

# Simulations numériques du soudage multipasse de plaques en inconel.

*Lionel Depradeux (EC2MS), Claire Naudin,  
Claude Amzallag (EDF DPI SEPTEN)*

## Introduction

Dans un générateur de vapeur, la plaque de partition (PP) et l'attente de plaque (AP) permettent de séparer la boîte à eau en deux parties pour la circulation du fluide primaire. La plaque de partition soudée au fond du GV et l'attente de plaque solidaire de la plaque tubulaire sont en inconel (alliage à base de nickel). La soudure AP-PP est déposée manuellement à l'électrode enrobée, et n'est pas détensionnée après soudage. Parmi les zones inconel à risques, les joints soudés sont prépondérants dans la mesure où ceux-ci sont le siège de contraintes résiduelles qui peuvent demeurer importantes à l'état permanent. Le but des travaux proposés est donc le calcul, au moyen de la simulation numérique avec *Code\_Aster*, des contraintes générées à l'issue de chaque étape de fabrication (soudage, épreuve hydraulique) ainsi qu'à l'état permanent, dans la partie courante de la zone soudée AP/PP, en prenant en compte pour la phase de soudage les phénomènes thermomécaniques mis en jeu.

## Simulations du soudage passe par passe sur modèle 2D

Tout d'abord, une simulation bi-dimensionnelle de l'opération de soudage, prenant en compte le dépôt de l'ensemble des cordons élémentaires correspondant à chaque passe de soudage, est réalisée.

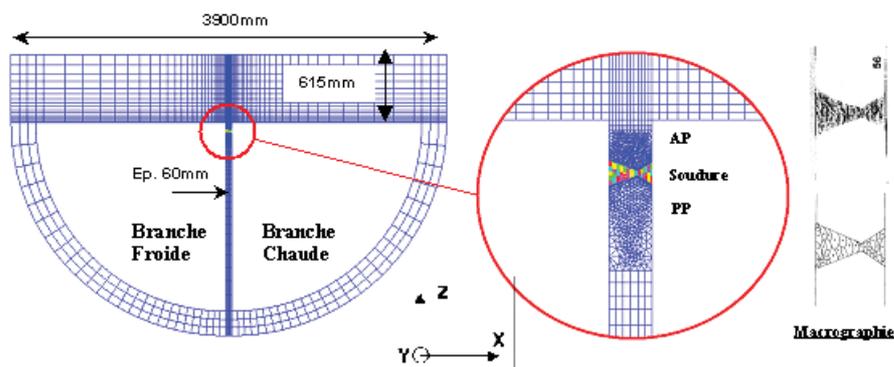


Figure 1 : Maillage 2D du bol de GV et détail de la zone soudée

Ces simulations 2D autorisent des temps de calculs et des capacités mémoires modérées, ce qui permet un affinement du maillage, et la prise en compte de tous les cordons de soudure en introduisant un apport de chaleur réaliste.

Le maillage 2D complet (fig. 1) considère une section perpendiculaire à l'avancée de la soudure et comporte environ 8000 nœuds. Le maillage des cordons de soudures s'appuie sur une macrographie d'un coupon soudé dans des conditions similaires. Bien que ce type de simulation soit en général menée en 2D-déformations planes, ce qui est un peu sévère sur les contraintes obtenues perpendiculairement au plan modélisé, la modélisation adoptée ici est bidimensionnelle axisymétrique, et considère un « tore » dont la section est celle du GV considéré, et dont le rayon de courbure est très élevé relativement aux dimensions de la section.

Le calcul du soudage avec *Code\_Aster* découple les phénomènes thermique et mécanique. L'évolution thermique transitoire non linéaire est effectuée en première étape, par résolution de l'équation de la chaleur dans le volume de la pièce (THER\_NON\_LINE), à la suite de quoi le calcul chaîné de l'évolution mécanique est réalisé (STAT\_NON\_LINE). L'apport de chaleur provenant du soudage est modélisé en tant que densité volumique de flux de chaleur (SOURCE) imposée dans le volume de chaque cordon élémentaire. La valeur de cette densité de flux de chaleur et sa répartition temporelle sont déterminées de telle sorte que l'énergie totale imposée en 2D (en J/m) soit égale à l'énergie nette de soudage  $h_{UIV}$  délivrée lors d'une passe (déduite des paramètres de soudage).

# Simulations numériques du soudage multipasse de plaques en Inconel.

Lionel Depradeux (EC2MS), Claire Naudin, Claude Amzallag (EDF DPI SEPTEN)

Les propriétés thermophysiques et mécaniques sont dépendantes de la température. Pour la mécanique, une loi de comportement élastoplastique de von Mises est adoptée avec l'hypothèse d'un écrouissage cinématique, mieux adapté au multipasse dans la mesure où il permet de représenter partiellement l'effet Bauschinger. Les calculs sont effectués en petites déformations mais sur géométrie réactualisée à chaque pas de temps (PETIT\_REAC).

Pour la partie thermique, les cordons sont pris en compte au fur et à mesure de leur dépôt en emboîtant les modèles thermiques et en prolongeant les champs à chaque passe par une boucle en Python, tandis qu'en mécanique les cordons sont désactivés en leur affectant un module d'Young très faible.

La simulation 2D conduit alors à un profil de contraintes de référence, qui permet ensuite, sur un modèle tridimensionnel du bol de GV, d'ajuster

les paramètres à introduire de façon à retrouver le profil de contraintes obtenu en 2D.

## Simulations du soudage sur modèle 3D

Un modèle 3D est en effet nécessaire pour appliquer les chargements correspondant à l'épreuve hydraulique et à l'état permanent, mais la taille des calculs 3D pour la phase de soudage oblige à grouper les passes élémentaires en « macro-dépôts ». L'apport de chaleur à introduire dans ces macro-dépôts en 3D peut alors se déduire des résultats 2D.

Le maillage 3D complet ne considère par symétrie qu'un demi bol de GV (Fig. 2). La méthodologie de calcul est identique à celle mise en oeuvre en 2D, à la différence qu'en 3D les passes élémentaires sont groupées en deux macro-passes successives (une coté grand chanfrein, une coté petit

chanfrein). L'apport de chaleur à affecter dans ces macro-dépôts est alors déterminé d'après les analyses 2D. Les résultats obtenus indiquent une concordance raisonnable 2D-3D (fig. 3) tant sur la répartition des contraintes que sur les valeurs maximales obtenues.

L'obtention de ce champ de contraintes « initial » sur le maillage 3D permettra alors de mener à la suite la simulation de l'épreuve hydraulique et de l'état permanent. ■

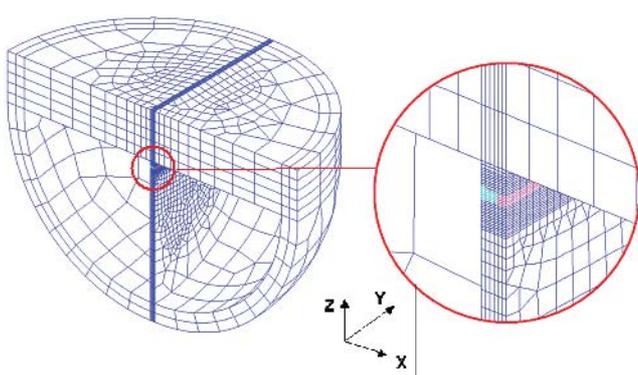


Figure 2 : Maillage 3D et détail de la zone soudée

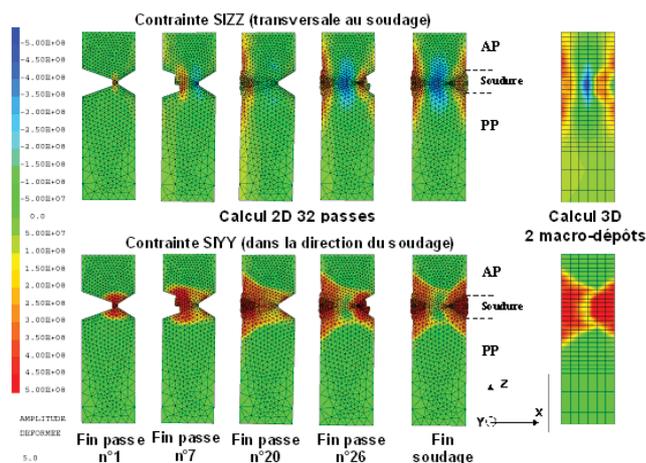


Figure 3 : Isovaleurs sur déformées (x5) de contraintes résiduelles SY Y et SIZZ obtenues en 2D et comparaison avec les isovaleurs obtenues en 3D