

# Simulation numérique d'un essai de soudage sur tube en 13 passes

Cette étude, réalisée dans le cadre d'actions coopératives EDF-CEA-Framatome, vise le calcul thermo-mécanique de 13 passes de soudage en bidimensionnel axisymétrique et la confrontation des résultats du calcul à des valeurs d'essais. La maquette expérimentale équipée d'un dispositif de soudage instrumenté est un tube cylindrique (acier inox austénitique forgé 316L) avec chanfrein médian au fond duquel 13 passes de soudure de même matériau sont déposées par le procédé TIG (1).

On mesure au cours des essais : les températures en des points proches de la zone soudée, les déplacements de la zone du chanfrein après chaque passe, les contraintes résiduelles en peau externe. La modélisation des cordons de soudure dans leur géométrie courbe réelle compte 3632 nœuds et 1213 éléments quadratiques (2).

## Calculs thermiques

On adopte un comportement non linéaire complet : propriétés fonction de la température, hypothèse de convection et de rayonnement à la surface extérieure, prise en compte des chaleurs latentes de changement d'état liquide-solide. La source de chaleur est appliquée volumiquement dans le métal déposé et est variable en temps et constante en espace. Avec les hypothèses précédentes on effectue un calcul thermique non linéaire transitoire, passe par passe, suivant strictement le plan des essais. Les phases de refroidissement entre chaque passe respectent les temps mesurés. L'apport de matière en fin de passe est pris en compte par ajout, à chaque passe, dans le modèle thermique, des éléments finis correspondant à la modélisation de la passe, auxquels on applique la source de chaleur

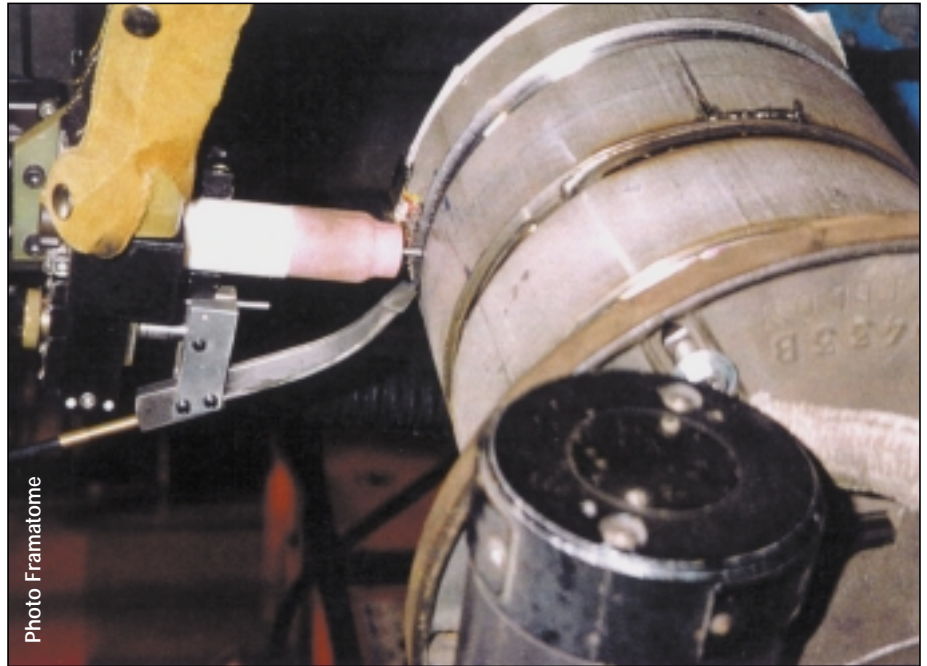


Photo Framatome

## 1 Maquette tubulaire pour soudage TIG

précédemment définie. Les modèles thermiques sont donc "emboîtés".

## Calculs mécaniques

La relation de comportement est élasto-visco-plastique (relation `META_VNL` dans *Aster*), avec écrouissage isotrope non linéaire et restauration visqueuse de l'écrouissage. On effectue les calculs en petites déformations et grands déplacements (option `PETIT_REAC` de `STAT_NON_LINE`).

La modélisation étant axisymétrique, la soudure est déposée sur toute la circonférence en même temps avec libre dilatation et contraction du tube. Dans la réalité, la partie de structure froide exerce un bridage de la zone soudée dont la modélisation axisymétrique ne permet pas de rendre compte. Cet autobridage s'estompe quand la chaleur diffuse et disparaît lors du refroidissement. On remédie à cette

lacune de modélisation, en bridant axialement le tube dans la phase de chauffage.

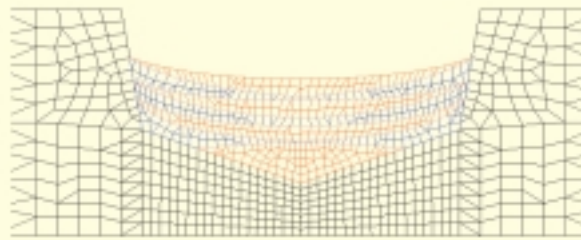
Pour l'accrochage des cordons de soudure, la technique adoptée diffère de celle de la thermique : le modèle comprend dès la passe 1 les 13 cordons, les 12 derniers étant désactivés en leur affectant un module d'Young quasi-nul. Ces cordons sont accrochés au premier cordon et à la structure de façon à ce qu'ils se déforment avec ces derniers. Au fil des passes, on active un à un les cordons en leur restituant leur vrai module d'Young. Ainsi, il n'y a aucune liaison entre groupe de nœuds à gérer, ce qui facilite la mise en données. Autre avantage : cette technique permet de réactualiser la géométrie au terme de chaque passe sans remailler les cordons non activés puisqu'ils sont présents dès

# Simulation numérique d'un essai de soudage sur tube en 13 passes (suite)

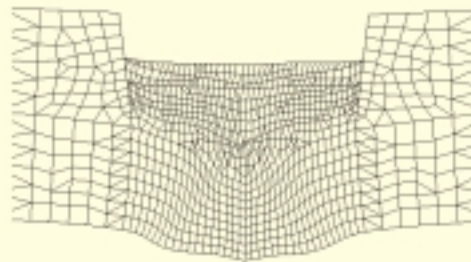
le départ et se déforment avec le maillage. En pratique, il faut veiller à la faible déformation de ces cordons, sinon il faudrait les remailler ; ce qui n'est pas advenu durant ces calculs. La déformée finale (échelle 1) montre néanmoins des déplacements importants (3). Les contraintes résiduelles de von Mises sont données en (4).

## Résultats

Au fil des passes, le chanfrein se rétracte. On note la bonne concordance calculs-mesures sur les déplacements cumulés des bords du chanfrein (5) et sur les contraintes résiduelles (2 séries de mesures à 2 azimuths différents) en fin de passes 5, 9 et 13 (on ne dispose de mesures que du côté libre) (6). Près du chanfrein, les valeurs sont assez voisines, par contre, les contraintes expérimentales s'annulent plus vite que celles calculées et présentent même d'importantes valeurs négatives. Néanmoins les allures globales des courbes calculs/mesures se retrouvent.



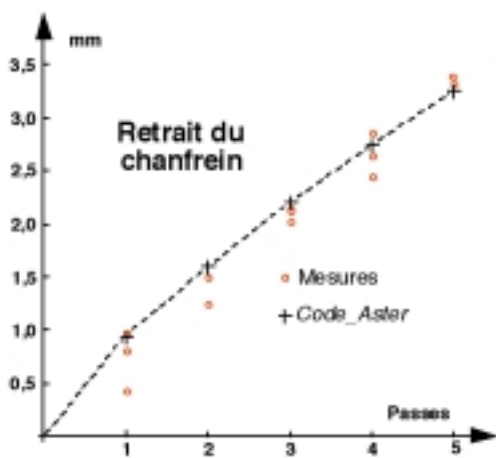
2 Maillage des cordons de soudure dans le chanfrein



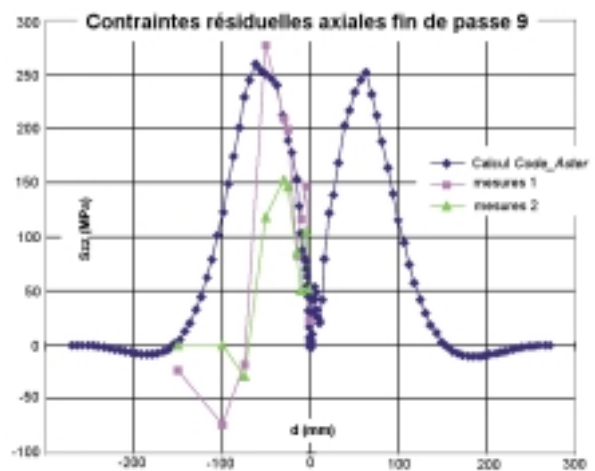
3 Déformée après les 13 passes de soudure



4 Contraintes résiduelles de von Mises



5 Retrait du chanfrein



6 Contraintes résiduelles axiales fin de passe 9