

Modélisation du martelage à haute fréquence des assemblages soudés

9^{ème} Colloque Modélisation et Simulation Numérique du Soudage
Le 31 mars 2011 | Maison de la Mécanique, Paris La Défense

G. Le Quilliec^{1,2,3}, G. Inglebert², M. Drissi-Habti³, H.-P. Lieurade¹, P. Macquet¹, L. Jubin¹, M. Afzali¹

¹CETIM ²LISMMA - Supméca Paris ³IFSTTAR



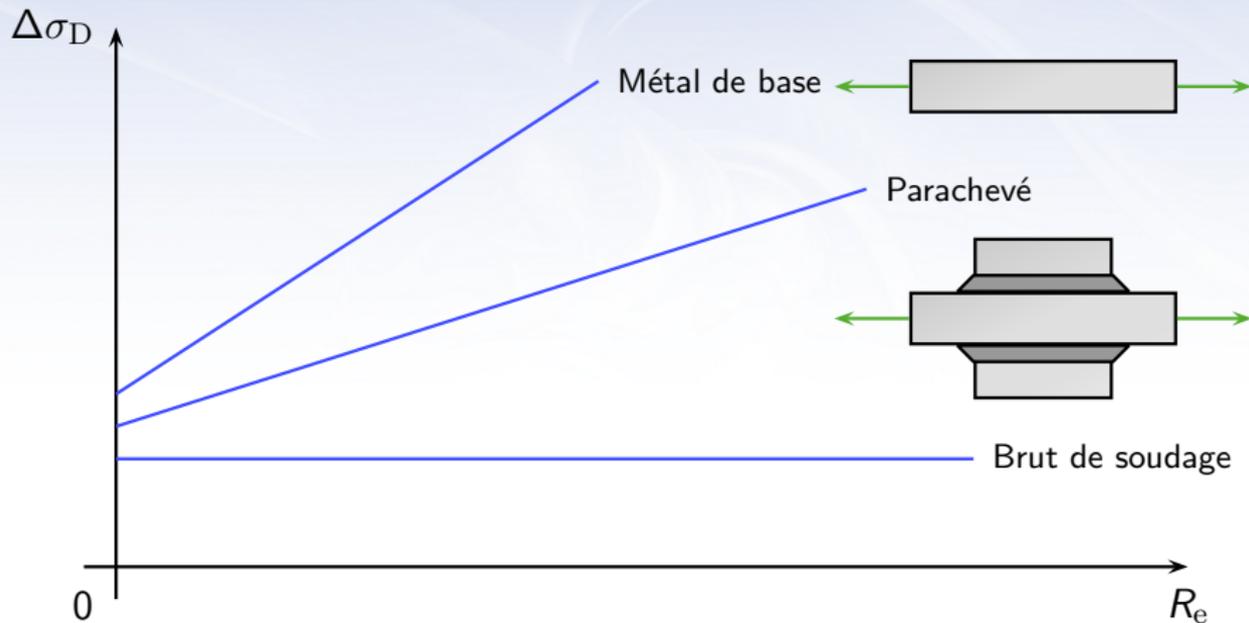
Sommaire

- 1. Présentation du MHF**
- 2. Caractérisation**
- 3. Modélisation**
- 4. Comparaisons**
- 5. Conclusions**

Sommaire

- 1. Présentation du MHF**
2. Caractérisation
3. Modélisation
4. Comparaisons
5. Conclusions

Fatigue des assemblages soudés



$\Delta\sigma_D$: Limite d'endurance

R_e : Limite d'élasticité

Principales méthodes de parachèvement

Refusion TIG :



Grenaillage :



Martelage conventionnel :



Etc.

Exemple de marteau à haute fréquence (MHF)

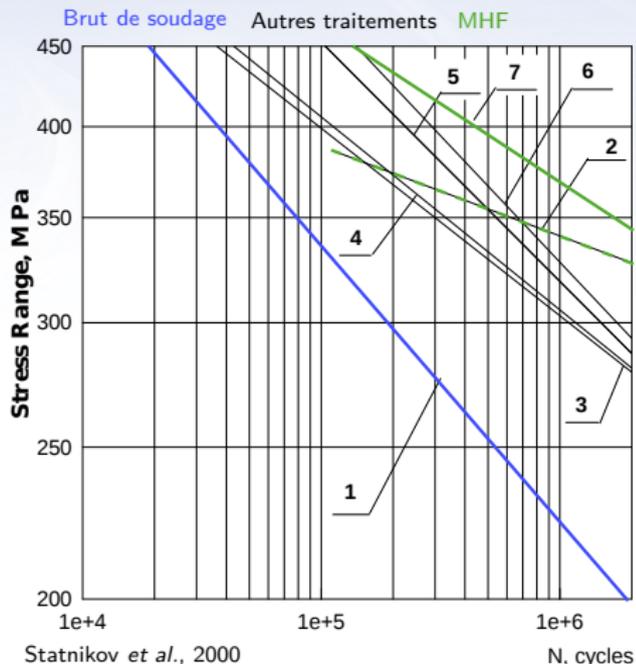


Modèle UIT Esonix

Effets du MHF sur les assemblages soudés

- Effets « directs » du MHF :
 - Géométrie locale ;
 - Géométrie globale ;
 - État de surface ;
 - Microstructure ;
 - Contraintes résiduelles.

- Effet « indirect » du MHF :
 - Tenue en fatigue.



Problème général lié à l'utilisation du MHF

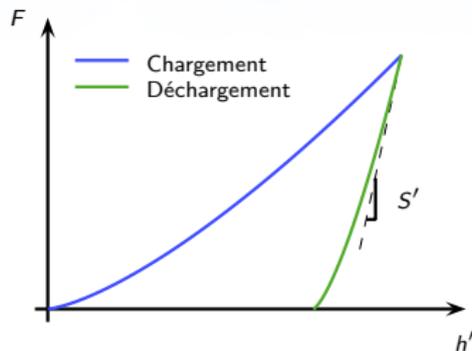
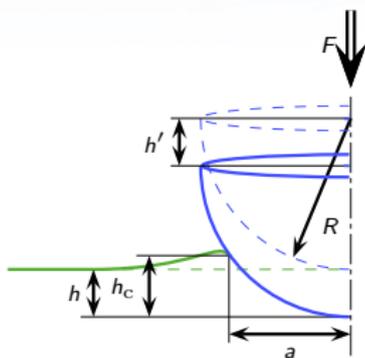
- Les résultats expérimentaux issus de la bibliographie montrent le plus souvent une forte amélioration ;
- Cependant, ils ne permettent pas, à eux seuls, de prédire la durée de vie en fatigue d'un assemblage soudé traité par MHF.

Sommaire

1. Présentation du MHF
- 2. Caractérisation**
3. Modélisation
4. Comparaisons
5. Conclusions

Estimation des caractéristiques mécaniques locales

- Proposition d'une méthode indirecte par indentation instrumentée inspirée des travaux de Collin *et al.*, 2008.

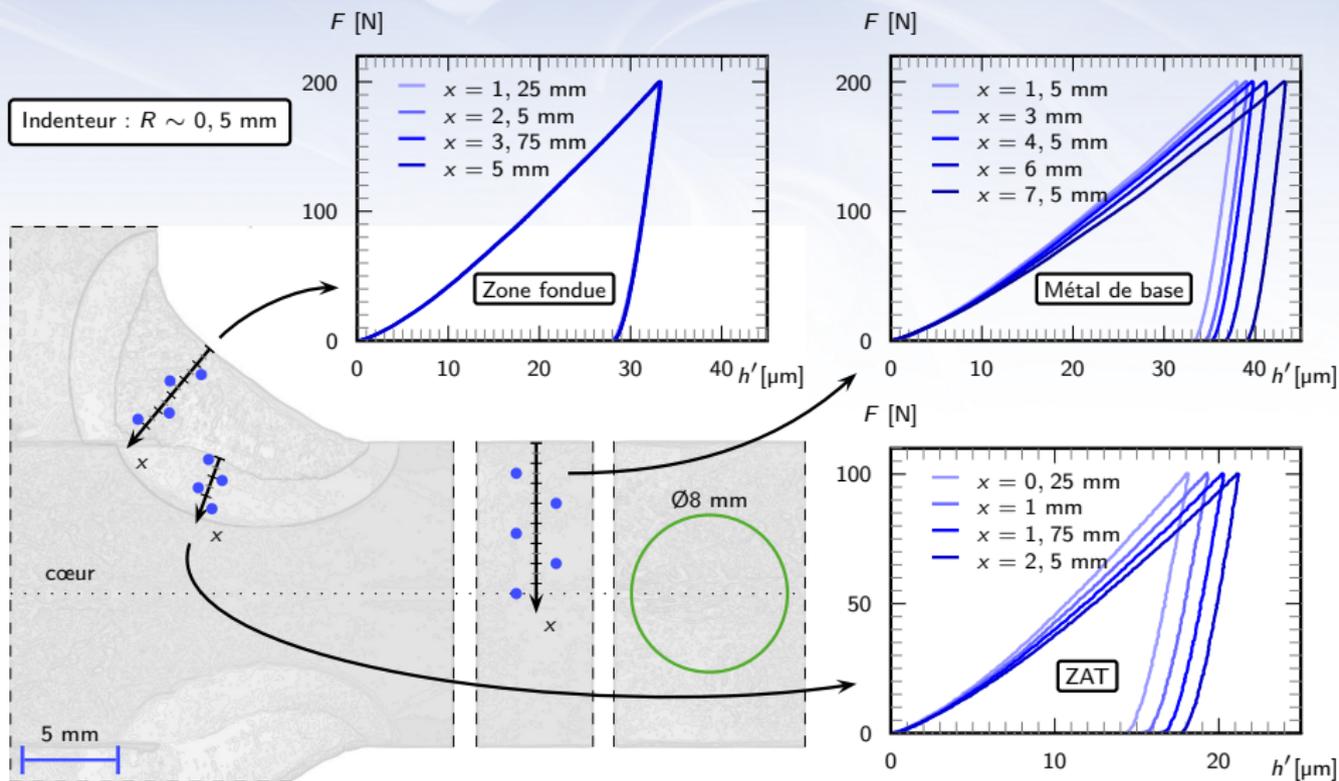


Estimation des caractéristiques mécaniques locales

- Principe de base :
 1. Simulation d'un ensemble d'indentations ;
 2. Recherche des relations entre :
 - les paramètres d'entrée (caractéristiques mécaniques) ;
 - et les paramètres de sortie (courbes d'indentation) ;
 3. Réalisation des indentations expérimentales ;
 4. Estimation des caractéristiques mécaniques associées aux courbes d'indentation expérimentales obtenues.

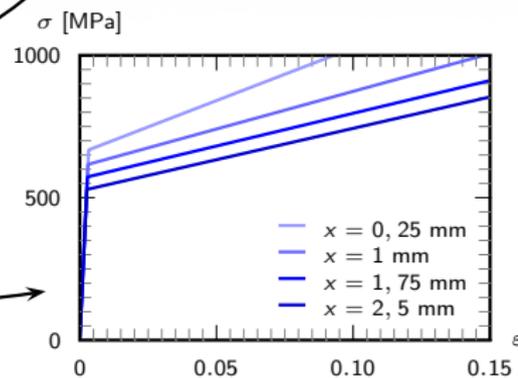
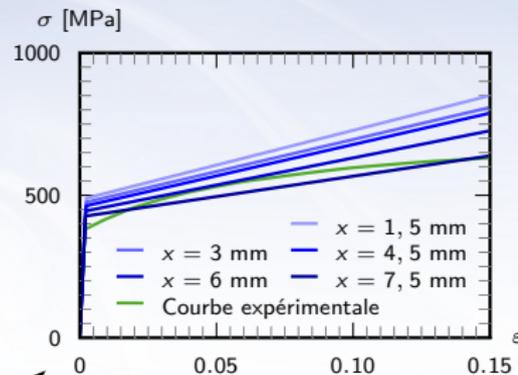
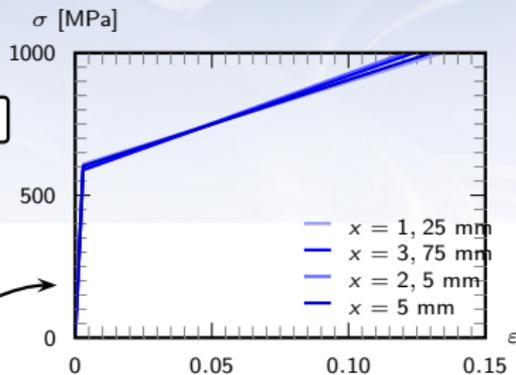
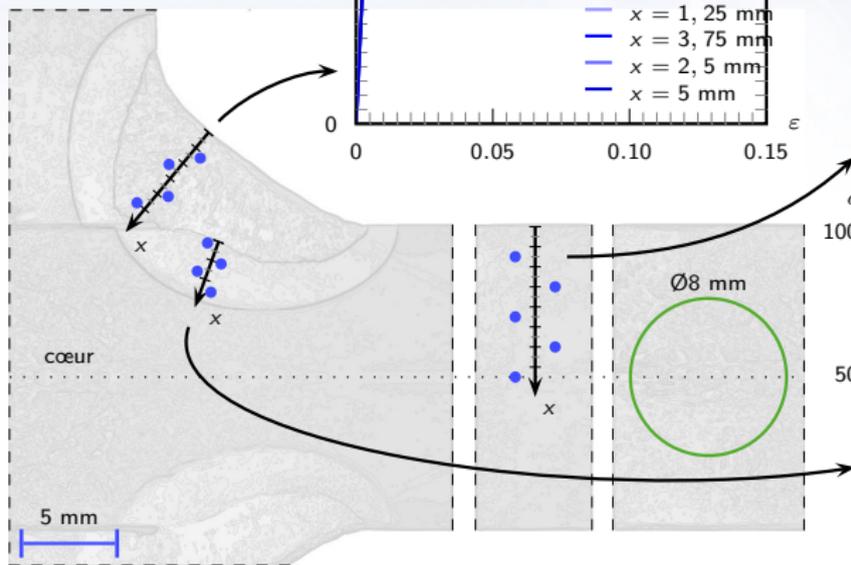
- Hypothèses et limitations :
 - Matériau élasto-plastique à écrouissage cinématique linéaire ;
 - Indentation sphérique (ou pseudo sphérique) ;
 - Profondeur d'indentation proche de $0,1 \times R$ (rayon de l'indenteur) ;
 - On ne considère que la courbe de « chargement ».

Indentations de l'assemblage soudé étudié



Indentations de l'assemblage soudé étudié

Indenteur : $R \sim 0,5 \text{ mm}$



Sommaire

1. Présentation du MHF
2. Caractérisation
- 3. Modélisation**
4. Comparaisons
5. Conclusions

Modélisation du MHF

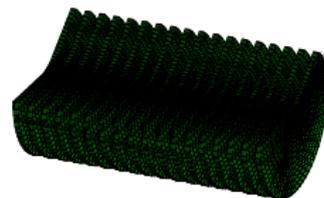
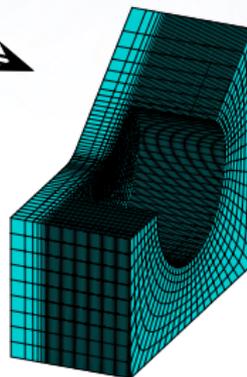
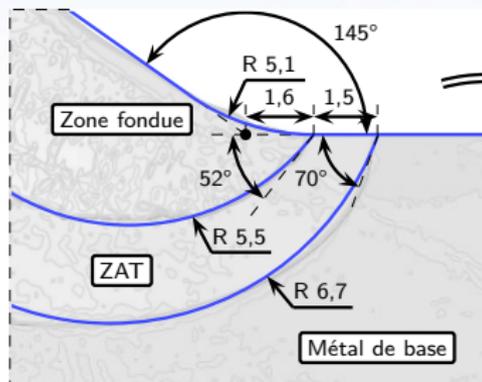
Utilisation d'une méthode directe dédiée aux chargements
« mobiles discontinus »

- Bases :
 - Utilisation de la méthode stationnaire passe-par-passe (proposée par Dang Van et Maitournam, 1993) ;
 - Extension au cas des chargements discontinus (de type MHF) ;
 - Implémentation (rapide) sur la base de la méthode « pas-à-pas » dans un code Éléments Finis (Cast3M) ;
 - Compatibilité directe avec la majorité des lois de comportement, le mode contact entre solides et l'accélération de convergence.
- La simulation du martelage à haute fréquence devient possible en un seul et unique pas de calcul.

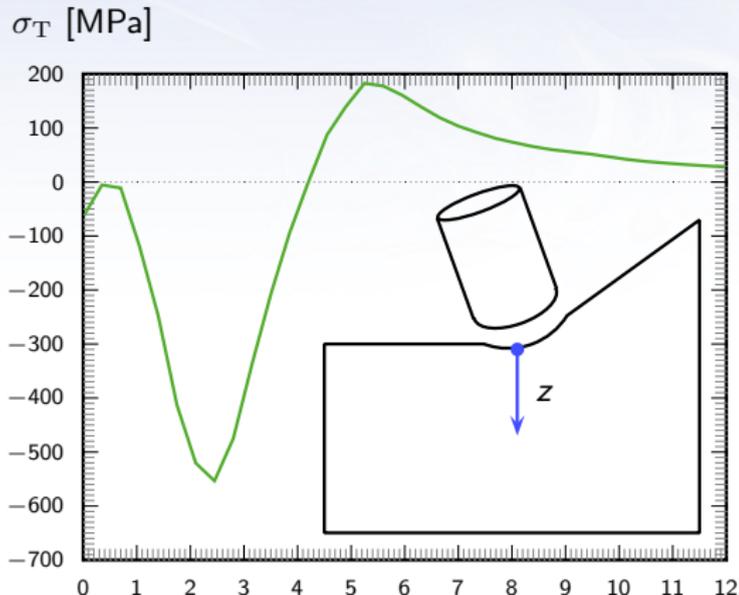
Modélisation du MHF

Simplification du pied de cordon

Génération du maillage et affectation des propriétés mécaniques issues des indentations



Modélisation du MHF



Répartition des contraintes résiduelles dans le sens transversal au sillon pour une profondeur de martelage paramétrée à 0,4 mm.

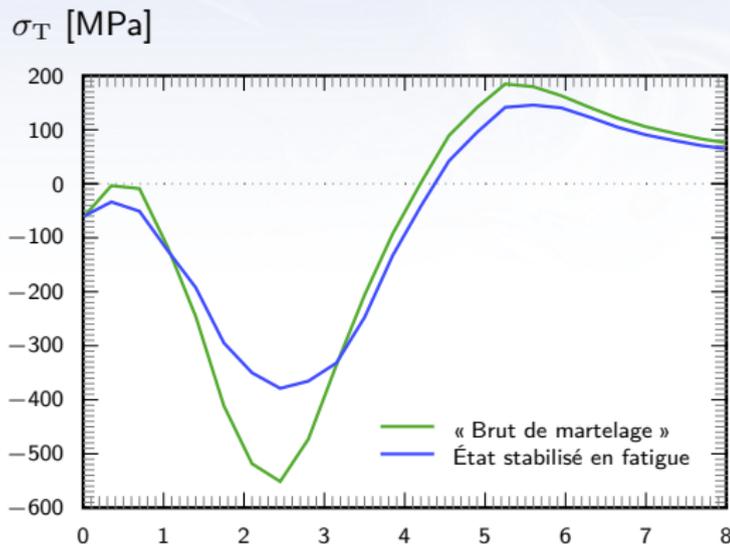
z [mm]

Modélisation du chargement en fatigue

Utilisation d'une méthode directe dédiée aux chargements cycliques

- Bases :
 - Utilisation de la méthode d'Akел et Nguyen (1989) ;
 - Optimisation dans le cas d'un chargement cyclique radial ($\Delta\sigma$ et σ_m constantes) par utilisation des règles de Zarka *et al.* (1990) ;
 - Implémentation dans un code Éléments Finis (Cast3M) ;
 - *Extension au comportement élasto-plastique à écrouissage cinématique multilinéaire et aux chargements thermiques avec des caractéristiques mécaniques fonction de la température.*
- La simulation du chargement en fatigue de l'assemblage soudé traité devient possible en un seul et unique pas de calcul.

Modélisation du chargement en fatigue



Relaxation des contraintes résiduelles précédentes pour un chargement en fatigue à $R = -1$ et $\Delta\sigma = 566$ MPa.

z [mm]

Estimation de la durée de vie en fatigue

- Utilisation d'une relation existante, par exemple celle de Manson-Coffin-Basquin modifiée par Morrow :

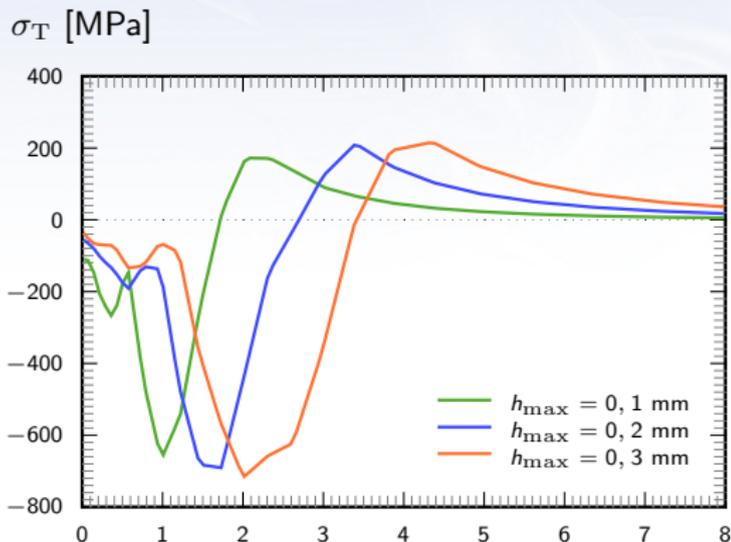
$$\frac{\Delta \varepsilon^t}{2} = \frac{\sigma'_f - \sigma_{\text{moy}}}{E} (2N)^b + \varepsilon'_f (2N)^c$$

- En première approche : utilisation des propriétés cycliques du métal de base à partir d'essais oligocycliques, ou utilisation d'une méthode d'approximation (par exemple la méthode des médianes).
- L'application de cette démarche aboutit à une durée de vie de l'assemblage considéré de 62 260 cycles à $R = -1$ et $\Delta \sigma = 566$ MPa.

Sommaire

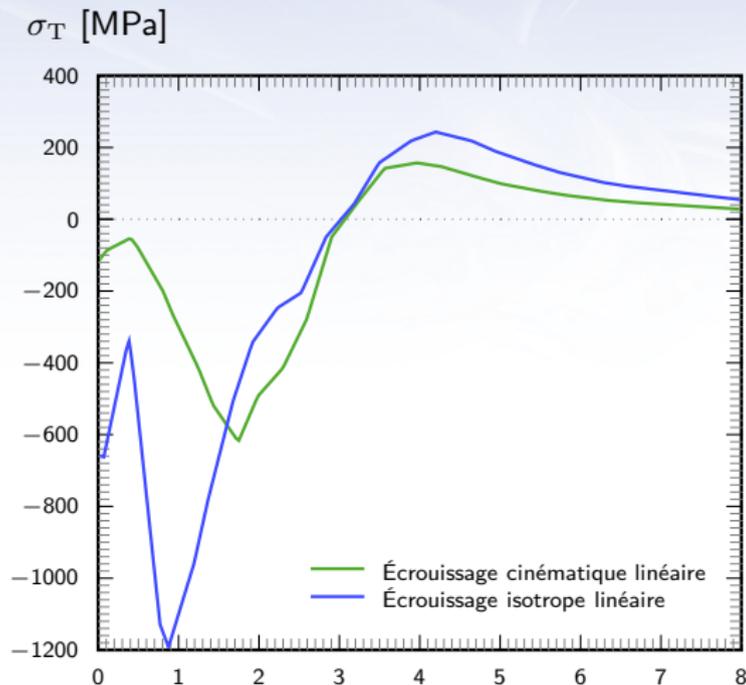
1. Présentation du MHF
2. Caractérisation
3. Modélisation
- 4. Comparaisons**
5. Conclusions

Influence de la profondeur d'indentation



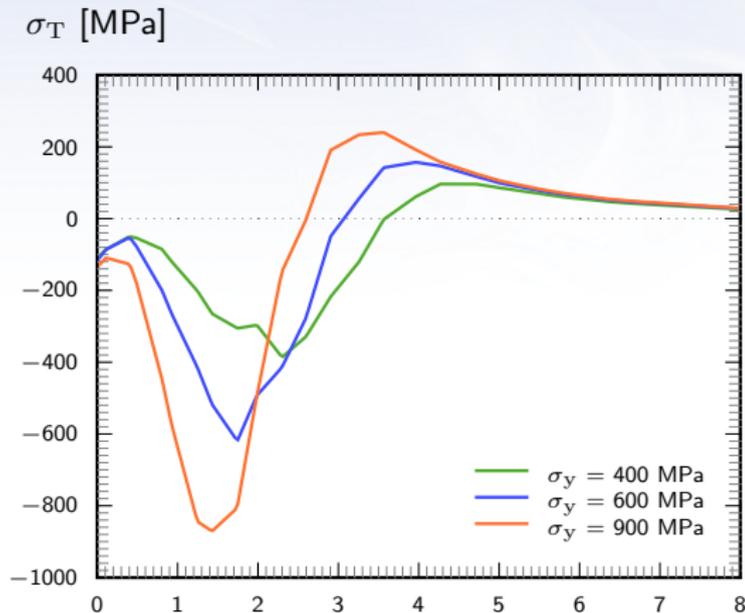
Influence de la
profondeur d'indentation
dans le cas du martelage
du métal de base.

Influence du type d'écroûissage



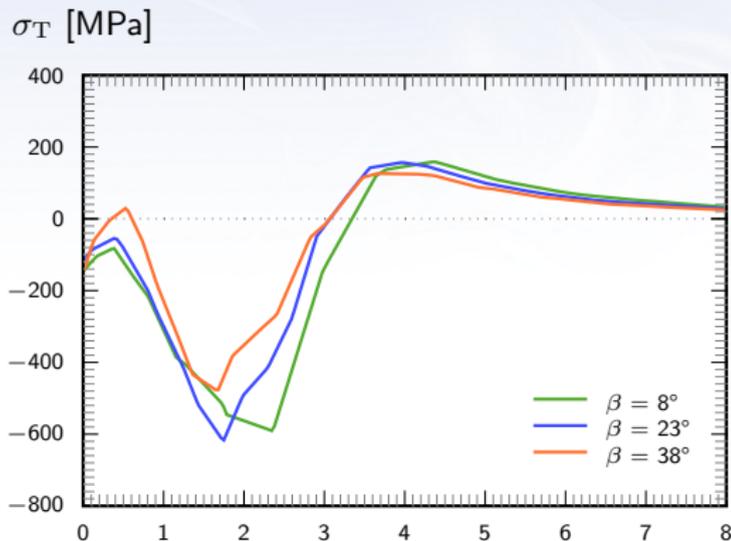
Influence du type
d'écroûissage dans le cas
du MHF d'un joint
d'angle.

Influence de la limite d'élasticité



Influence de la limite d'élasticité (considérée homogène) dans le cas du MHF d'un joint d'angle.

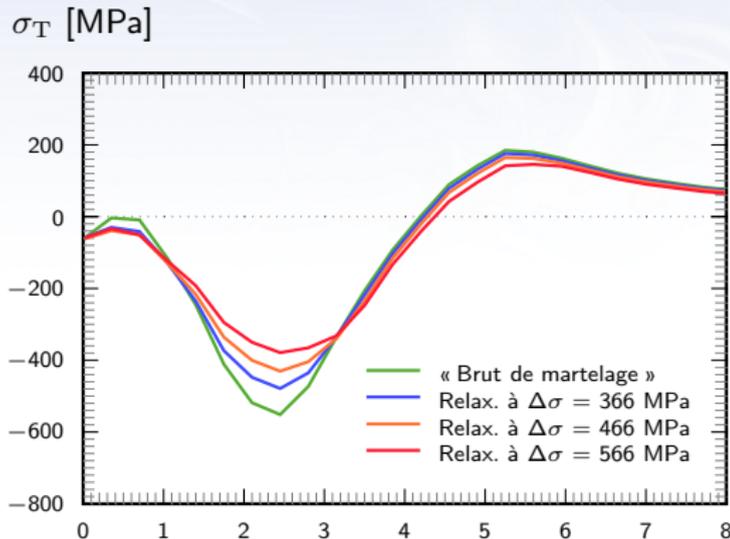
Influence de l'orientation de l'indenteur



Influence de l'orientation de l'indenteur par rapport à la normale à la semelle dans le cas du MHF d'un joint d'angle.

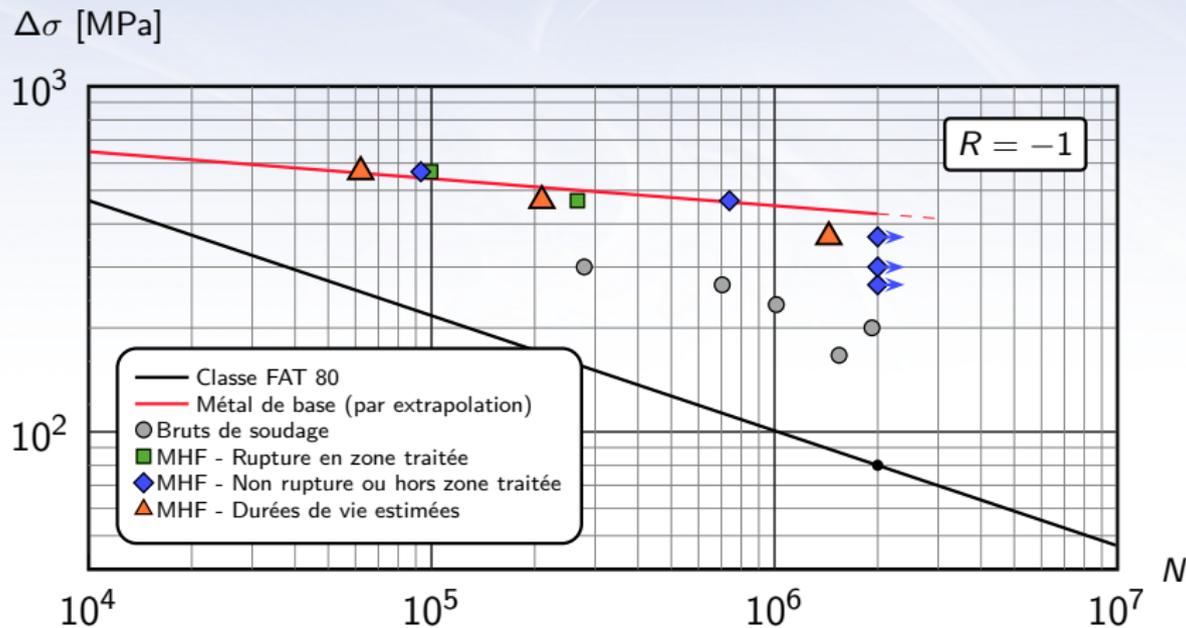
z [mm]

Influence du chargement en fatigue sur la relaxation des contraintes résiduelles



Influence du chargement en fatigue dans le cas du MHF d'un joint d'angle sollicité à $R = -1$.

Estimation de la durée de vie en fatigue



Légère sous-estimation :

potentiellement due à l'utilisation des propriétés cycliques du métal de base.

Sommaire

1. Présentation du MHF
2. Caractérisation
3. Modélisation
4. Comparaisons
- 5. Conclusions**

Conclusions

- L'**indentation instrumentée** permet une estimation simple et rapide des propriétés locales de l'assemblage ;
- Les **méthodes directes** proposées permettent la modélisation en un temps réduit du traitement par MHF des assemblages soudés ;
- Une **bonne concordance** est observée entre les résultats numériques et expérimentaux obtenus ;
- *L'**orientation des indenteurs** a une importance sur la formation des replis de martelage ;*
- Le **type d'écrouissage** influe fortement sur la répartition des contraintes résiduelles aux abords de la surface ;
- Le traitement par MHF permet de valoriser l'utilisation des **aciers HLE**.

Perspectives

- Aspects matériau :
 - Identification du **type d'écrouissage** à partir de l'indentation instrumentée ;
 - Étude (numérique/expérimentale) des effets du MHF sur les assemblages soudés en **acier HLE** ;
 - Étude de l'influence de l'état des **contraintes résiduelles initiales** en modélisant l'opération de soudage elle-même ;
- Aspects méthode ou technique :
 - Analyse complémentaire des **effets dynamiques**, du **frottement** et de l'**échauffement** au cours du MHF (négligés dans cette étude) ;
 - Analyse des effets du MHF sur des **structures en service** ;
 - Étude de l'influence de la **pression moyenne de l'outil** ;
- Aspects industriels :
 - Les **moyens de contrôle** potentiels seront également à identifier ;
 - Intégration de **recommandations de mise en œuvre** et/ou de **règles de calcul** dans les normes concernées.