



Efficacité du traitement thermique de détensionnement

Ph. GILLES, S. COURTIN, F. GOMMEZ, D. PONT, V. ROBIN

Séminaire AFM du GTT « Simulation Numérique du Soudage »

**MODÉLISATION ET SIMULATION POUR LA PRÉVENTION DE LA RUINE DES
STRUCTURES SOUDÉES**

Maison de la Mécanique, Courbevoie, 31 mars 2011





- ▶ **Introduction**
- ▶ **Traitement thermique des Liaisons Bimétalliques**
- ▶ **Justification de l'utilisation du «temper bead»**
- ▶ **Conclusions**

INTRODUCTION



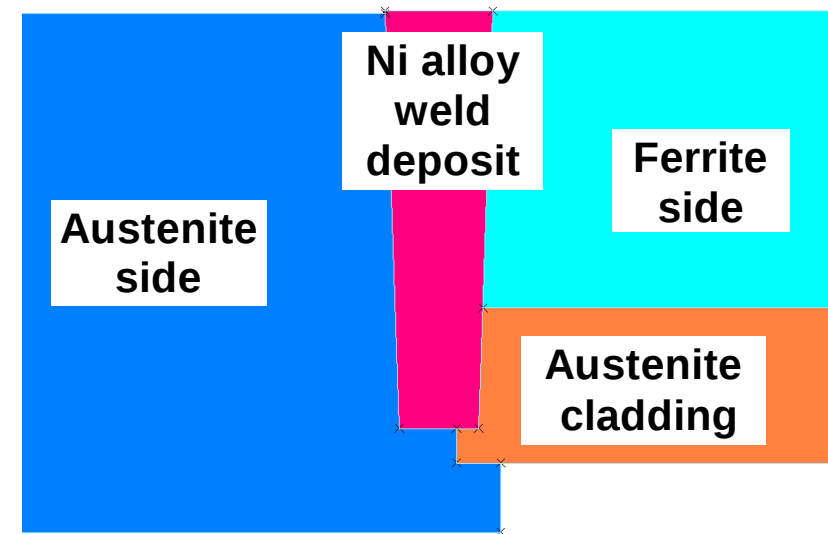
- ▶ Le soudage induit des contraintes résiduelles dans les composants
- ▶ Les contraintes résiduelles de traction favorisent la corrosion sous contrainte et l'amorçage en fatigue et peuvent même entraîner une rupture d'une pièce fragilisée.
- ▶ **Le traitement thermique de détensionnement après soudage (TTPS)** a pour objectif de réduire le niveau des contraintes résiduelles, voir de les annuler. Ce traitement post-soudage est très réglementé dans le nucléaire afin d'assurer son efficacité sans pour autant modifier la microstructure.
- ▶ Lorsque la réalisation d'un traitement thermique de détensionnement (TTD) présente des difficultés de mise en œuvre ou induit un risque d'endommagement du matériau, on recourt au soudage à dureté limitée sous cordon (**temper bead**) afin de diminuer la fragilité de la zone affectée thermiquement (ZAT).
- ▶ **Il s'agit d'examiner l'efficacité de ces traitements thermiques en utilisant la simulation numérique du soudage**

Traitement thermique des Liaisons Bimétalliques



► TYPE DE LBM:

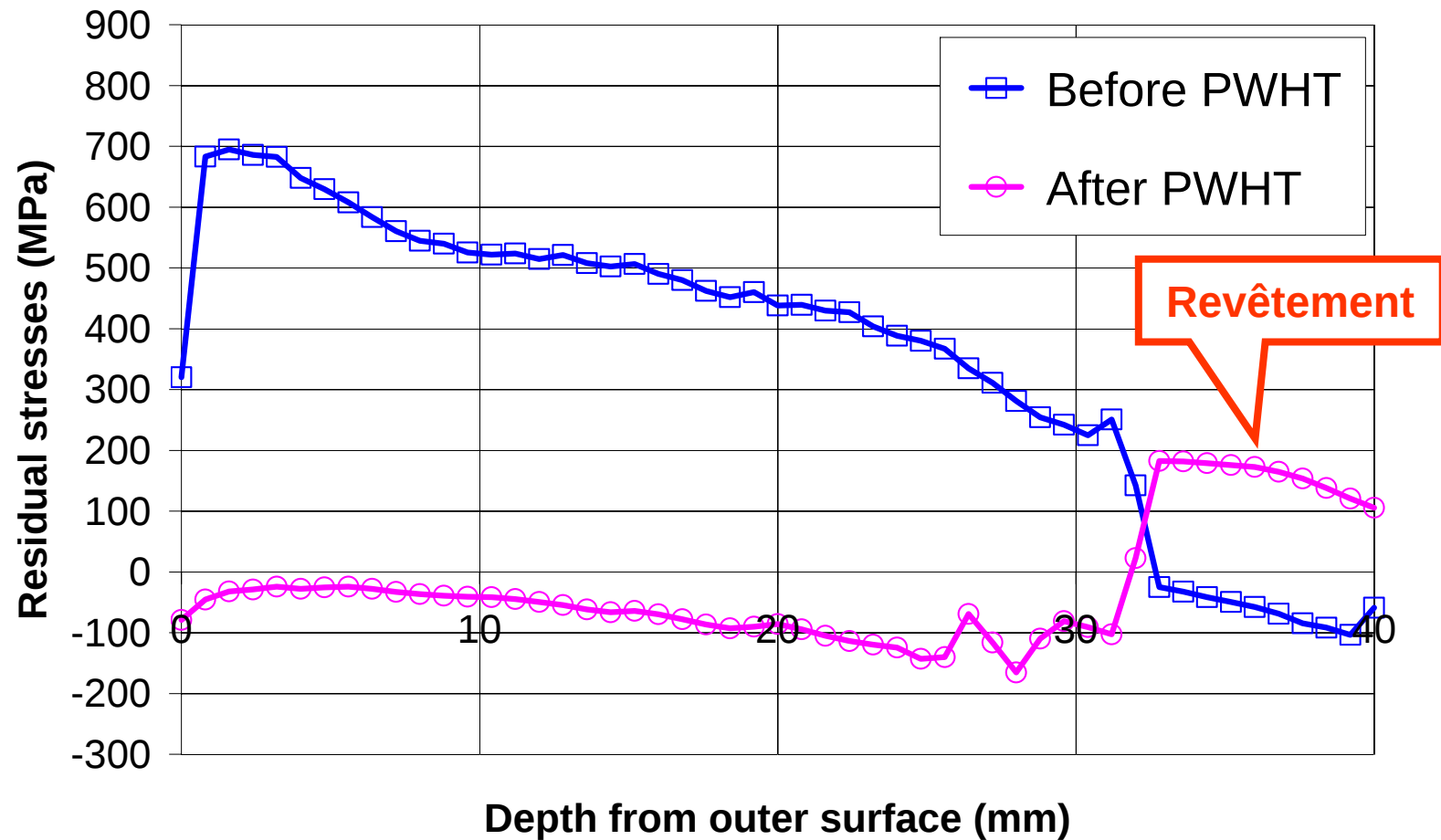
- ◆ Chanfrein étroit
 - ◆ Soudure en alliage à base nickel (Inconel 52)
 - ◆ Pas de beurrage
- Diamètre extérieur 352 mm
- Epaisseur 40 mm (type 14'')
- Revêtement de la partie ferritique



Traitement thermique des Liaisons Bimétalliques



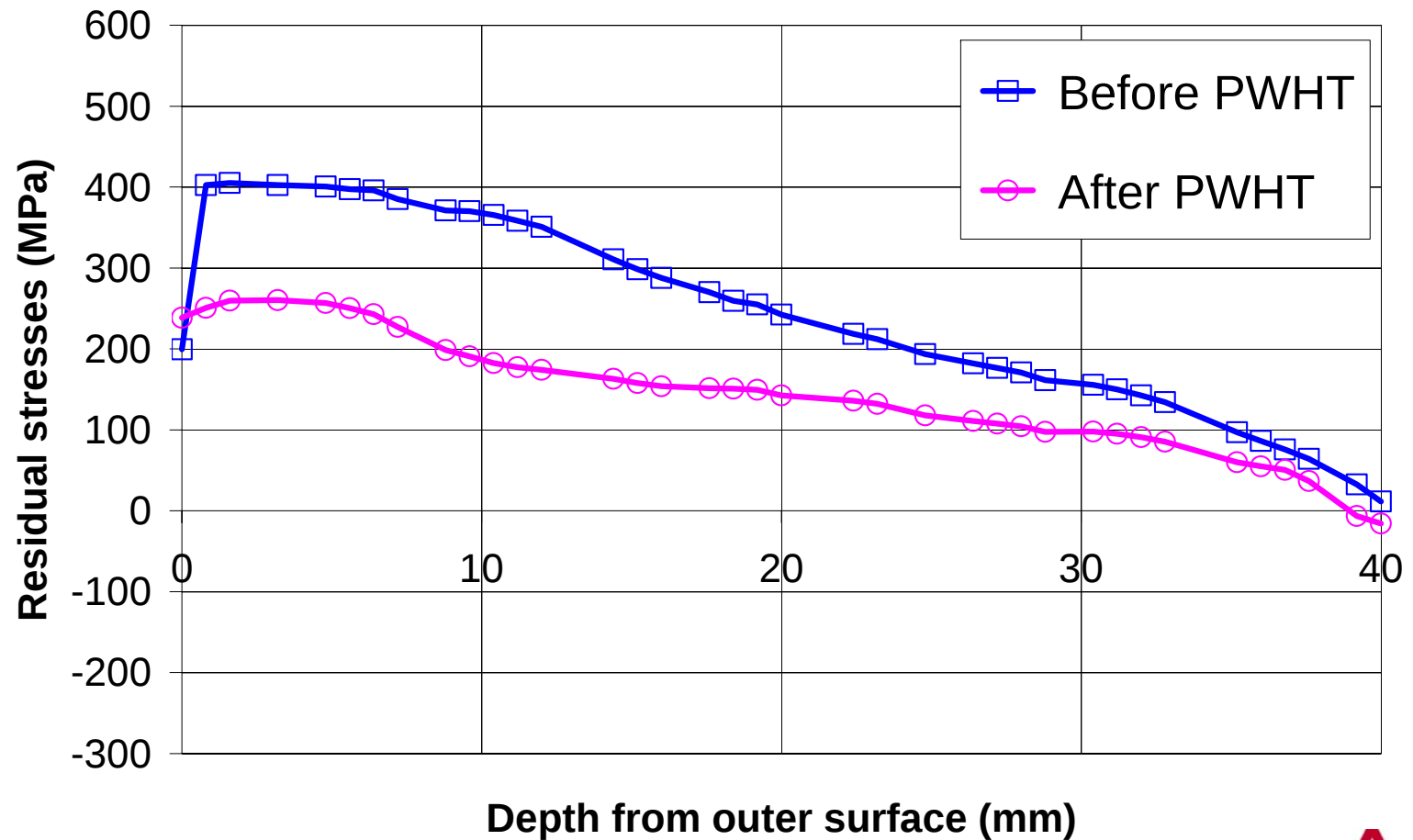
- Coté ferritique : contraintes résiduelles effacées



Traitement thermique des Liaisons Bimétalliques



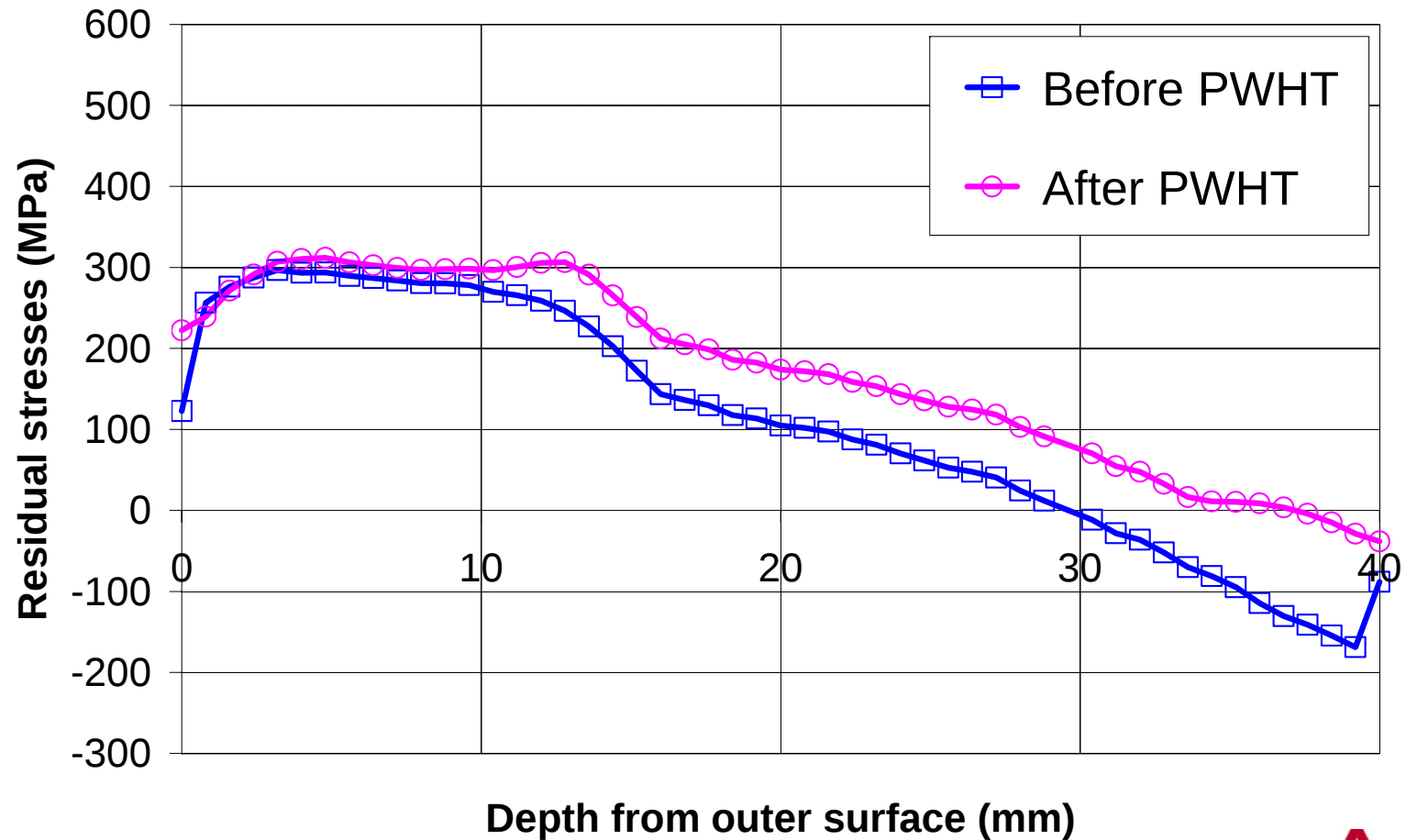
► Milieu de soudure : réduction du pic



Traitement thermique des Liaisons Bimétalliques



► Côté inoxydable austénitique



Traitement thermique des Liaisons Bimétalliques



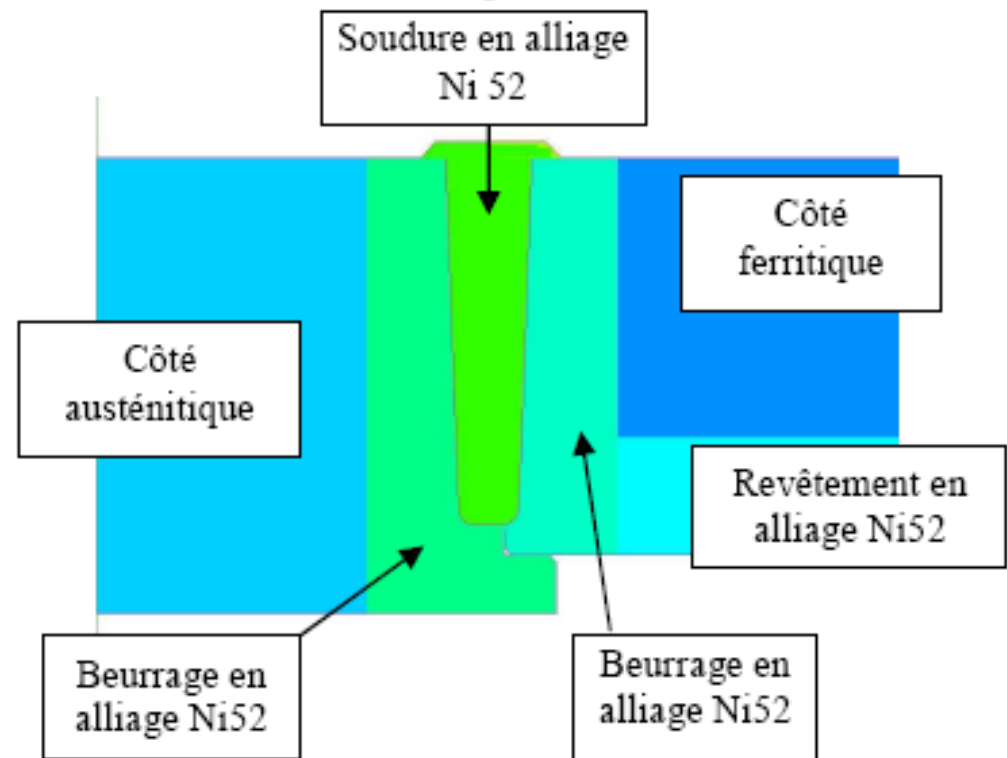
- ▶ Les conclusions sont similaires pour d'autres géométries de LBM de ce type
- ▶ Le phénomène s'explique principalement par l'effet bilame : sous l'effet d'un refroidissement la partie V1 à plus fort coefficient de dilatation est soumise à une traction. La partie voisine V2 subit une compression dont le niveau est en proportion du rapport $V1/V2$
- ▶ Par rapport à l'acier ferritique, l'alliage à base nickel déposé a un plus fort coefficient de dilatation, une limite d'élasticité inférieure et occupe un plus faible volume. Donc, lors du détensionnement, les contraintes diminuent moins dans la soudure que dans une liaison homogène et sont plafonnées par la limite d'élasticité à froid, tandis l'effet bilame accompagne la réduction des contraintes induites par le détensionnement dans la partie ferritique

Justification de l'utilisation du «temper bead»



► CONFIGURATIONS DES LBM TEMPER BEAD ET TTD

- Même géométrie de tube
- Beurrage
- Deux maquettes ont un procédé de fabrication identique, excepté pour le beurrage coté ferritique :
 - ◆ Avec procédé « Temper Bead » (maquette temper bead)
 - ◆ Avec beurrage conventionnel suivi d'un TTD (maquette TTD)



Justification de l'utilisation du «temper bead»



Maquette temper bead

- ▶ 106 cordons
- ▶ 4 premières couches sont appliquées avec un procédé TIG « temper bead » : le taux de dépôt et l'énergie d'apport sont contrôlés afin de réaliser des cordons de dimension spécifique avec recouvrement interpasse permettant de provoquer le revenu des ZAT des précédentes passes de soudage.
- ▶ Par contre, la structure martensitique obtenue après transformation de l'austénite dans des conditions de refroidissement rapide (ou martensite brute de trempe) présente une forte résistance mécanique mais une très faible ductilité.
- ▶ Le revenu a pour effet de provoquer :
 - ◆ une précipitation convenablement durcissante dans une zone où les précipités ont été mis en solution et les principaux éléments d'alliage maintenus en sursaturation
 - ◆ un adoucissement d'une structure exagérément durcie

Justification de l'utilisation du «temper bead»



- ▶ Simulation du passage d'une structure brute de trempe vers une structure totalement revenue par une pseudo-transformation métallurgique.
- ▶ Les paramètres de la cinétique de transformation associée au revenu des structures brutes de trempe ont été identifiés dans le cadre de la caractérisation de l'acier 16MND5 en utilisant un paramètre d'équivalence temps/température

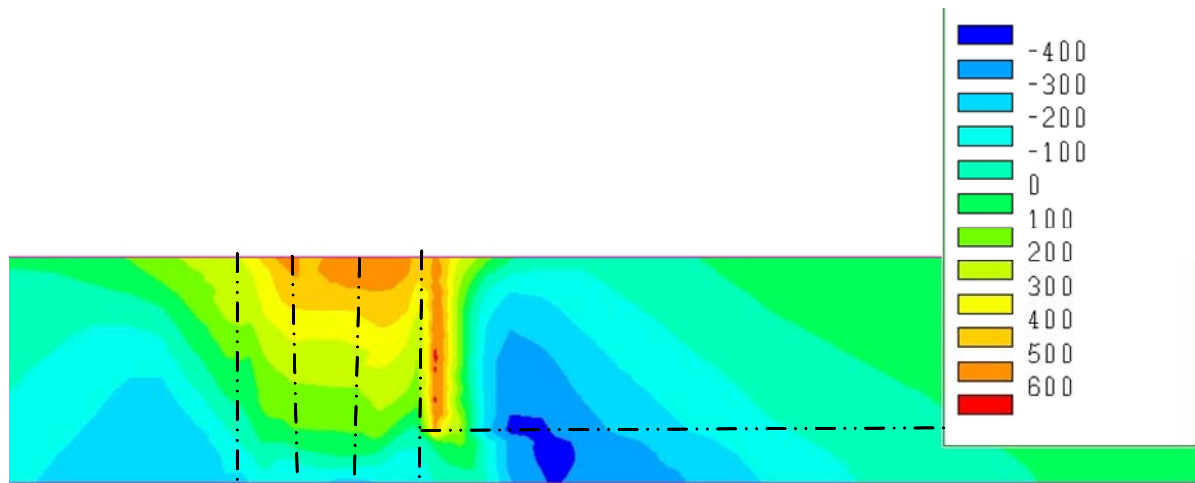
▶ Maquette TTD:

- ◆ 49 cordons est déposés avec un procédé TIG conventionnel
- ◆ Beurrage est suivi d'un TTD de la partie ferritique de la maquette

Justification de l'utilisation du «temper bead»

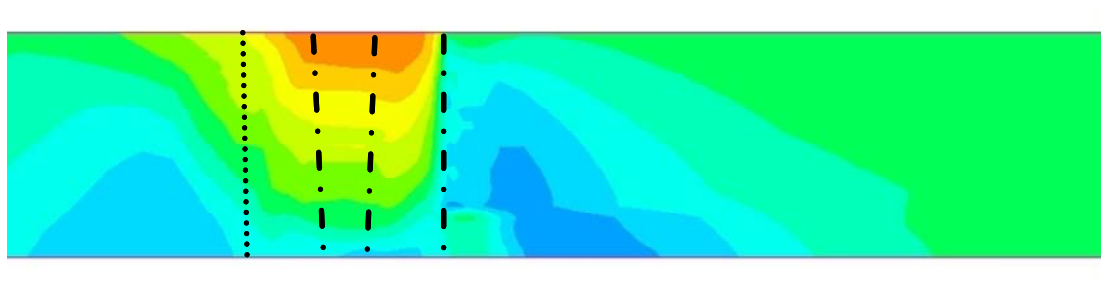
Contraintes résiduelles (circonf) après l'usinage final de la maquette

► Temper Bead



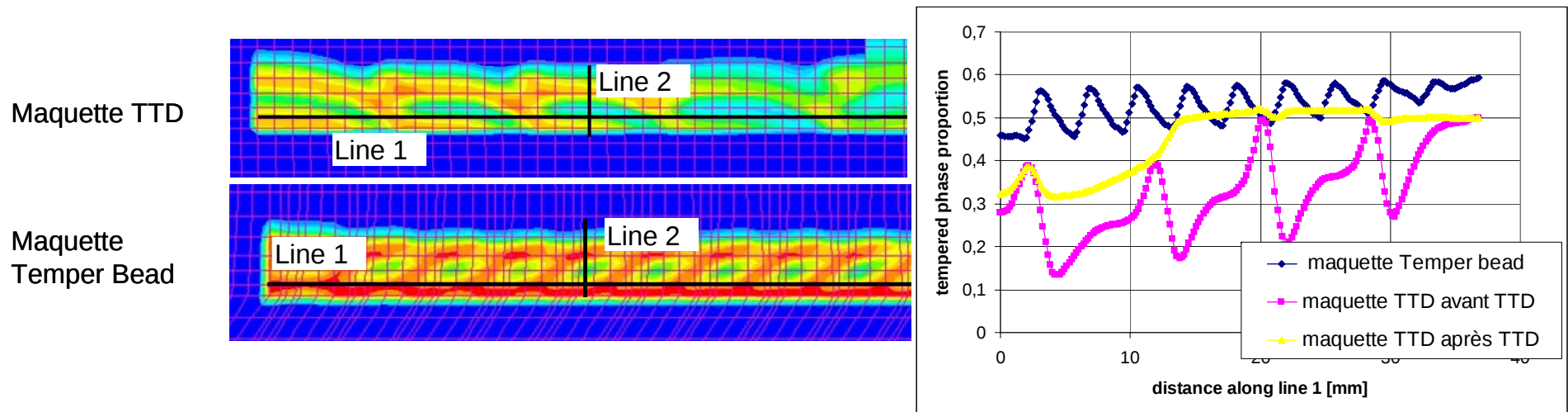
► TTD

Les contraintes dues
au beurrage côté
ferritique sont
partiellement relaxées
grâce au TTD



Justification de l'utilisation du «temper bead»

Microstructure



- La ZAT de la maquette temper bead est plus homogène
- le niveau de phase revenue est plus important dans la maquette temper bead que celui obtenu pour la maquette TTD

CONCLUSIONS



- ▶ **Le traitement thermique de détensionnement (TTD) après soudage réduit moins le niveau des contraintes résiduelles dans des liaisons Bimétalliques que dans les soudures homogènes**

Dans le cas des liaisons austénitique-ferritique, la simulation numérique montre que le détensionnement n'est efficace que dans la partie ferritique, mais réduit quand même les niveaux de contraintes dans la soudure

- ▶ **La simulation numérique montre que le TTD appliqué au beurrage d'une LBM donne de meilleurs résultats qu'un traitement de type « Temper bead » si l'on s'intéresse aux contraintes résiduelles dans la ZAT. En revanche l'efficacité du procédé Temper Bead pour le revenu de la ZAT est clairement démontrée par simulation numérique**