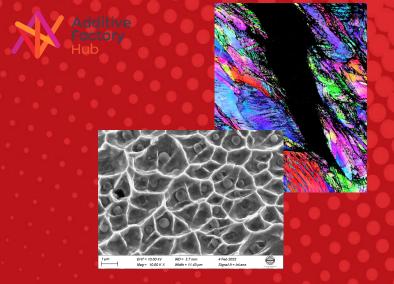


DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



# Comportement à rupture de l'acier 316L LPBF : corrélations résilience – ténacité

#### **Edouard de Sonis**

Encadrement : Pierre-François Giroux (CEA), Hicham Maskrot (CEA), Anne-Françoise Gourgues-Lorenzon (CdM), Sylvain Dépinoy (CdM), Flore Villaret (EDF)

#### OBJECTIF ET MÉTHODE



La résilience et la ténacité sont des propriétés mécaniques de premier ordre pour le dimensionnement de pièces dans l'industrie nucléaire.

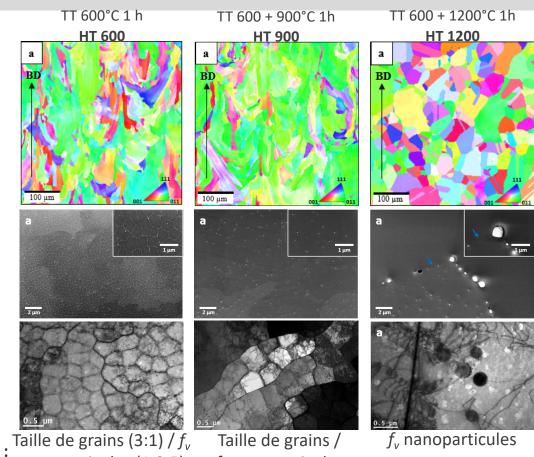
- Ces deux propriétés rendent-elles compte des mêmes phénomènes dans le cas de l'acier 316L LPBF ?
- Peut-on estimer l'une par l'autre (ténacité par résilience) ?

**Méthode** : Recherche de corrélations entre les valeurs et les mécanismes de déformation et de rupture obtenus avec différents aciers 316L LPBF, et après différents traitements thermiques.

- → Deux aciers (A et B),
- → Trois traitements thermiques.



#### ÉTATS MICROSTRUCTURAUX TESTÉS LORS DES ESSAIS DE RÉSILIENCE



Acier A

Différences A / B: nanoparticules (1:2,5)

 $f_{\nu}$  nanoparticules

#### **ESSAIS MÉCANIQUES**



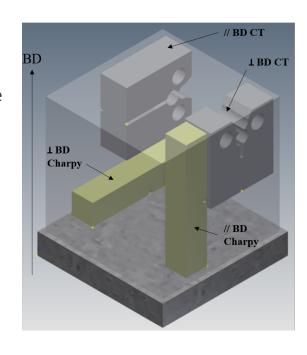
#### Essais :

**Résilience** : choc Charpy / **Ténacité** : déchirure ductile

- 2 directions de sollicitation : // BD et ⊥ BD,
- 3 / 2 essais par condition,
- Température ambiante.

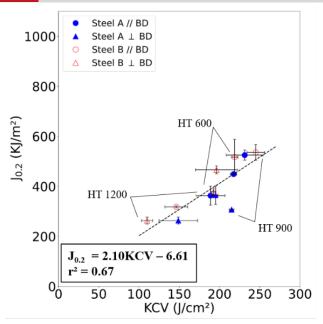
#### Analyses après essais :

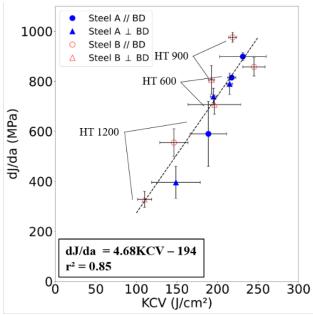
- valeurs : KCV, J<sub>0.2</sub>, dJ/da
- courbes force flèche et J Δa
- faciès de rupture
- déformation sous le faciès





#### VALEURS DE RÉSILIENCE ET TÉNACITÉ

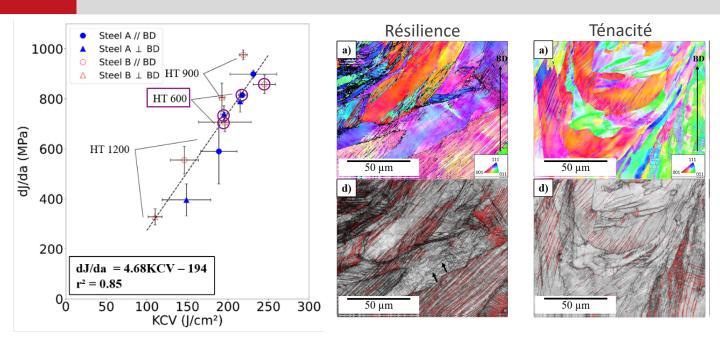




- A l'état HT 600 : résiliences plus faibles que pour l'acier 316L conventionnel (350 400 J/cm²), mais supérieures à celle prescrite per la norme RCC-M : 125 J/cm²
- HT 900 : valeurs légèrement supérieures ; HT 1200 : baisse importante des propriétés de rupture.
- Corrélations linéaires positives entre résilience et ténacité.



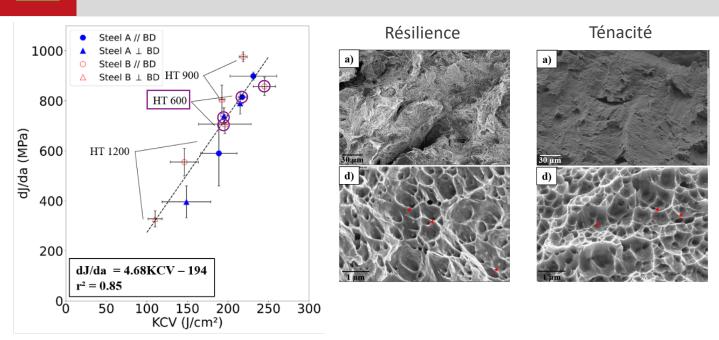
#### **ÉTAT HT 600: MÉCANISMES DE DÉFORMATION**



- Sous le faciès de rupture des éprouvettes de résilience et ténacité :
  - maclage mécanique important,
  - glissement.
- → Mécanismes de déformation similaires.



#### **ÉTAT HT 600 : MÉCANISMES DE RUPTURE**

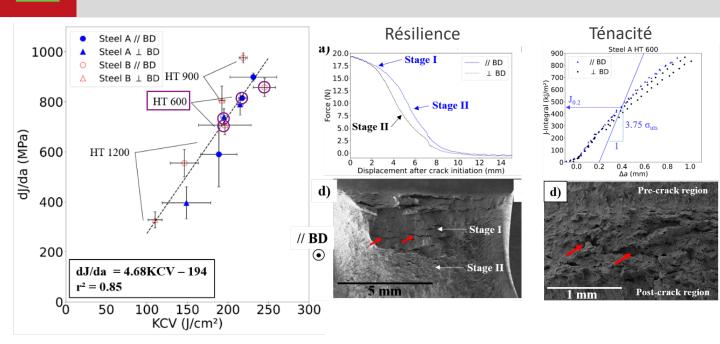


#### Dans les deux cas :

- rupture transgranulaire ductile,
- inclusions sphériques en fond de cupule → rupture par décohésion des interfaces inclusion / matrice.
- → Mécanismes de rupture similaires.



#### **ÉTAT HT 600: ANISOTROPIE DES PROPRIÉTÉS À RUPTURE**

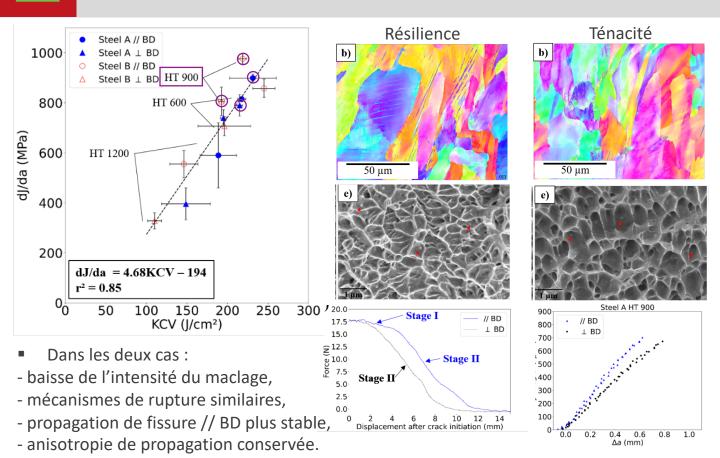


#### Dans les deux cas :

- propagation de fissure plus stable pour une direction de sollicitation // BD due à la formation de fissures secondaires intergranulaires // BD.
- → Causes de l'anisotropie similaires : anisotropie de structure de grains.



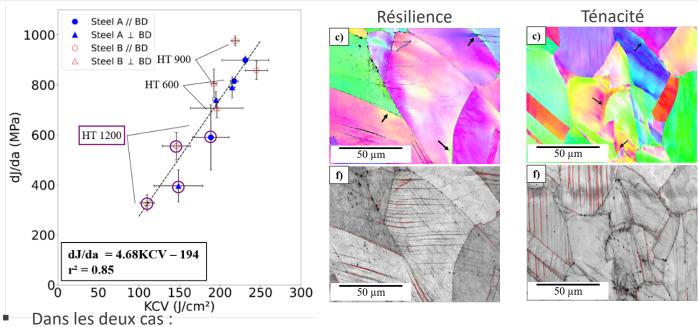
#### **ÉTAT HT 900 : RESTAURATION + HOMOGÉNÉISATION CHIMIQUE**



→ Evolutions similaires du comportement en résilience et ténacité, suite à ce traitement.



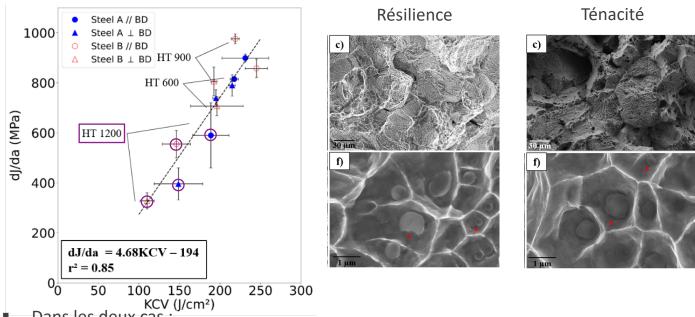
#### **ÉTAT HT 1200: RECRISTALLISATION + DISSOLUTION REPRÉCIPITATION DES PARTICULES AUX JOINTS DE GRAINS**



- baisse de l'intensité du maclage et localisation de la déformation aux joints de grains,



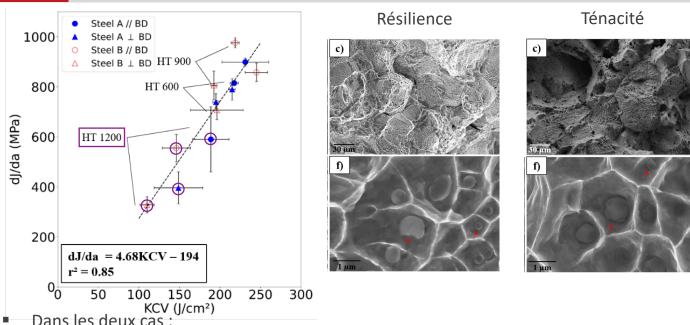
## ÉTAT HT 1200 : RECRISTALLISATION + DISSOLUTION REPRÉCIPITATION DES PARTICULES AUX JOINTS DE GRAINS



- Dans les deux cas :
  - baisse de l'intensité du maclage et localisation de la déformation aux joints de grains,
  - rupture intergranulaire ductile; grossissement des inclusions et cupules,



#### **ÉTAT HT 1200 : RECRISTALLISATION + DISSOLUTION REPRÉCIPITATION** DES PARTICULES AUX JOINTS DE GRAINS



- - baisse de l'intensité du maclage et localisation de la déformation aux joints de grains,
  - rupture intergranulaire ductile; grossissement des particules et cupules,
  - anisotropie persistante : amorçage de fissure plus que propagation ?
- Causes similaires de la baisse de la résilience et de la ténacité : localisation / grossissement des particules aux joints de grains.

#### **CONCLUSIONS**



- Des corrélations linéaires ont été établies entre les valeurs de résilience et ténacité.
- Les mécanismes à l'œuvre dans la déformation et la rupture de l'acier 316L LPBF sont similaires pour les deux sollicitations mécaniques.
- Leurs évolutions en fonction de la température de traitement thermique sont également similaires.
  - → Les essais de résilience et de ténacité rendent bien compte des mêmes phénomènes dans le cas de l'acier 316L LPBF.



### **MERCI DE VOTRE ATTENTION**



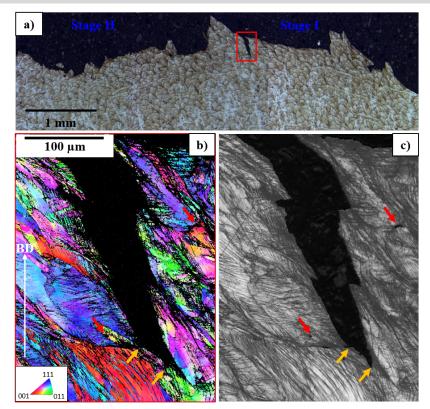








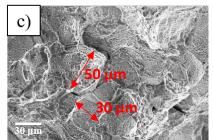
Fissures secondaires

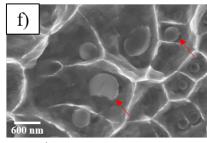


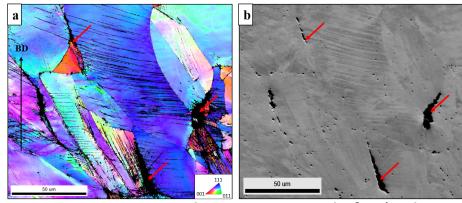
Rupture intergranulaire en pointe de fissure + forte déformation aux joints de grains (mauvaise indexation) **→ fissuration secondaire probablement intergranulaire** 



#### Propagation HT 1200







Coupe transversale, 200 µm sous le faciès de rupture

- Eléments de taille correspondant à la taille des grains recristallisés (40 μm)
- Endommagement intergranulaire observé sous le faciès de rupture
  - → rupture intergranulaire
- Couplage grossissement des inclusions / localisation aux joints de grains
  - → création de sites de décohésion préférentielle
    - cavitation favorisée aux joints de grains