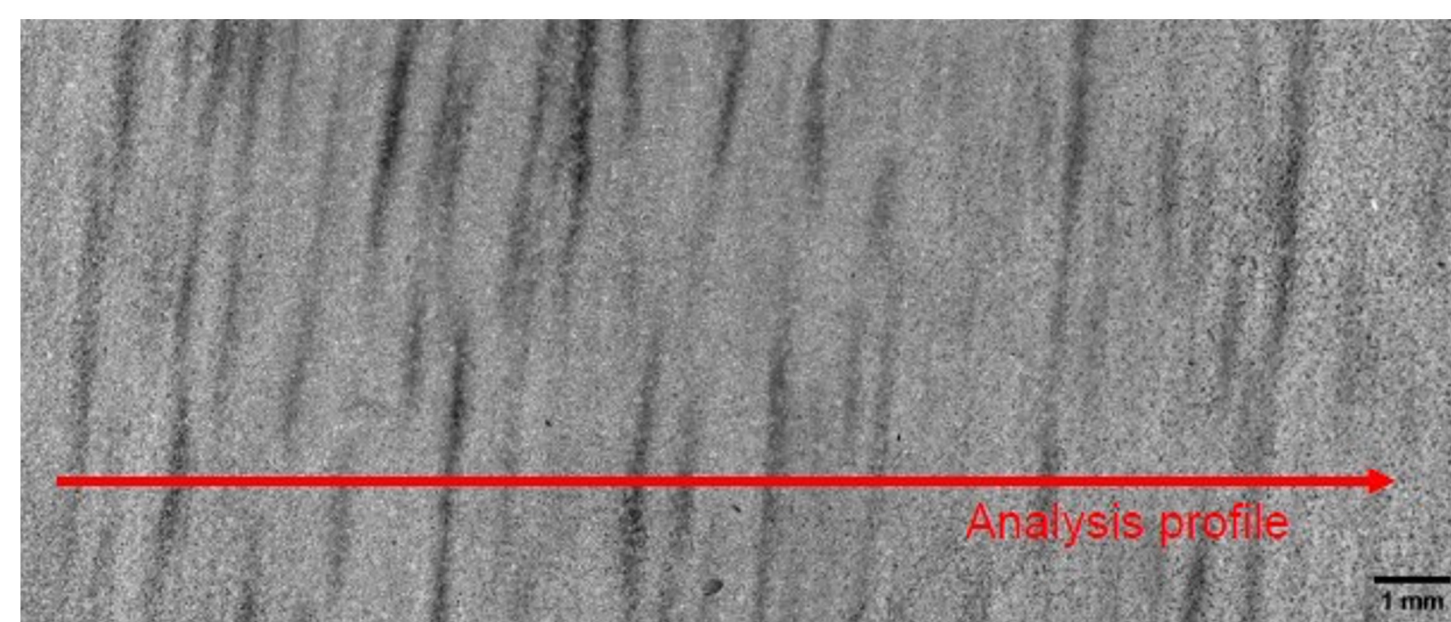
R. Weisbecker et coll., EMMC19, 2024



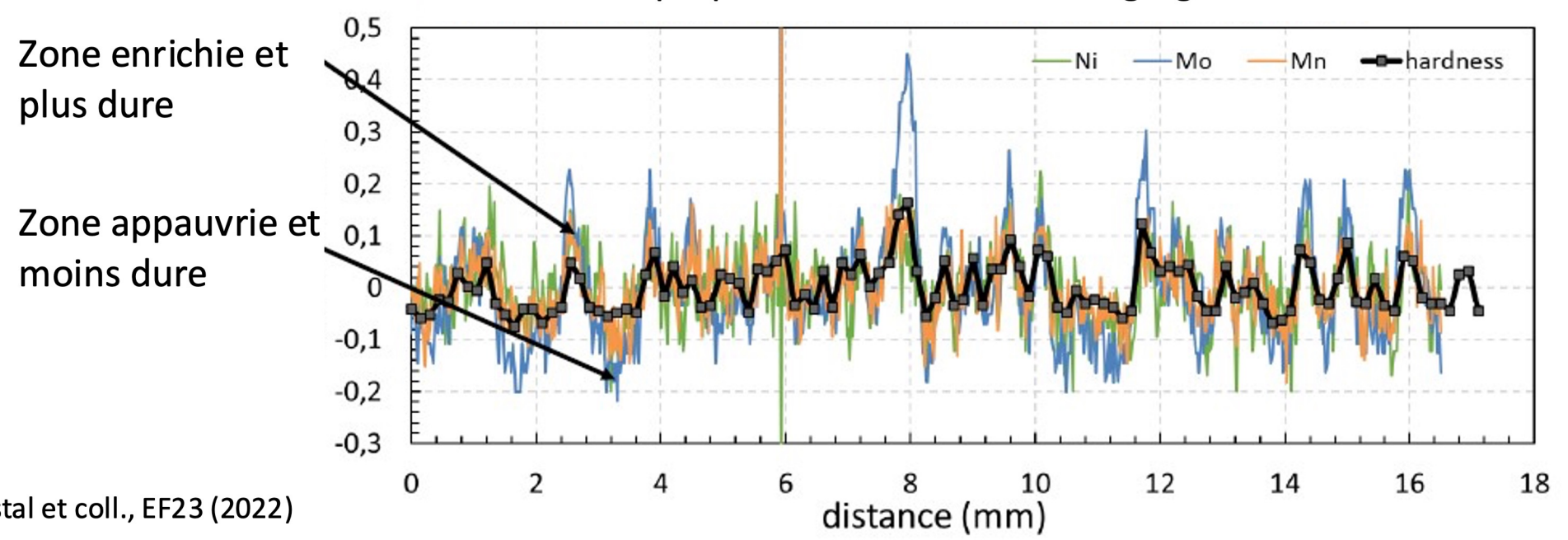
Correspondance microstructure – composition – dureté

Reconnaître les ségrégations ?

- Méthode 1 : microscopie optique après attaque métallographique (niveaux de gris)
- Méthode 2 : mesure de la composition chimique : Ni, Mo, Mn
- Méthode 3 : mesures de microdureté



Profil de composition chimique et de microdureté (HV_{0.2}) perpendiculairement aux ségrégations



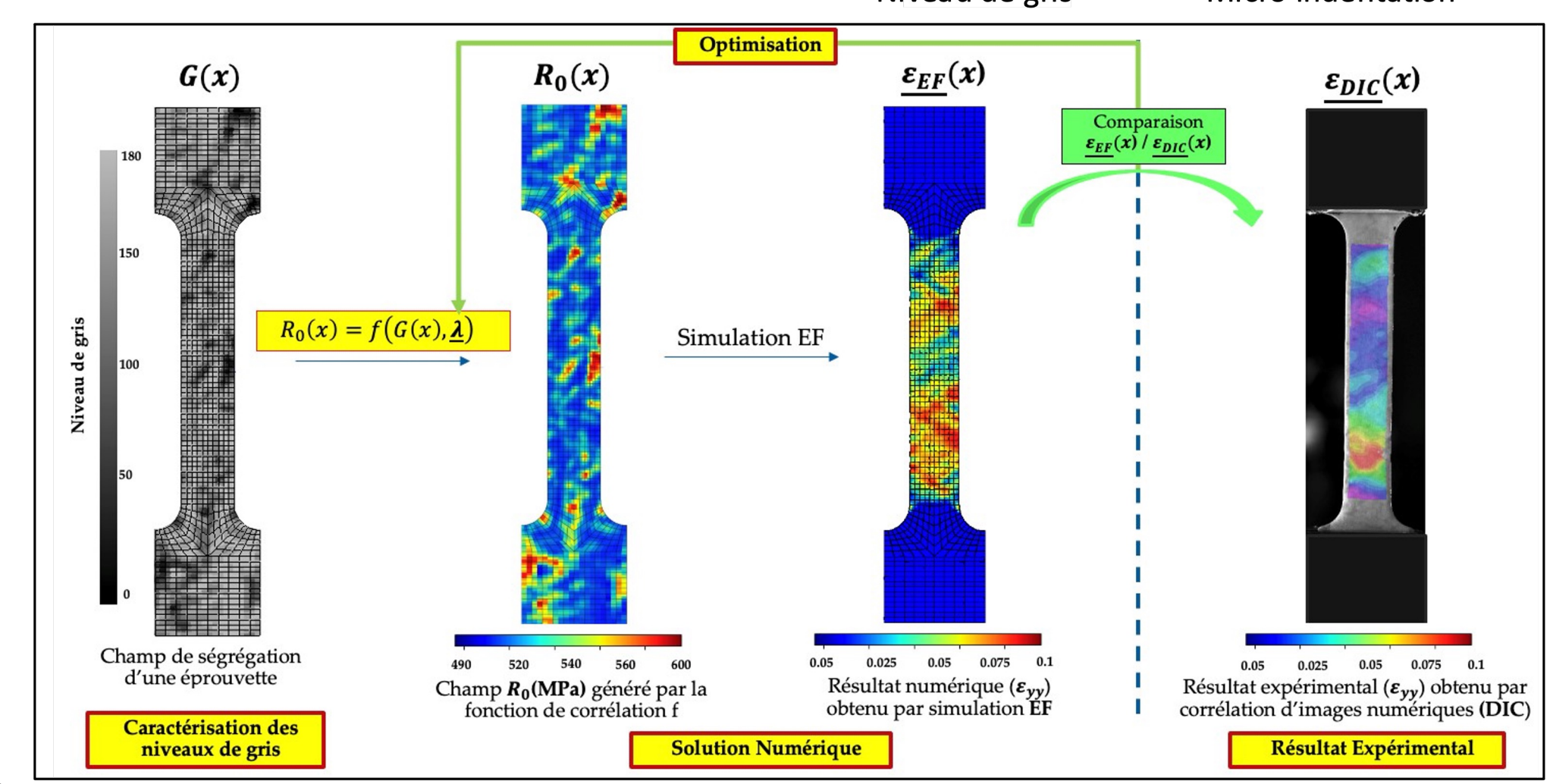
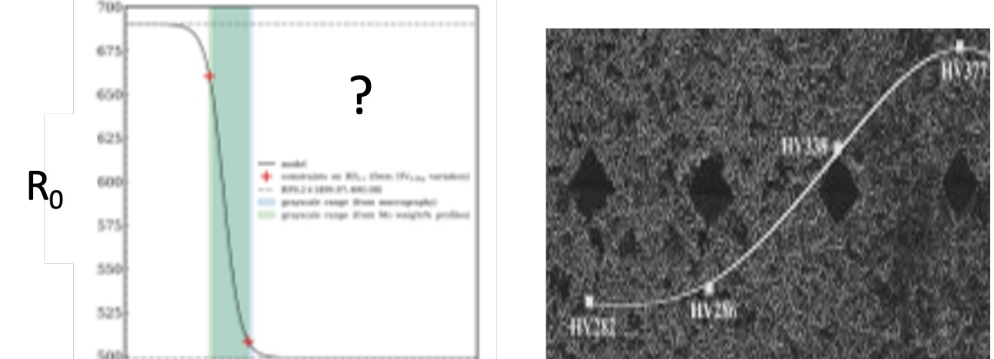
A. Christal et coll., EF23 (2022)

Approche non-standard pour caractériser les ségrégations

Limite d'élasticité R_0 comme fonction du niveau de ségrégation ?

- Méthode 1 : micro-indentation
- Méthode 2 : approche inverse en utilisant les mesures de champs

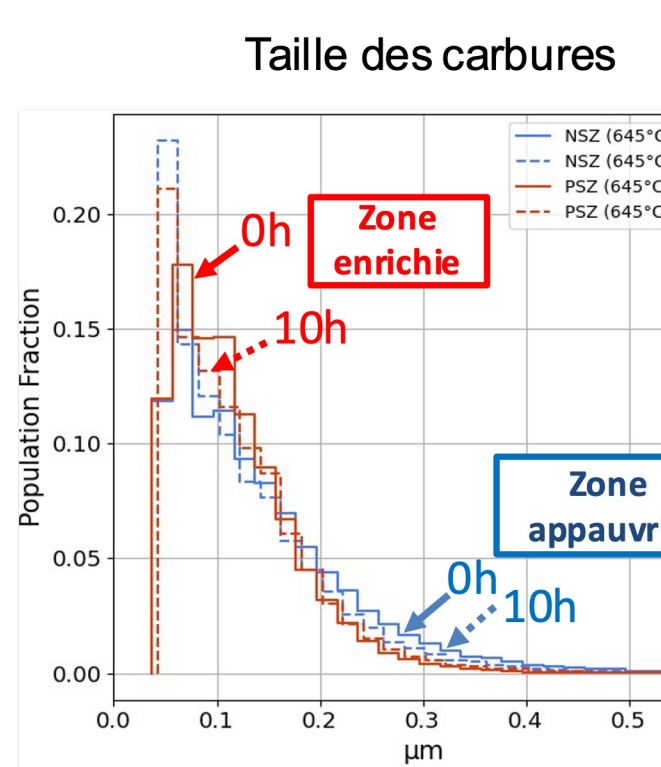
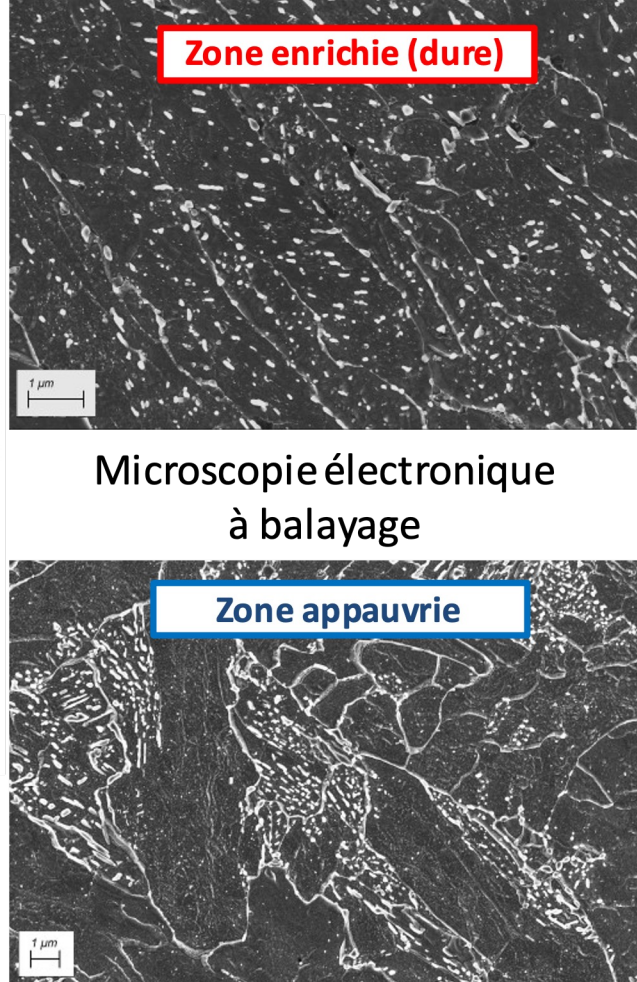
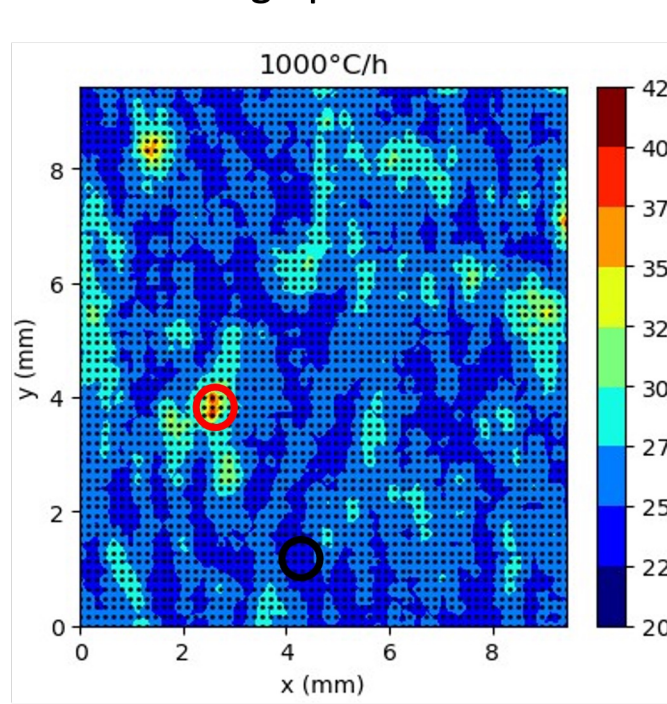
[Travaux de maîtrise DMS de J. Richard]



Quantification des populations de carbures

Traitements thermiques en laboratoire, permettant l'analyse de l'évolution de la microstructure lors du traitement thermique de la pièce
Revenu à 645 °C : arrêt après 0h et 10h

Cartographie de dureté

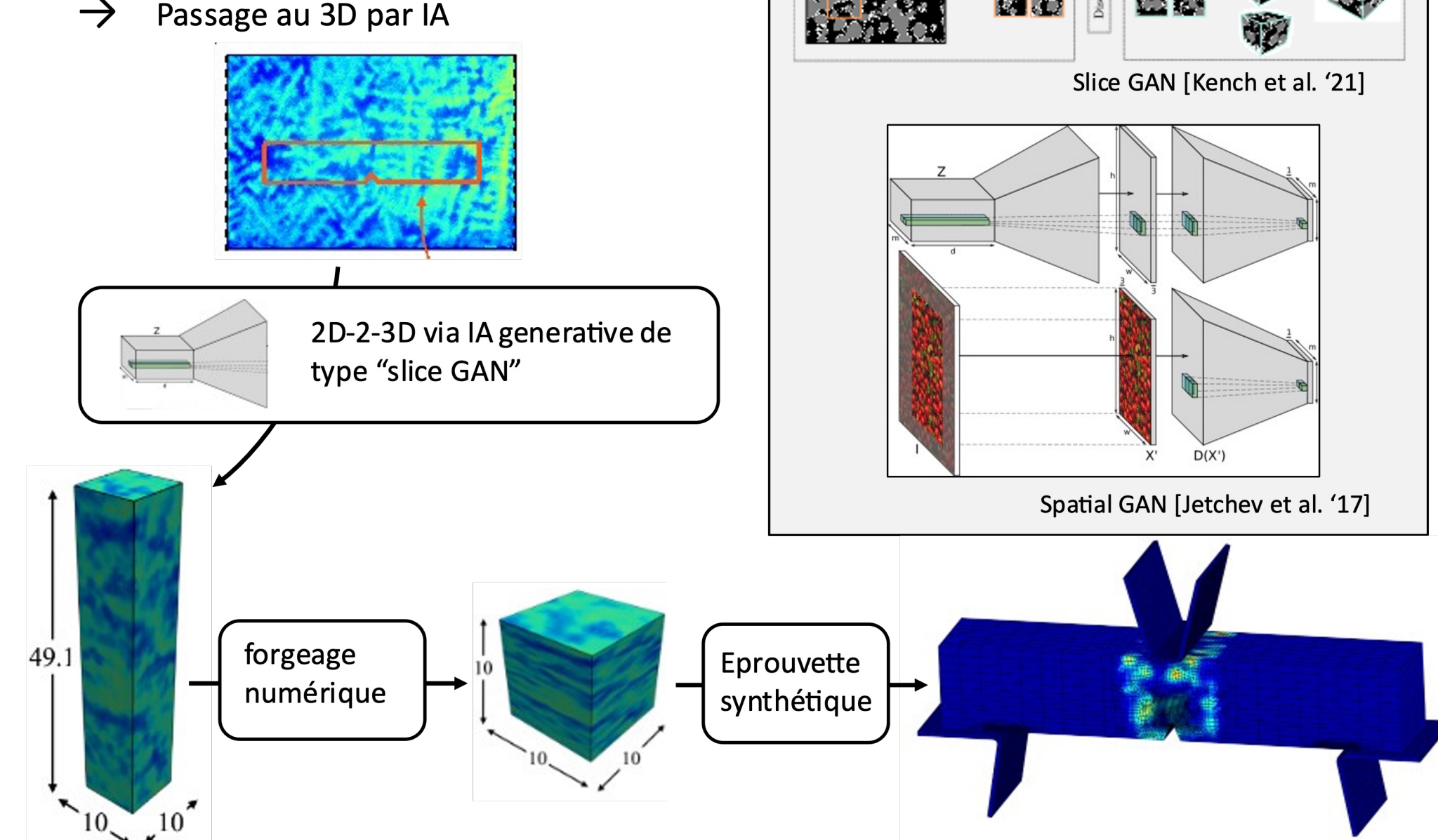


Taille moyenne des carbures : 120-140 nm, pas d'effet du temps de revenu entre 0h et 10h

R. Weisbecker et coll., EMMC19, 2024

IA générative pour la reconstruction 3D des ségrégations

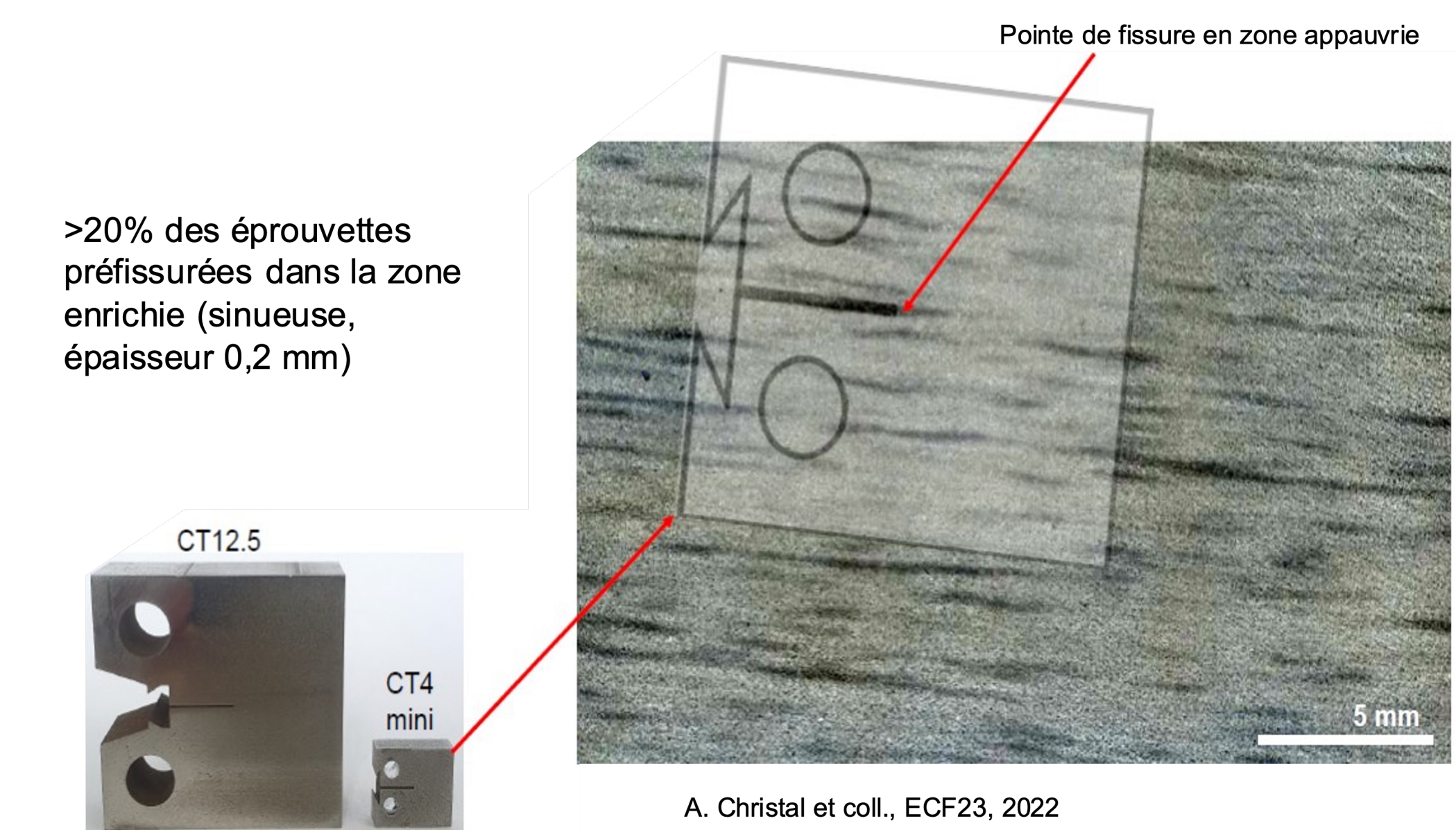
- Génération d'éprouvettes Charpy synthétiques pour essais virtuels
- Mais ségrégations observées en surface
→ Passage au 3D par IA



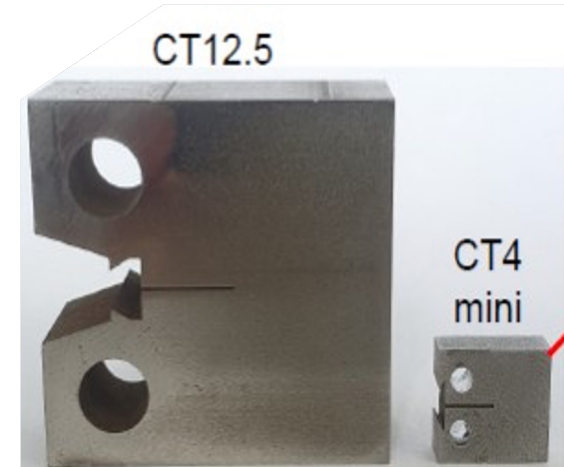
Approche non-standard pour caractériser les ségrégations

Écarts de ténacité entre zones ségrégées et zones appauvries ?

- Prélèvement d'éprouvettes ciblant l'un des deux types de zones
- Électroérosion, allers-retours entre métallographie et atelier du Centre des Matériaux



>20% des éprouvettes pré-fissurées dans la zone enrichie (sinueuse, épaisseur 0,2 mm)



A. Christal et coll., ECF23, 2022

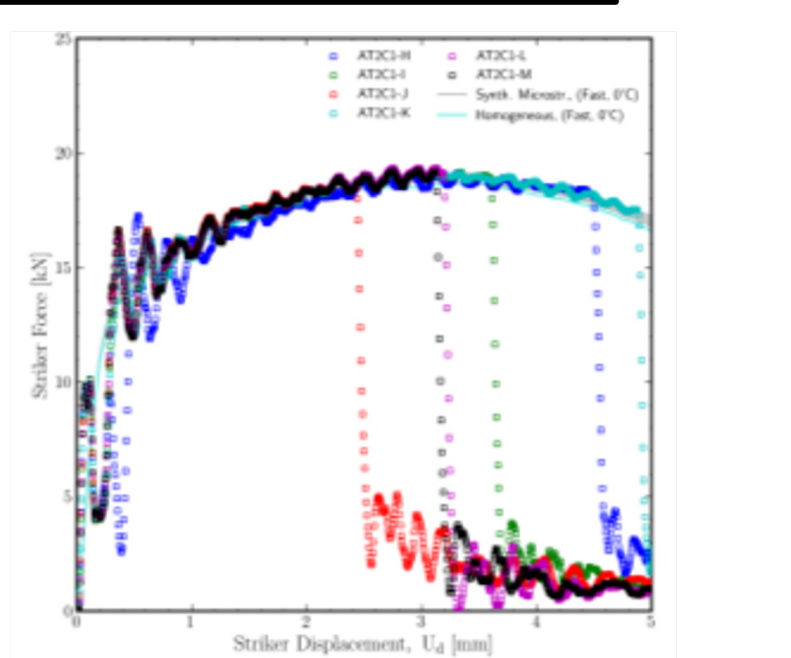
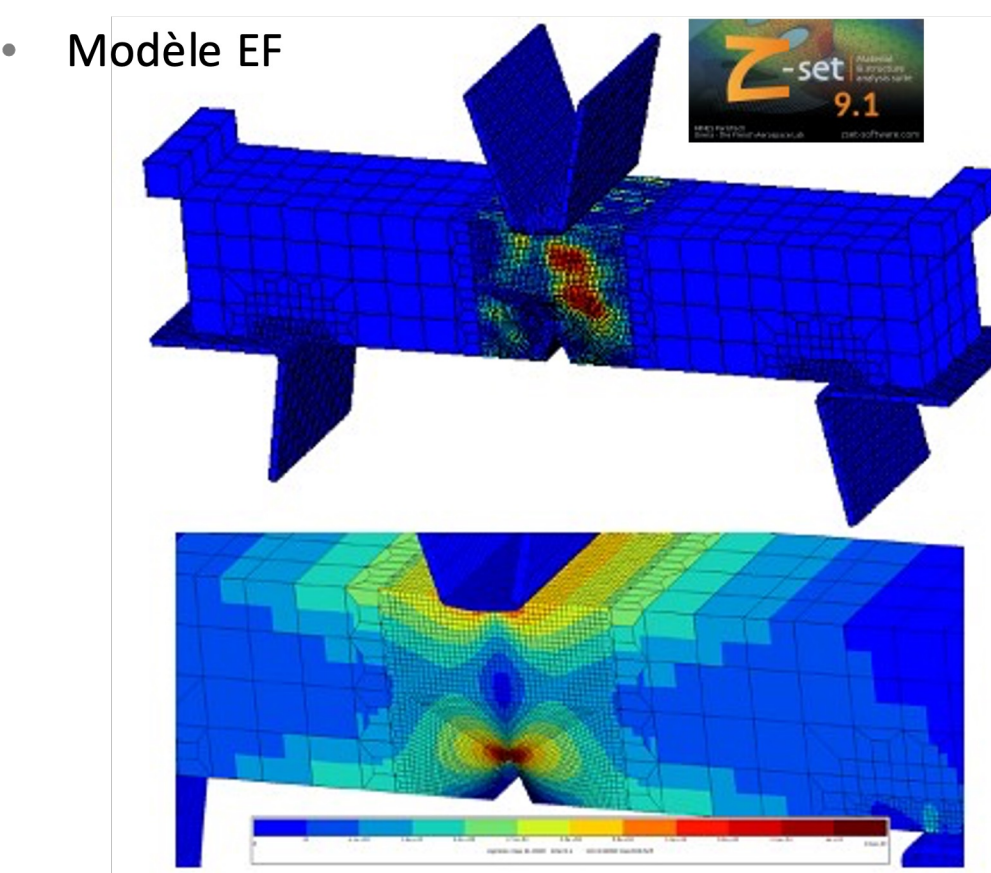
Jumeaux numériques pour les essais de résilience

- Comportement élasto-visco-plastique avec limite d'élasticité indexée sur le niveau de ségrégation [Besson et al. '10]

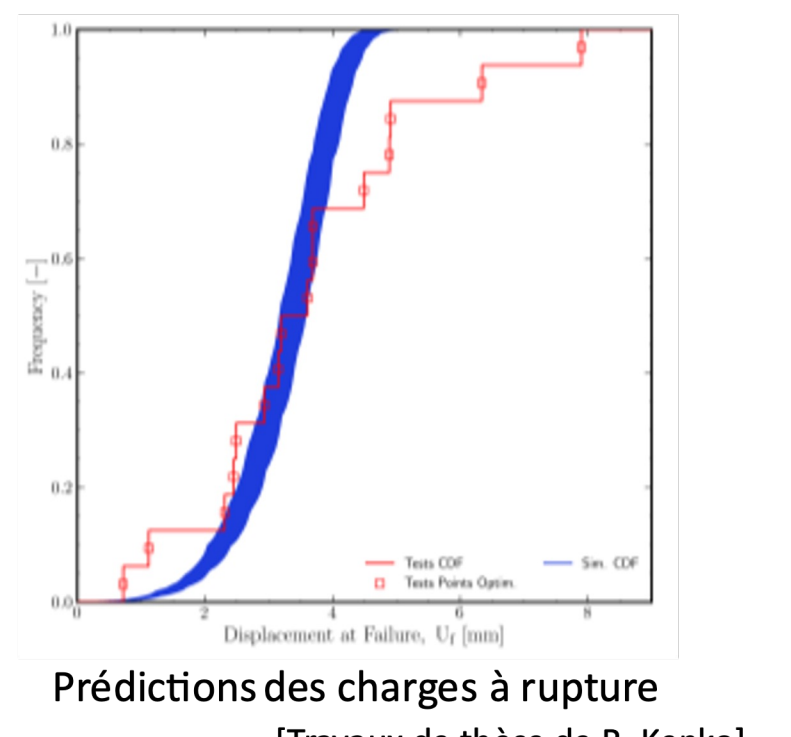
$$\mathcal{F}(\sigma, p, T) = (\sigma_{eq} - R_0(T) - Q_1[1 - \exp(-b_1 p)])$$

$$\text{with } (\sigma_{eq}) = \sqrt{\frac{3}{2}} \dot{\epsilon} : \dot{\epsilon} \text{ and } \dot{p} = \sqrt{\frac{2}{3}} \dot{\epsilon}_p : \dot{\epsilon}_p$$

- Modèle EF



Réponse expérimentale et numérique



Prédictions des charges à rupture [Travaux de thèse de R. Kenko]

Chercheurs permanents : Kais Ammar, Jacques Besson, Sylvain Dépinoy, Anne-Françoise Gourgues, Pierre Kerfriden

Élèves chercheurs (doctorants, mastériens DMS) : Emmanuelle Catel, Arthur Christal, Jean-Baptiste Delattre, Régis Kenko, Julie Papin, Julien Richard, Romain Weisbecker...