

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



IMPACT DE LA FISSURATION A CHAUD SUR LA TENUE MECANIQUE DES LIAISONS HETEROGENES Ta/TA6V

CHARLINE TOUVREY¹, THOMAS PARIS¹, VINCENT VIGNAL² ET PATRICK NAMY³

¹ Commissariat à l'Énergie Atomique, Centre de Valduc, 21120 Is sur Tille

² ICB, UMR 6303 CNRS-Université de Bourgogne, BP 47870, 21078 Dijon France

³ SIMTEC, 8 rue Duployé, 38100 Grenoble

*charline.touvrey@cea.fr, thomas.paris@cea.fr, vvignal@u-bourgogne.fr,
patrick.namy@simtecsolution.fr*

Journée de la SNS

Maison de la mécanique - La Défense

Le 28/03/2013

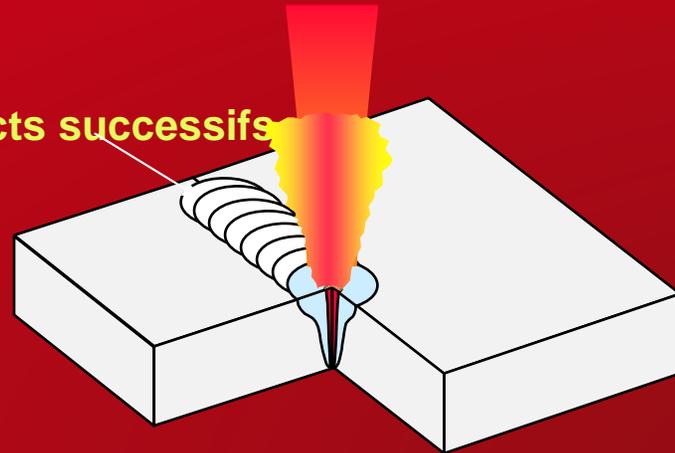
www.cea.fr

1. Introduction
2. Etude numérique des cycles de températures subis au cours du soudage hétérogène
3. Tenue mécanique et fissuration à chaud
4. Mécanisme de rupture locale
5. Conclusions

Introduction :
la problématique du soudage Ta-TA6V
par laser Nd : YAG impulsif

Laser Nd : YAG impulsif

Impacts successifs



Problématique de soudage

TA6V



Ta



TA6V

$$\rho = 4430 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$\lambda = 19 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$C_p = 750 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\text{Dilatation} : 10.10^{-3} \text{ K}^{-1}.\text{m}^{-3}$$

Ta

$$\rho = 16705 \text{ kg.m}^{-3}$$

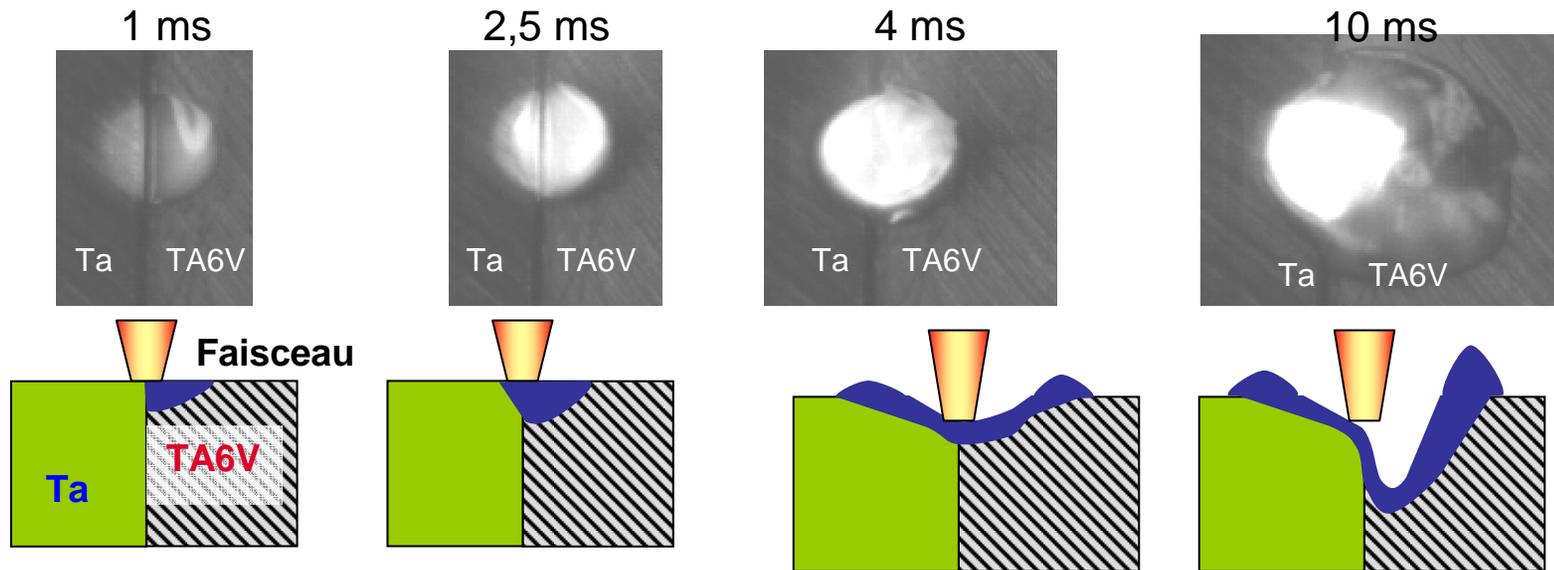
$$\lambda = 60 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$C_p = 140 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

$$\text{Dilatation} : 4.10^{-3} \text{ K}^{-1}.\text{m}^{-3}$$

→ Dissymétries propriétés

Problématique de soudage

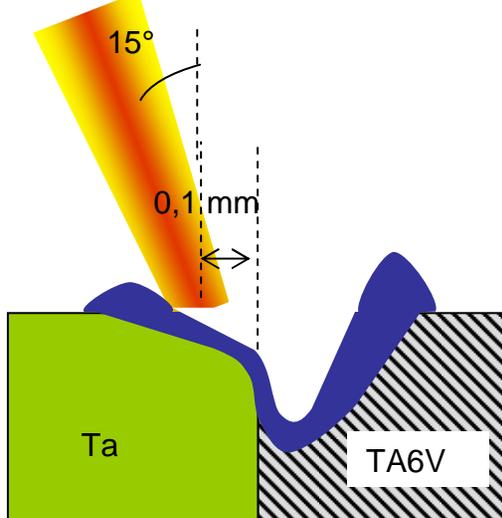


- Différence de cinétique de fusion/vaporisation/solidification des 2 métaux
- Trouver des conditions de soudage conduisant à des liaisons fiables (mélange sujet à la fissuration à chaud)

Les conditions de soudage

Une solution :

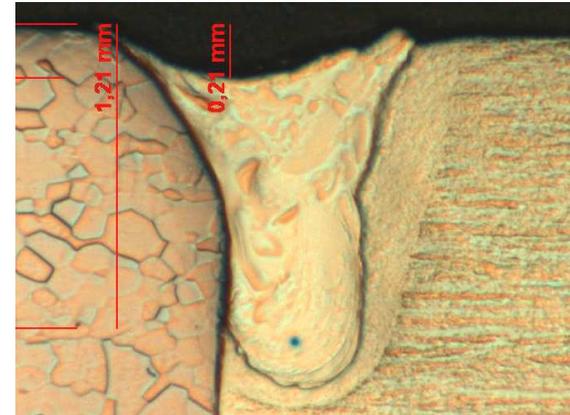
Décalage du faisceau sur le tantale



Forte et moyenne pénétration

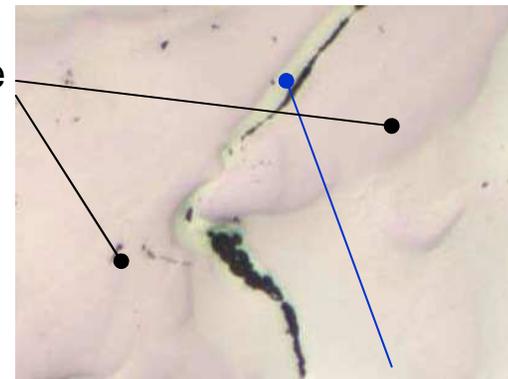
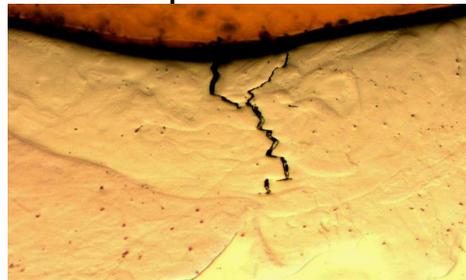
Absence de fissures

→ Domaine de soudage opérationnel ;



Faible pénétration

Amas à plus de 85% de tantale



→ Risque de fissuration à chaud

Films de Ti

Le contexte des études thermomécaniques

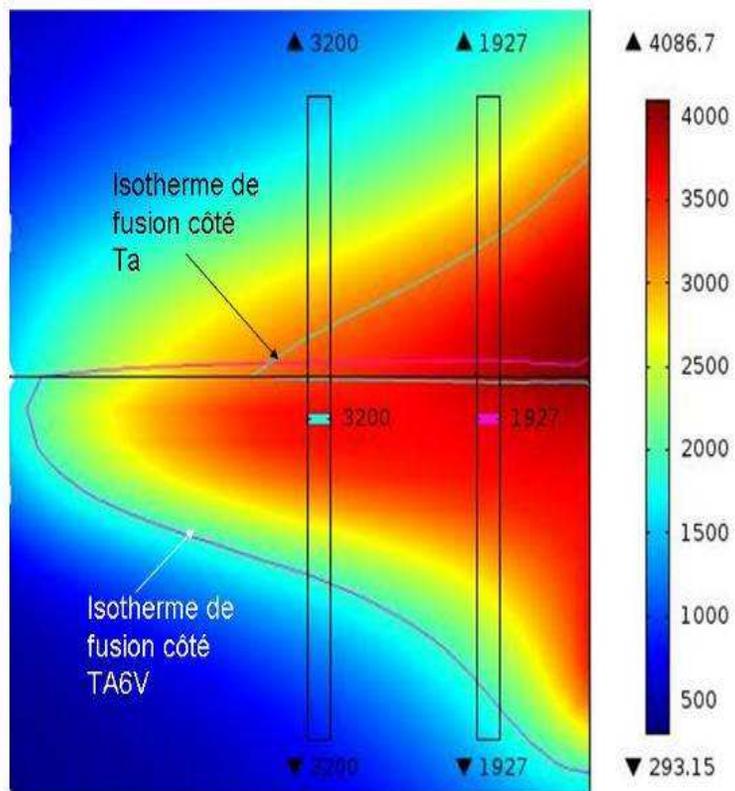
Nous cherchons à comprendre l'impact d'une potentielle fissuration à chaud (dérive procédé) sur le comportement mécanique des joints soudés...

→ Etude du comportement à rupture des assemblages hétérogènes sous sollicitations monotone et cycliques.

→ *Cycles thermiques subis,*

→ *Tenue mécanique sous sollicitations cycliques en présence d'une fissure initiale,*

→ *Mécanisme de rupture locale.*



Etude numérique des cycles de températures subis au cours du soudage hétérogène

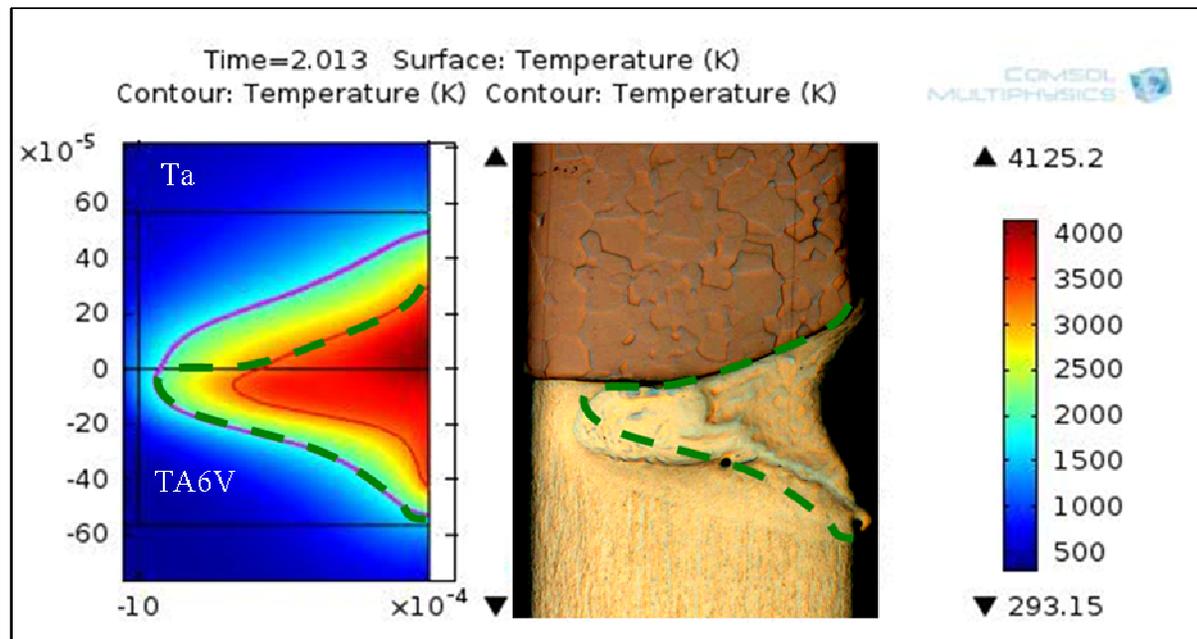
Objectif des évaluations thermiques

Disposer d'éléments pour interpréter les liens :

Cycles thermiques → microstructure locale → amorçage / propagation de fissures.

Dépôt d'énergie numérique (source surfacique et volumique, symétrie de révolution)

Limitation à $T_{\text{vaporisation}}$ sur chacun des matériaux (3600 K côté TA6V et 5600 K côté tantale)
 Dissymétries de propriétés thermophysiques
 → forme de ZF expérimentale reproduite



Principaux résultats

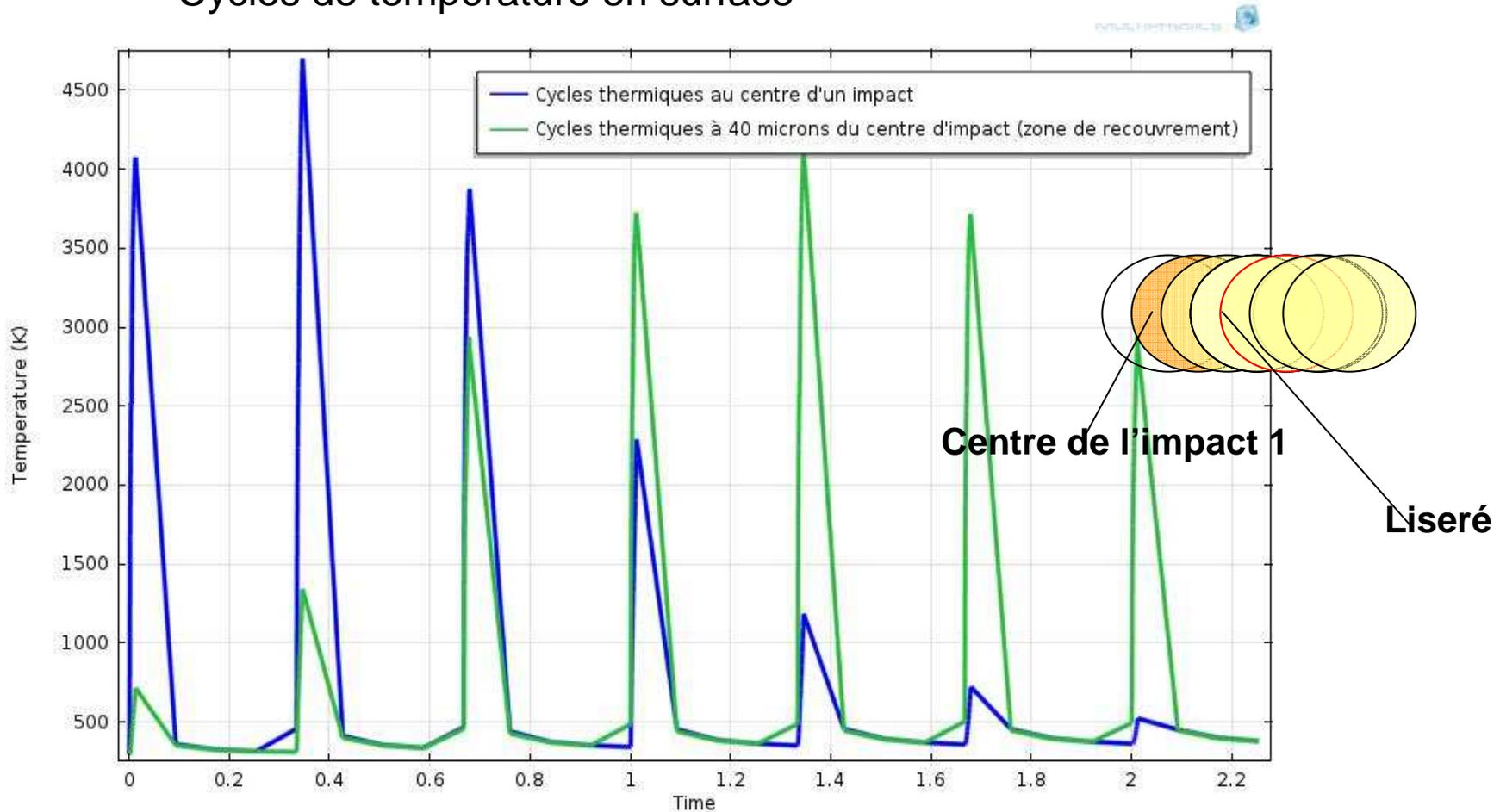
Régime quasi-stationnaire au bout de 5 impacts.

Plages de températures observées : variation de température de 1900 K à 4000 K en surface du bain :

- risque de former des blocs de tantale solide en contact avec des veines de TA6V liquide à proximité de la surface ;
- conforme à la position des fissures observées expérimentalement.

Principaux résultats

Cycles de température en surface



→ Cycles très proches en tout point de la surface :
difficile d'établir une corrélation avec la microstructure

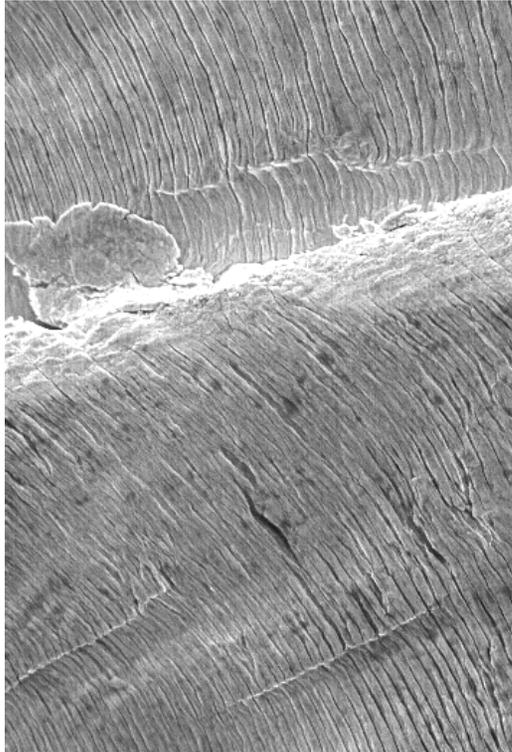
Principaux résultats

Si il est délicat d'établir un lien thermique → microstructure, différentes études ont visé à évaluer le comportement mécanique en présence de fissures à chaud, en lien avec la microstructure.

Tenue mécanique et fissuration à chaud

a. Fatigue

b. Mécanisme de rupture locale



Tenue mécanique et fissuration à chaud

a. Fatigue

b. Mécanisme de rupture locale

Descriptif des essais en fatigue

Sur éprouvettes cylindriques fissurées ou non à l'issue du procédé ;

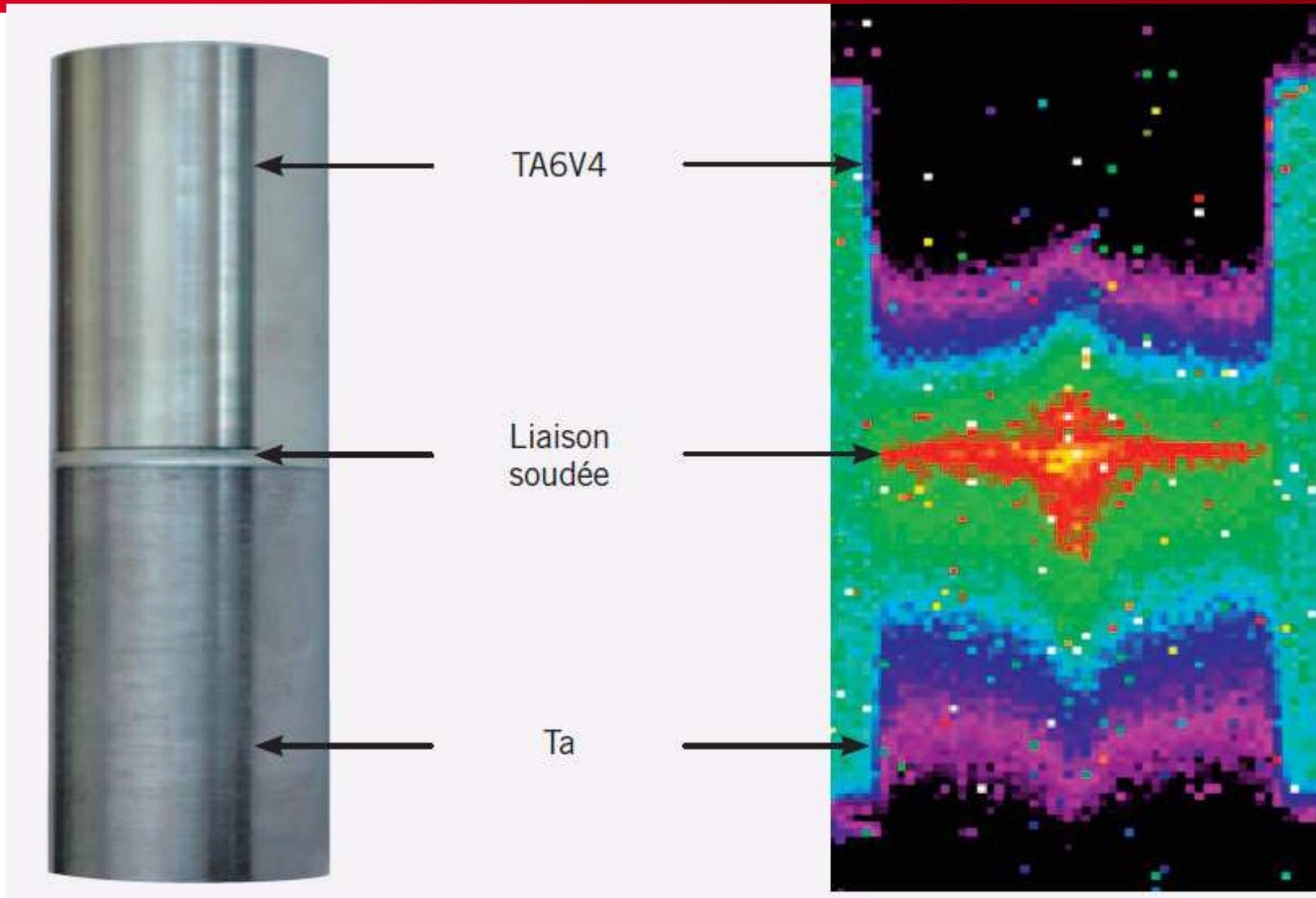
Fatigue polycyclique, traction transverse ;

2 méthodes d'évaluation de la limite d'endurance :

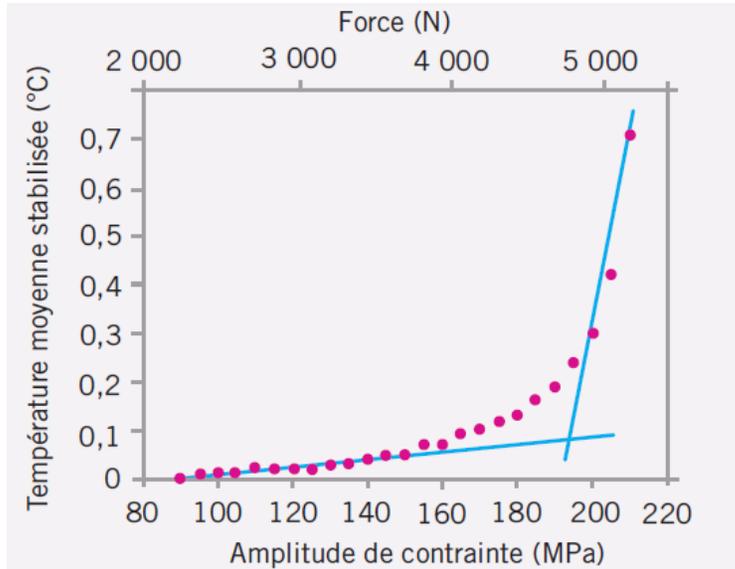
Stair Case (quantification de la limite d'endurance et de la dispersion à partir d'essais sur plusieurs éprouvettes),

Autoéchauffement (estimation de la limite d'endurance à partir du diagramme Température stabilisé (°C)/ Amplitude de contrainte réalisé par incrément de charge sur une même éprouvette).

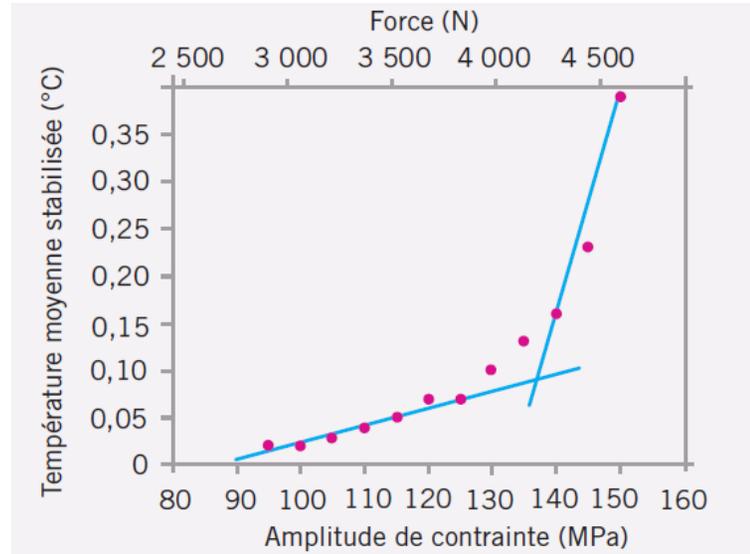
Résultats obtenus par les essais d'autoéchauffement



Résultats obtenus par les essais d'autoéchauffement



Avec défauts



Sans défauts

Comparatif avec la méthode du Stair-Case

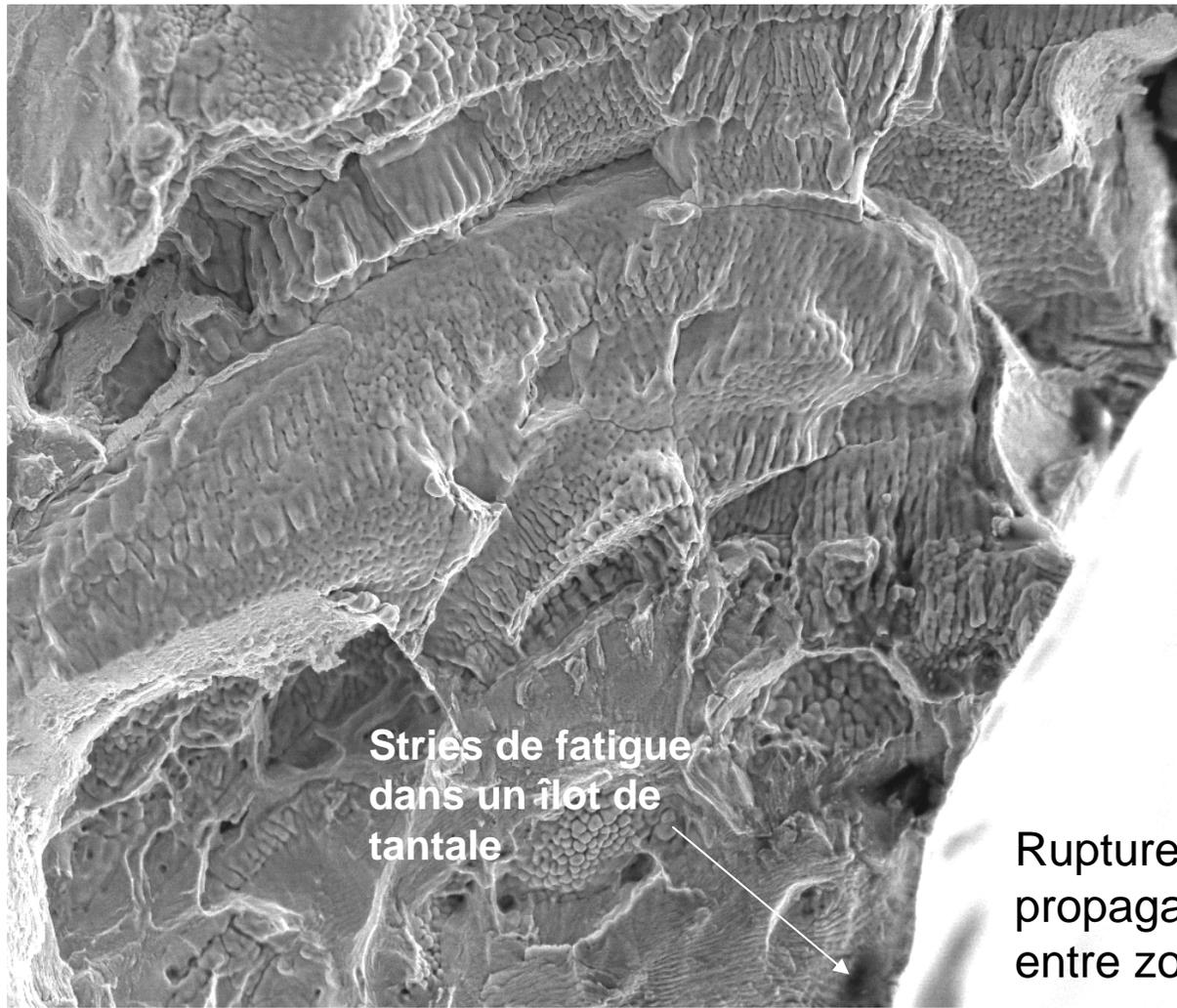
Configuration	Limite d'endurance : Staircase à 10^5 cycles	Limite d'endurance : Autoéchauffement	→ surestime la limite d'endurance
Assemblage soudé avec défauts	137 MPa	190 MPa	
Assemblage soudé sans défauts	107 MPa	135 MPa	

→ Défauts de type fissuration à chaud → non préjudiciable vis-à-vis de la tenue mécanique en fatigue polycyclique ;

→ Analyses fractographiques : difficulté de propager un défaut dans la zone fondue Ta/TA6V (microstructure complexe) ;

→ En l'absence de défauts issus du procédé, fissuration à l'interface Ta/ZF;

Fasciés de rupture dans la soudure



Stries de fatigue
dans un îlot de
tantale

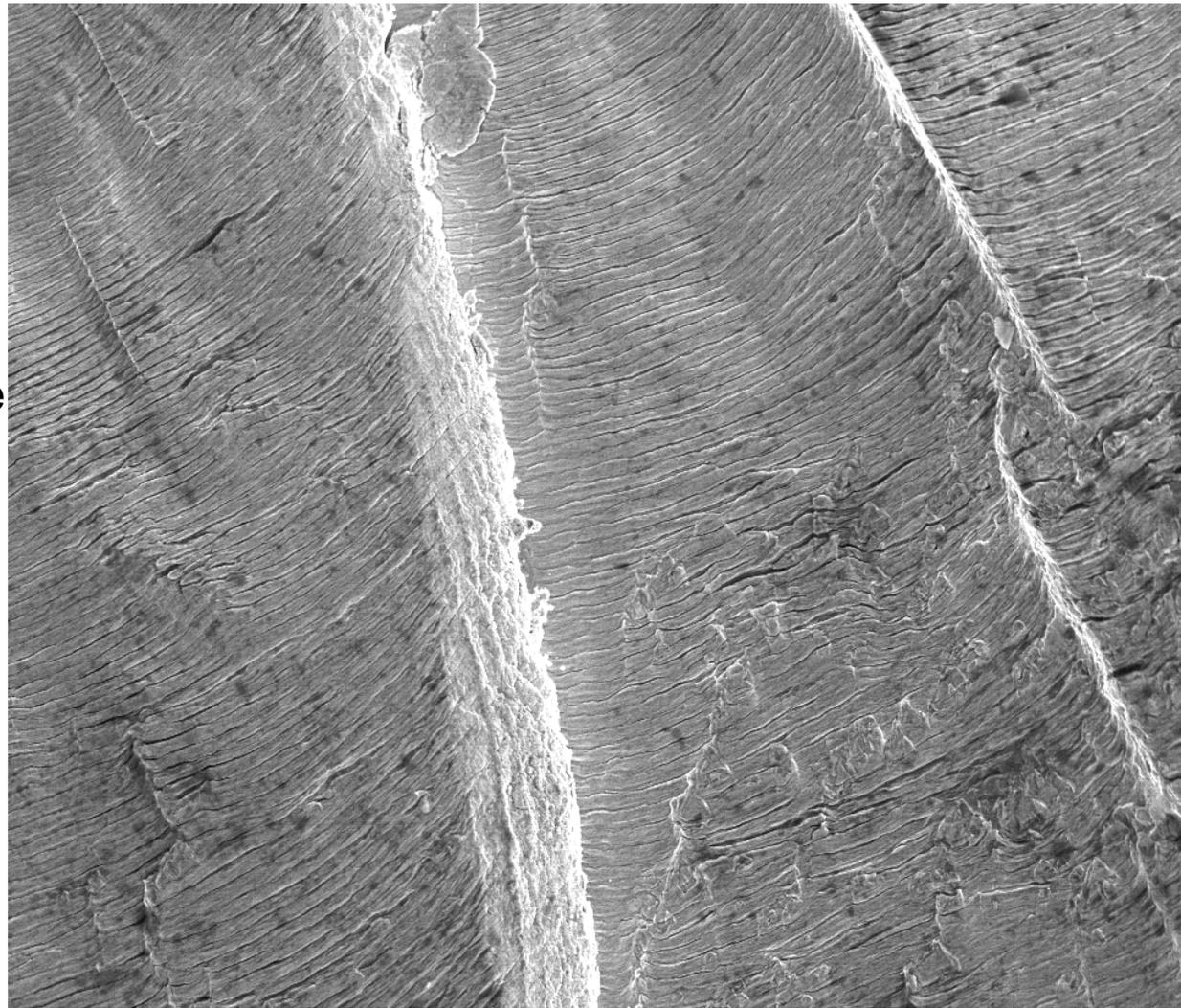
Rupture dans la soudure :
propagation tortueuse
entre zones hétérogènes

60µm

Image électronique 1

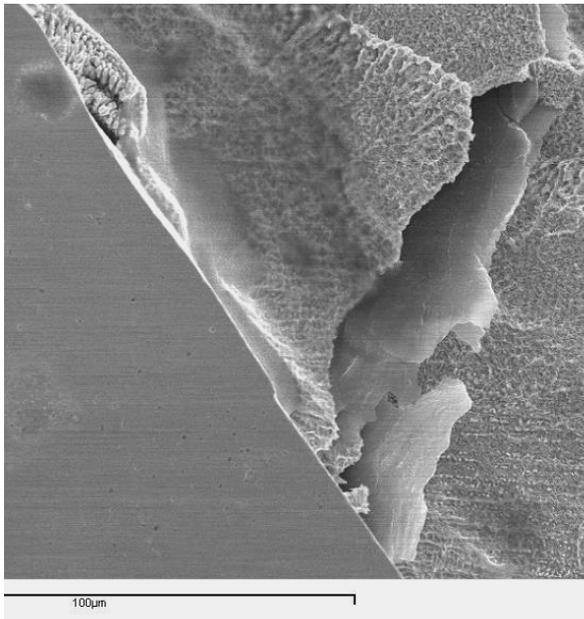
Fasciés de rupture à l'interface TA6V-Soudure

Rupture à l'interface Ta/Soudure : stries de fatigue



70µm

Image électronique 1



Tenue mécanique et fissuration à chaud

a. Fatigue

Sollicitation de fatigue → après cycles d'essais
Analyse des mécanismes de fissuration in situ
→ sollicitation monotone

b. Mécanisme de rupture locale

Descriptif des essais sous sollicitation monotone

Traction longitudinale, éprouvettes diabolo
(localisation de la sollicitation dans la soudure) ;

2 éprouvettes, sections utiles égales à 1 et 2 mm

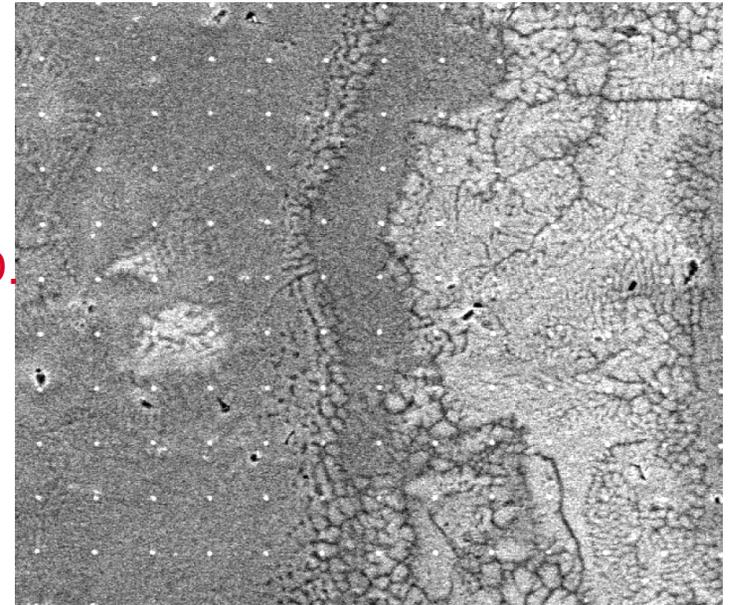
Soudure seule

Soudure + matériaux de base

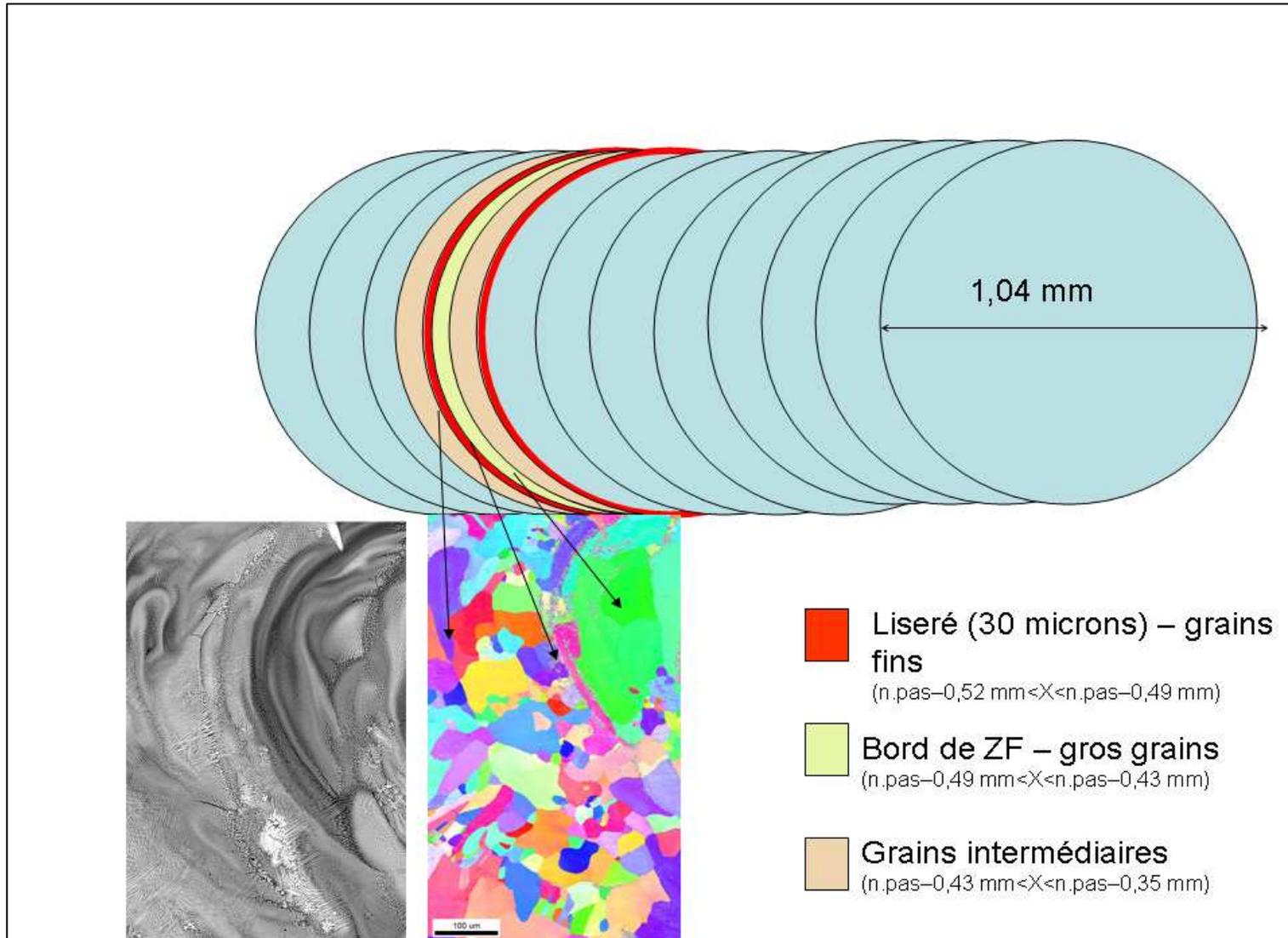
Plots préalablement déposés par lithographie ;

A différents incréments de déformation :

- Champ de déformation local,
- Visualisation de la microstructure par MEB,
- Mesures d'orientation cristallographique par EBSD.

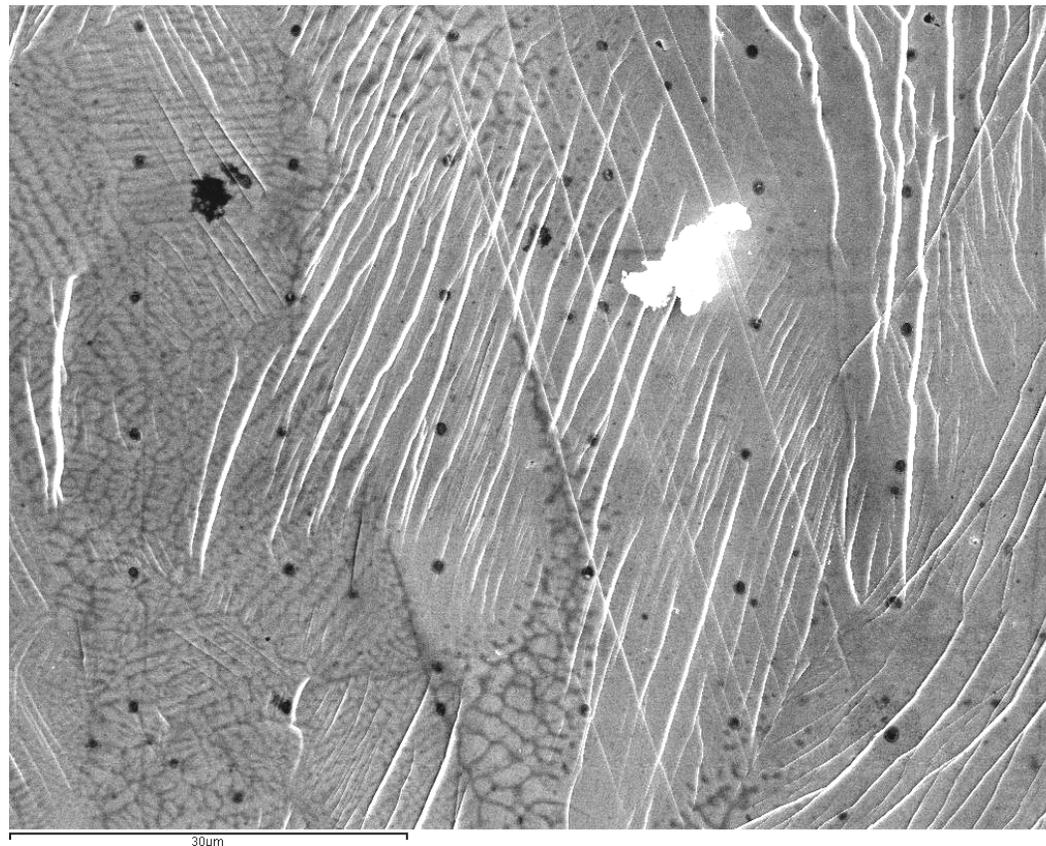


Principaux résultats : microstructure



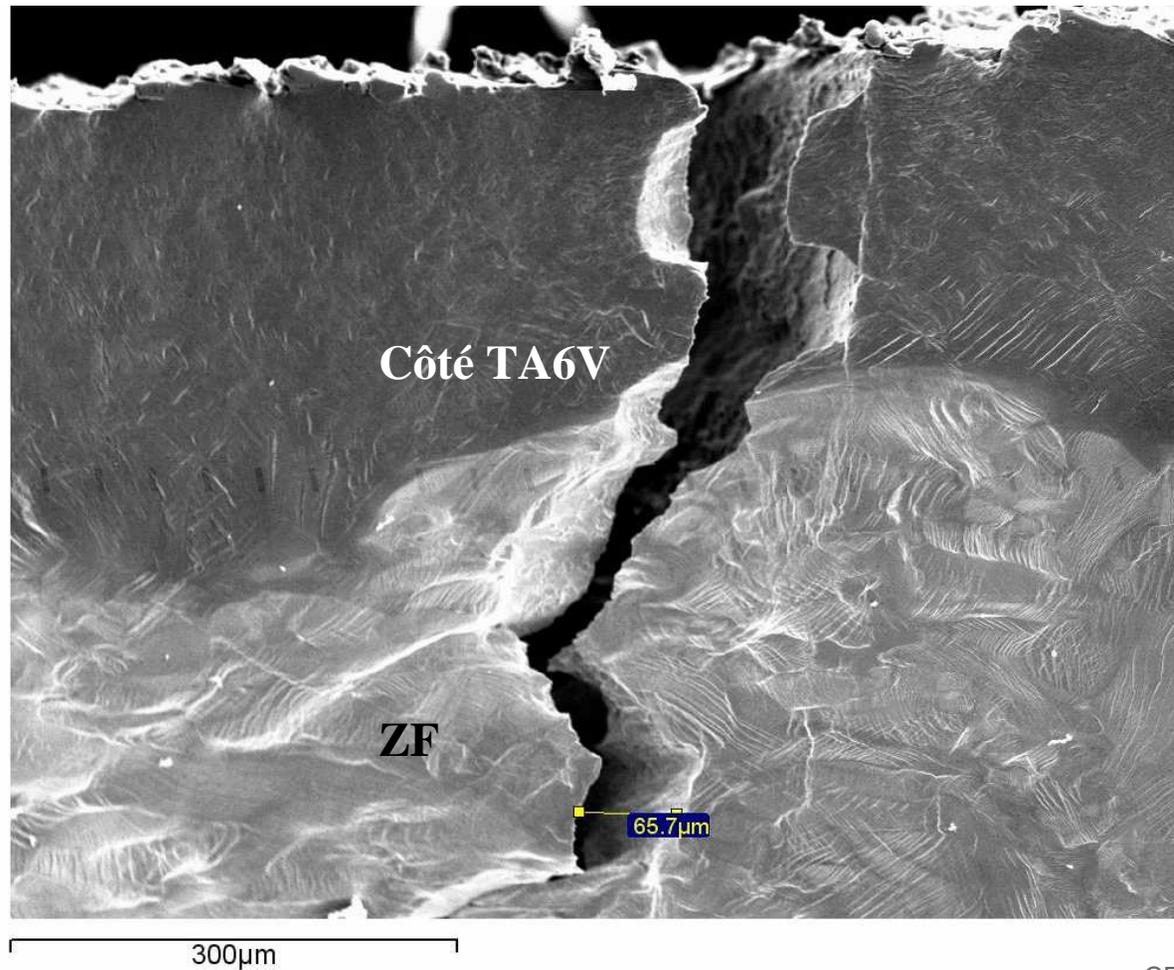
Principaux résultats : accroissement de la déformation

Bandes de glissement activées en 1^{er} dans les gros grains homogènes,
Puis dans les sites contenant des structures cellulaires/dendritiques



Principaux résultats : amorçage et propagation de la fissure

Fissure amorcée dans le TA6V, propagation vers le Ta jusqu'à déboucher en surface



Principaux résultats : amorçage et propagation de la fissure

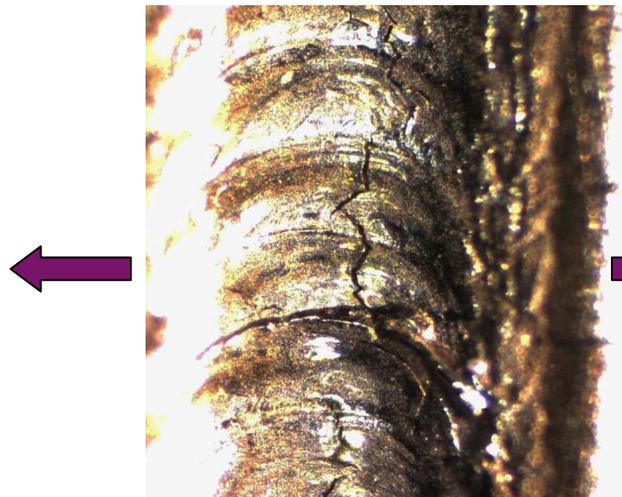
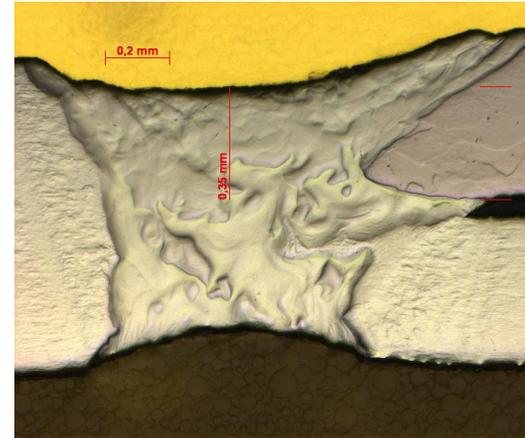
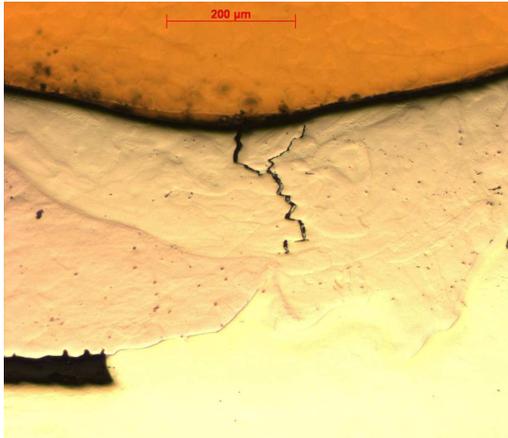
Premiers incréments de déformation : activité plastique concentrée dans les grains favorablement orientés ;

→ Influence de l'hétérogénéité cristalline prépondérante ;

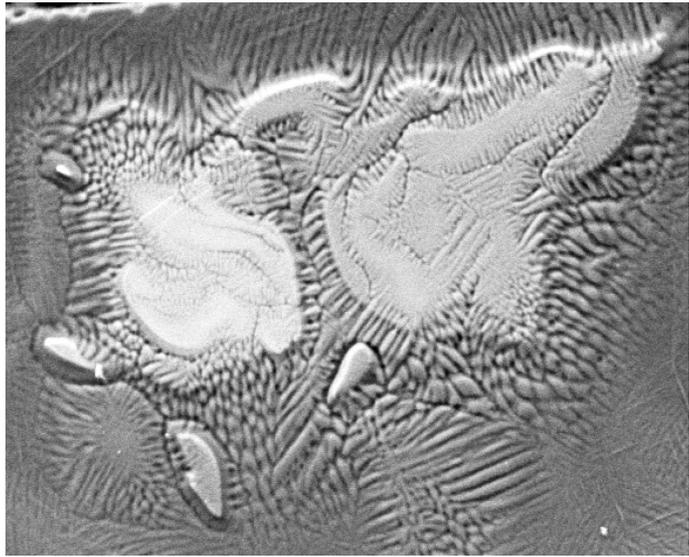
Proche de la déformation à rupture : concentration de déformation aux interfaces entre les zones enrichies en tantale et en titane ;

→ Influence des hétérogénéités chimiques prépondérante (décohésion d'interface).

Eprouvette de **traction transverse**, avec ou sans défaut, instrumentée par lithographie



Direction de
l'essai de
traction



Conclusions

Fissures à chaud lors du soudage Ta/TA6V :

- peuvent potentiellement être observées dans certaines conditions bien précises de soudage (décalage du faisceau sur le tantale → formation d'amas de ce matériau pour des HL faibles).

Modèle numérique :

- reproduit correctement la forme globale de la zone fondue,
- ne permet pas de disposer d'une caractérisation précise des cycles thermiques en tout point de la surface du cordon (mise en relation avec la microstructure).

Analyse de la nocivité des défauts :

•Essais cycliques :

2 méthodes pour identifier la limite d'endurance (Stair Case et autoéchauffement)
→ **Limite d'endurance plus élevée pour les assemblages fissurés** à l'issue du procédé (chemin de propagation tortueux au sein d'une microstructure complexe);

•Essais monotones, instrumentation locale :

Fissure amorcée dans le TA6V, propagation vers le Ta jusqu'à déboucher en surface ;

Premiers incréments de déformation :

→ Influence des **hétérogénéités cristallines** prépondérante ;

Proche de la déformation à rupture :

→ Influence des **hétérogénéités chimiques** prépondérante ;