



HAL
open science

Simulation numérique du soudage de grandes structures par une approche locale/globale

Yonggang Duan, Frederic Boitout, Jean-Baptiste Leblond, Jean-Michel
Bergheau

► **To cite this version:**

Yonggang Duan, Frederic Boitout, Jean-Baptiste Leblond, Jean-Michel Bergheau. Simulation numérique du soudage de grandes structures par une approche locale/globale. 8e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2007, Giens, France. hal-01508996

HAL Id: hal-01508996

<https://hal.science/hal-01508996>

Submitted on 15 Apr 2017

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Public Domain

Simulation numérique du soudage de grandes structures par une approche locale/globale

Définition du modèle local

Yonggang Duan* — **Frédéric Boitout**** — **Jean-Baptiste Leblond***** — **Jean-Michel Bergheau***

* *LTDS UMR 5513 CNRS/ECL/ENISE*

58 rue Jean Parot, 42023 Saint-Etienne Cedex 02

{yong-gang.duan, bergheau}@enise.fr

** *ESI Group*

Le Récamier, 70 rue Robert, 69458 Lyon Cedex 06

*** *LMM UMR 7607 CNRS/Université Paris VI*

Tour 65-55, 4 place Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

RÉSUMÉ. Une approche locale/globale (Souloumiac et al., 2002) a été développée pour déterminer les distorsions résiduelles de soudage des structures de taille importante. Cette méthode consiste à calculer les déformations plastiques sur un modèle local et à les projeter ensuite sur un modèle global. Les distorsions dues au soudage sont alors obtenues par une simple analyse élastique. L'objectif de cet article est d'étudier les conditions à respecter pour définir un modèle local permettant d'obtenir des résultats utilisables pour l'analyse élastique ultérieure sur l'ensemble de la structure. Dans cet article, le principe de l'approche locale/globale est présenté dans un premier temps et les problèmes proposés par cette approche au niveau du modèle local sont ensuite décrits. Enfin, la dernière partie est consacrée à l'étude de la définition du modèle local.

ABSTRACT. A local/global approach (Souloumiac et al., 2002) has been developed to determine the welding residual distortions of large structures. This method consists in calculating the plastic strains on a local model and projecting them to a global model. The distortions due to welding are obtained through a simple elastic analysis. The objective of this article is to study the conditions which need to be respected in the definition of the local model in order to get results, useful for the subsequent elastic analysis of the whole structure. In this article, the principle of the local/global approach is presented firstly and secondly the problems proposed by this approach are described. Finally, the last part is devoted to the definition of the local model.

MOTS-CLÉS : Soudage, distorsions résiduelles, approche locale/globale.

KEYWORDS: Welding, residual distortions, local/global approach.

1. Introduction

La prédiction des distorsions résiduelles de soudage est plus délicate que celle de la microstructure et des contraintes. Pour les structures de tailles importantes, un maillage 3D complet est inenvisageable en raison des coûts de calcul. De nombreuses méthodes ont donc été développées pour réduire la taille des modèles (Faure *et al.*, 2004).

Souloumiac (Souloumiac *et al.*, 2002) a développé une approche locale/globale pour déterminer les distorsions résiduelles des structures minces de grandes dimensions.

Dans cet article, nous présentons le principe de l'approche locale/globale dans une première partie, de même que les problèmes posés par cette méthode. Une deuxième partie est consacrée à la définition du modèle local.

2. Principe de l'approche locale/globale

L'approche locale/globale proposée par Souloumiac (Souloumiac *et al.*, 2002) s'appuie sur deux niveaux de modélisation et vise à coupler les résultats obtenus sur un modèle local (premier niveau) avec une simulation globale sur l'ensemble de la structure (deuxième niveau).

Les déformations plastiques et la microstructure métallurgique induites par le soudage sont supposées être localisées à proximité du joint soudé. Il est donc possible de déterminer les déformations plastiques en utilisant un modèle 3D local, ne concernant que le joint et son voisinage. Au niveau de la structure complète, la distorsion globale est supposée due aux déformations plastiques locales induites par le soudage et le comportement global peut être considéré comme élastique. Les déformations plastiques locales sont donc reportées, en tant que déformations initiales, dans un modèle 3D global, concernant cette fois toute la structure et étant évidemment beaucoup moins raffiné dans la zone soudée. Ensuite une simple analyse élastique est menée pour déterminer les distorsions résiduelles.

La simulation locale doit refléter les conditions de soudage telles qu'elles existent sur la structure réelle, ce qui demande de choisir des conditions aux limites adaptées. Les problèmes soulevés par cette approche sont doubles. Il s'agit tout d'abord de retrouver des distributions de températures correctes sur un modèle incomplet de la structure. Ensuite, il est nécessaire d'étudier la taille du modèle local et les conditions aux limites appliquées à sa frontière pour reproduire correctement les conditions mécaniques imposées par le reste de la structure, et donc évaluer correctement les déformations plastiques induites par le soudage.

3. Etude de la définition du modèle local

3.1 Propositions

Pour déterminer des dimensions raisonnables pour le modèle local dans le cadre de la simulation thermique, des simulations 3D simples sont réalisées sur un modèle de structure simplifiée de type plaque prolongée latéralement. Des éléments représentant un milieu infini dans une direction sont utilisés pour reproduire la diffusion de la chaleur loin de la source. Cela permet de déterminer des dimensions qui assurent que la température sur les frontières est homogène dans l'épaisseur. Une fois cette taille déterminée, des calculs thermo-métallurgiques couplés sur un modèle local prolongé avec des éléments thermiques de type coque sont effectués. Le choix des dimensions optimales dépend alors de considérations mécaniques.

Pour ce qui concerne la partie mécanique, l'influence des dimensions du modèle local et des conditions aux limites appliquées à sa frontière sur les déformations plastiques calculées doit donc maintenant être étudiée par rapport à un calcul de référence.

3.2 Calcul de référence

Afin d'effectuer le calcul de référence, une simulation du soudage d'une structure de taille importante est réalisée (Figure 1). Le procédé de soudage de cette structure étant symétrique, seule la moitié est modélisée. Une source de chaleur se déplace au milieu de la face supérieure pour déposer un cordon de soudure de 140 mm de long. Le matériau considéré est l'acier 16MND5, dont les caractéristiques sont assez bien connues (Waeckel, 1994).

La simulation est réalisée dans l'hypothèse des petites perturbations. Les déformations plastiques équivalentes n'existent qu'au voisinage de la soudure, la taille de la zone affectée par ces déformations étant de l'ordre de 4mm.

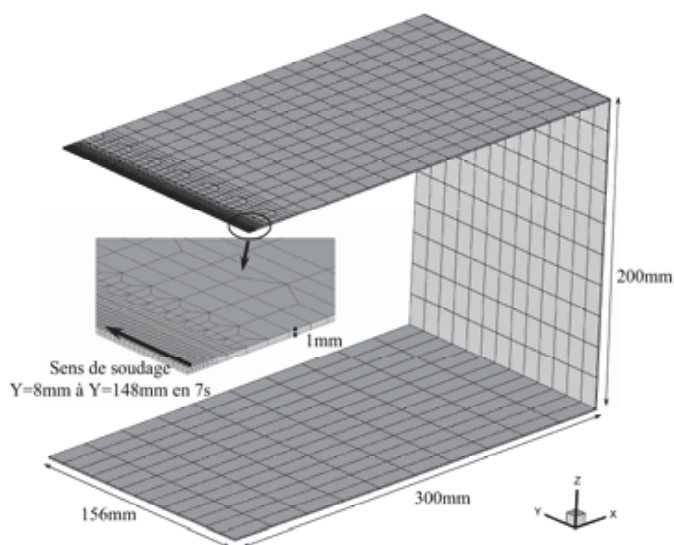


Figure 1. *Modèle de référence en éléments finis*

3.3 Largeur minimum du modèle local

La méthode de « transformation de l'espace » a été introduite dans SYSTUSTM (Systus, 2005) pour traiter les problèmes définis sur des domaines non bornés. Pour ce type de source de chaleur peu pénétrante, les distributions de température sont à peu près homogènes dans l'épaisseur, et ce à partir de 5 mm de profondeur, donc il est raisonnable de choisir cette valeur pour la largeur minimum du maillage local. C'est elle qui sera utilisée pour la simulation mécanique.

3.4 Dimensions optimales du modèle local

Les modèles locaux prolongés avec des éléments coques sont utilisés pour les calculs thermo-métallurgiques couplés, en tenant compte de la largeur minimum précédemment définie. Ainsi la largeur de la partie 3D est prise supérieure ou égale à 5 mm. La source de chaleur appliquée et le matériau sont les mêmes que dans le cas précédent. Le modèle concernant le calcul mécanique n'est composé que d'éléments 3D et une partie, de largeur 4mm, est choisie pour effectuer la comparaison avec le modèle de référence.

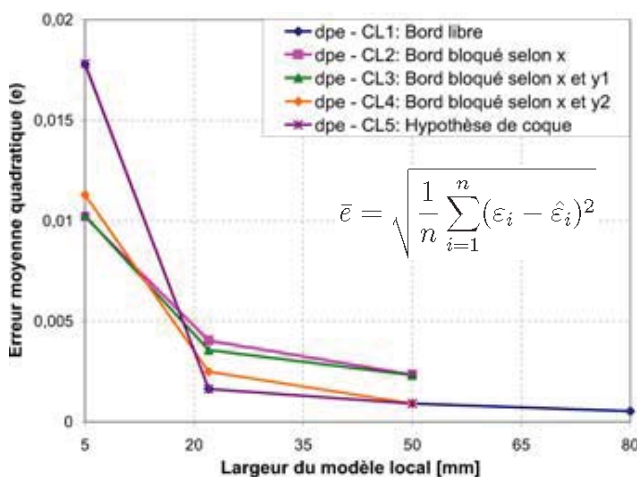


Figure 2. Erreur moyenne quadratique des déformations plastiques équivalentes en fonction de la dimension latérale

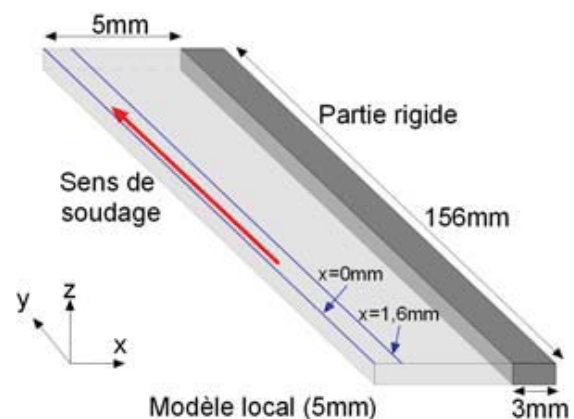


Figure 3. Conditions rigides appliquées à la frontière en ajoutant une partie rigide

Pour tester l'influence des dimensions du modèle local et des conditions aux limites appliquées à sa frontière sur les déformations plastiques calculées, une série de calculs est effectuée en faisant varier la largeur du modèle local (partie 3D dans l'analyse thermique) de 5 mm à 80 mm et en considérant dans un premier temps cinq types de conditions aux limites (a : bord libre ; b : bord bloqué ; c : bord bloqué selon x et y aux deux extrémités ; d : bord bloqué selon x et y ; e : hypothèse de coque). Les résultats des premiers calculs sont présentés sur la Figure 2 qui indique l'erreur moyenne quadratique réalisée par rapport au modèle de référence en fonction de la dimension latérale du modèle local.

Comme nous pouvons le constater, les erreurs moyennes quadratiques deviennent insensibles aux conditions aux limites appliquées aux frontières, quand la largeur du modèle local est supérieure à une certaine valeur. Dans le cas d'une largeur de 5 mm, le calcul avec frontière bloquée selon x et celui avec frontière bloquée selon x et y aux deux extrémités donnent les meilleurs résultats. Le blocage dans la direction longitudinale n'améliorant pas les résultats, il est donc raisonnable d'affirmer que les déformations plastiques équivalentes sont essentiellement gouvernées par les déformations plastiques transverses dans ce cas. De plus, le calcul avec « frontière libre » donne systématiquement les meilleurs résultats quand la largeur du modèle local est supérieure à une certaine valeur. Dès lors, nous ne nous intéressons qu'à une gamme limitée de largeur pour le modèle local.

En fait, dans les calculs précédents, l'effet du reste de la structure sur la formation des déformations plastiques, est toujours à reconsidérer. Ainsi, un type de conditions aux limites, consistant à utiliser une partie très rigide ajoutée à la frontière du modèle local afin de garder la frontière plane (Figure 3), est proposé. Il convient de faire varier la valeur du module d'Young de la partie « rigide » pour augmenter la rigidité. Une première valeur du module d'Young E ($201000MPa$) correspondant un module à froid du 16MND5 est utilisée. Une seconde valeur de $3E$ ($603000MPa$) est utilisée pour la suite.

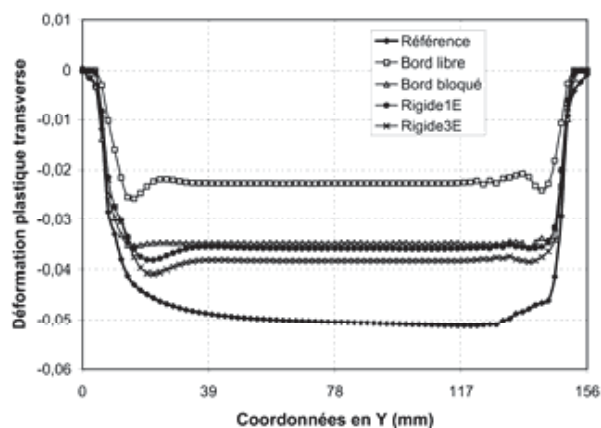


Figure 4. Comparaison des déformations plastiques transverses ($x=0mm$)

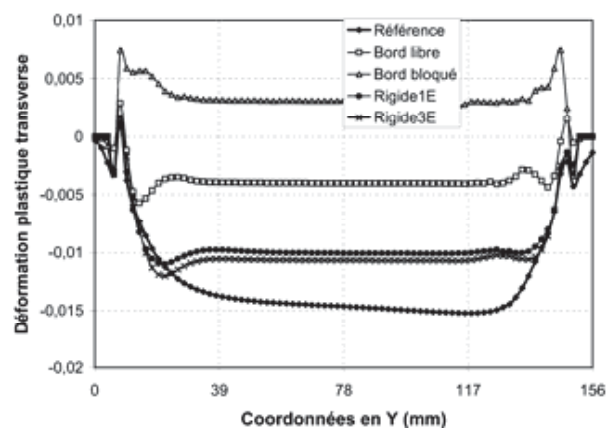


Figure 5. Comparaison des déformations plastiques transverses ($x=1,6mm$)

Pour ce modèle local, l'erreur moyenne quadratique est de 0,0102 lors la condition aux limites est de type « frontière bloquée ». Avec le nouveau type de conditions aux limites, « frontière rigide », le calcul mécanique avec « E » diminue l'erreur moyenne à 0,0091 et celui avec « 3E » la diminue jusqu'à une valeur de 0,0075.

Les déformations plastiques obtenues avec ce modèle sont également comparées à celles obtenues avec le calcul de référence. La comparaison des déformations

plastiques transverses sur la ligne $x=0\text{mm}$ est représentée en Figure 3 et celle sur la ligne $x=1,6\text{mm}$ est tracée en Figure 4. Comme nous pouvons le remarquer, les calculs avec « frontière rigide » sont plus proches de résultats de référence en augmentant la rigidité de la partie rigide ($E \rightarrow 3E$). Toutefois, l'écart entre les déformations correspondant au calcul avec « $3E$ » et celles du calcul de référence est de nouveau égal à 0,01 sur la ligne $x=0\text{mm}$ dans la zone d'état stationnaire, qui reste correspondant à l'erreur moyenne quadratique évoquée précédemment et mais reste inacceptable.

Considérant l'importance des déformations plastiques transverses dans ce cas, le type de conditions aux limites « frontière rigide » permet de mieux simuler les conditions imposées par le reste de la structure. L'objectif étant de calculer les déformations plastiques correctement en appliquant des conditions aux limites sur les modèles locaux ayant la largeur la plus petite possible, les résultats peuvent encore être améliorés en augmentant le module d'élasticité de la partie rigide ou élargissant la dimension latérale du modèle local.

4. Conclusions et perspectives

Afin de refléter les conditions de soudage telles qu'elles existent sur la structure réelle, les conditions aux limites appliquées à la frontière du modèle local ont été étudiées. Dans un premier essai, cinq types de conditions aux limites mécaniques ont été testés. Ensuite, l'influence d'une raideur élastique transverse sur les déformations plastiques calculées a été étudiée. Enfin, un type de conditions aux limites « frontière rigide » qui permet une diminution importante de l'erreur moyenne a été développé.

Finalement, les dimensions minimales du modèle local étant dépendantes aussi bien de la source de chaleur que de l'épaisseur de la structure, les influences de ces deux paramètres devront être étudiées. Une méthodologie déterminant la dimension optimale du modèle local pourra alors être déterminée.

5. Bibliographie

- Faure F., Bergheau J.M., Leblond J.B., Souloumiac B., « New methods for numerical simulation of welding of large thin structures », *Revue Européenne des Eléments Finis, numéro special Numerical Simulation of Welding*, vol. 13, n°2/3, 2004, p. 289-311.
- Souloumiac B., Boitout F., Bergheau J.M., « A new local global approach for the modelling of welded steel component distortions », *Mathematical Modelling of Weld Phenomena 6*, London, 2002, Maney Publishing, p. 573-590.
- SYSTUS/SYSWELD, *User's manual*, ESI Group, 2005.
- Waeckel F., Une loi de comportement thermo-métallurgique des aciers pour le calcul mécanique des structures, Thèse de doctorat, ENSAM, Paris, France, 1994.