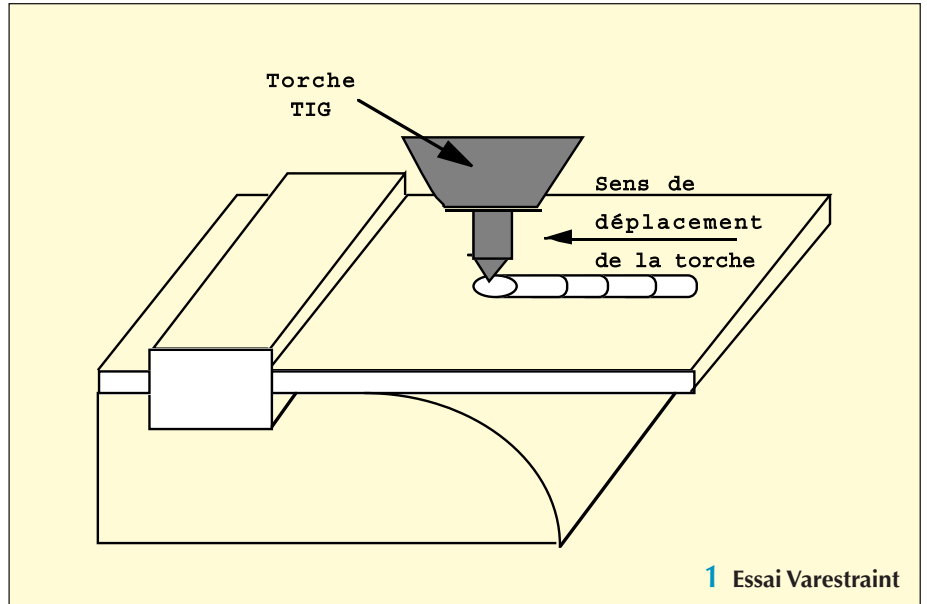


# Simulations thermiques par éléments finis de l'essai Varestraint

Dans le cadre de l'étude de la fissuration à chaud des métaux, le département Études de Matériaux de la Direction des Études et Recherches réalise des essais de type Varestraint. Le département Mécanique et Modèles Numériques intervient pour la simulation thermo-mécanique de l'essai. L'essai Varestraint est l'un des essais de soudabilité les plus répandus pour caractériser la résistance à la fissuration à chaud des matériaux. Il consiste à solliciter en même temps thermiquement et mécaniquement une éprouvette parallélépipédique rectangle (1). L'éprouvette est constituée par le moulage du matériau d'apport qui sera utilisé dans l'opération de soudage.



Le but de l'essai est de créer par pliage un état de déformation homogène dans une zone où la température balaie au moins l'intervalle variant de la température de fusion jusqu'à 1000°C. À la suite de ces sollicitations, on relève la localisation, la taille et le nombre de fissures créées lors du pliage et on en déduit la sensibilité à la fissuration à chaud des aciers pour le niveau de déformation appliqué.

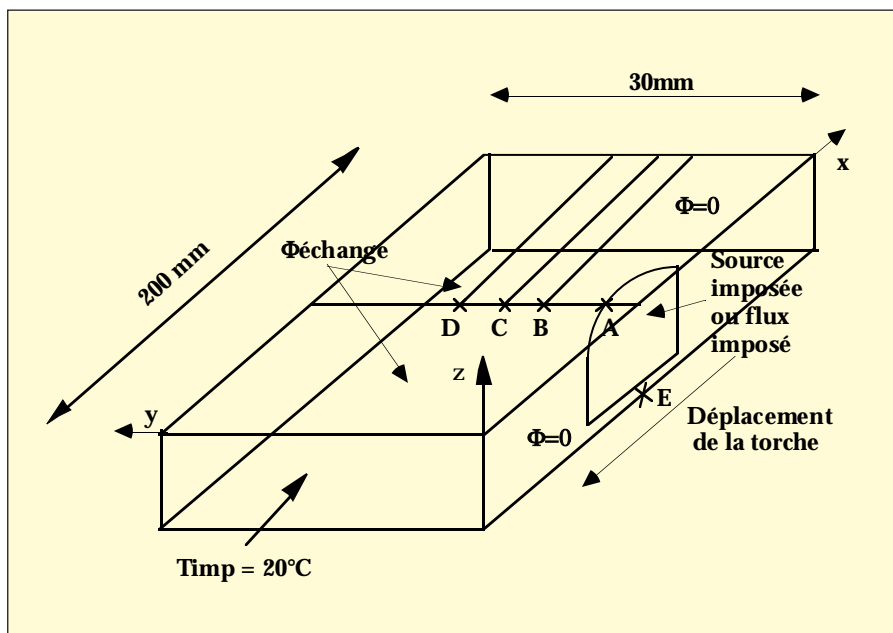
Les calculs présentés ici concernent plus particulièrement la simulation thermique de l'essai Varestraint. L'objectif de l'étude est de démontrer les possibilités de modélisation d'un problème thermique formulé dans un repère mobile sous condition de stationnarité. Cette fonctionnalité de thermique du Code\_Aster (opérateur THER\_NON\_LINE\_MO) nécessaire à la modélisation du soudage était la seule non encore mise en œuvre et

validée par rapport à des résultats expérimentaux.

L'apport de chaleur est modélisé sous forme de source ou sous forme de flux imposé. Leurs valeurs reposent sur un bilan énergétique entre l'énergie du soudage, qui dépend des paramètres de l'essai de soudage, et l'énergie de la source ou du flux imposé du calcul numérique.

En source constante cylindrique imposées de profondeur  $e$ , il y a trois paramètres de calcul à recalculer (rayon et profondeur de la source, coefficient de rendement du processus de soudage).

Pour la modélisation en flux imposé sur une tache de rayon  $r_b$ , deux variations spatiales du flux en coordonnées polaires ont été testées : constante et gaussienne. La variation gaussienne est d'amplitude  $Q_{max}$  (valeur au centre de la tache) et d'écart-type  $r_b$ . Le rayon de la tache est calculé de telle sorte que la quantité de chaleur reçue sur cette tache soit 95% de la puissance de soudage (d'où une relation entre  $r_b$  et  $Q_{max}$ ). Cette variation est la plus réaliste et la plus employée dans les calculs de simulation de soudage.



2 Dimensions et conditions aux limites de l'éprouvette

# Simulations thermiques par éléments finis de l'essai Varestraint (suite)

Les paramètres à recalculer sont donc  $Q_{max}$  (ou  $r_b$ ) et en principe le coefficient de rendement. Dans cette étude cependant le coefficient de rendement est directement évalué à 0,67 ( $\pm 0,05$ ) pour toutes les modélisations.

Pour recalculer les paramètres, on dispose de la largeur et de la profondeur de la zone fondue et de la valeur de la température en certains points de la face supérieure et de la face inférieure de l'éprouvette.

Les calculs sont tridimensionnels en repère mobile sous condition de stationnarité. Les conditions d'échange sont linéaires et le matériau non linéaire (conductivité thermique dépendant de la température). Par symétrie, une moitié de plaque est modélisée. Les dimensions et les conditions aux limites sont rappelées en (2).

Pour les calculs en source imposée, afin d'avoir une estimation correcte de la largeur de la zone fondue, on doit choisir un rayon de source de l'ordre de celui de la zone fondue. Diverses valeurs de profondeur de source ont été testées. Le profil de température en peau supérieure est assez facilement restitué, mais la variation de température dans l'épaisseur de la plaque est surestimée et ceci quelle que soit la profondeur de source.

Pour le calcul en flux constant, la valeur du flux  $\Phi_0$  a été calculée à partir de la relation  $\Phi_0 = s.e$  pour avoir une valeur de même ordre de grandeur qu'avec la source. Comme pour les calculs en source imposée, le profil de température est bien restitué en peau supérieure mais surestimé dans l'épaisseur.

Position (cf. fig 2)	Essai	Flux constant $Q_{max} = \Phi_0$ $r_b = 5,15$	Flux Gaussien $Q_{max} = 0,6\Phi_0$ $r_b = 8,15$	Source imposée
Face supérieure Point A	1370°C	1362°C	1400°C	1422°C
Dans l'épaisseur $y=0$ $z=-2,4\text{mm}$	1370°C	1574°C	1343°C	1721°C
Face inférieure Point E	1030°C	1106°C	1029°C	1200°C
Face supérieure Point B	755°C	581°C	600°C	635°C
Face supérieure Point C	413°C	427°C	434°C	450°C
Face supérieure Point D	373°C	372°C	400°C	420°C

### 3 Résultats en température des différentes modélisations

En flux Gaussien imposé, diverses valeurs de  $Q_{max}$  ont été testées afin de recalculer au mieux avec les résultats expérimentaux à la fois sur la surface supérieure et dans l'épaisseur de la plaque. Après quelques essais, des résultats satisfaisants ont été obtenus.

Le tableau (3) synthétise les résultats des différentes modélisations.

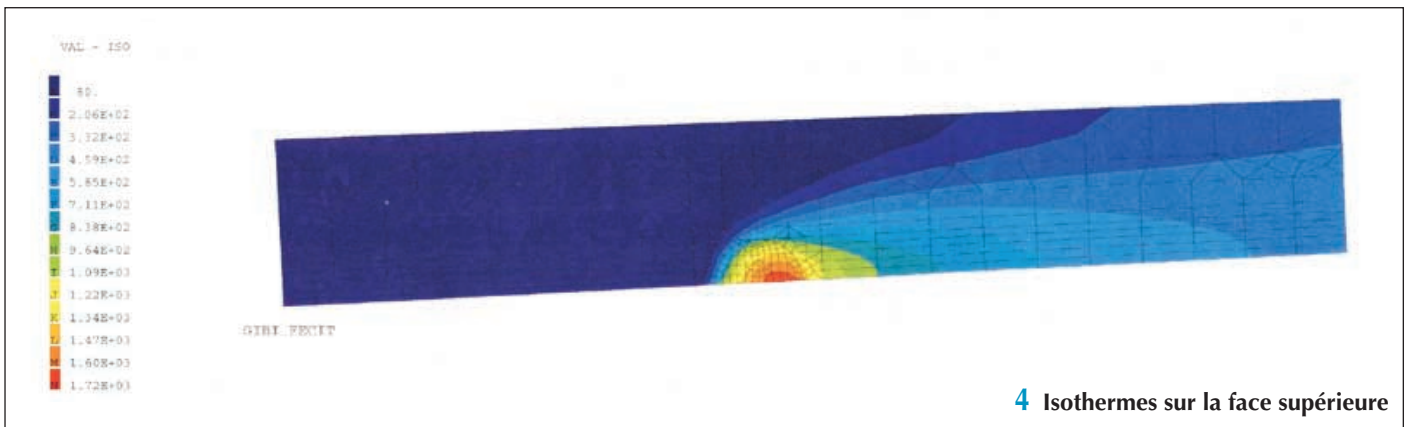
En conclusion, on peut dire que :

- les températures sur la face supérieure de l'éprouvette sont correctes pour toutes les modélisations et ne sont pas sensibles aux différentes modélisations.

Cependant, au point B, la température n'a pas pu être recalculée et une vérification des données expérimentales semble nécessaire.

- la température sur la face inférieure et dans l'épaisseur de la plaque est très sensible à la modélisation de l'apport de chaleur.

La modélisation qui simule le mieux l'essai thermique Varestraint est donc une modélisation tridimensionnelle avec conditions d'échange linéaires, matériau non linéaire et apport de chaleur modélisé sous forme de flux Gaussien (4).



4 Isothermes sur la face supérieure