

## TPLV105 - Thermique non linéaire stationnaire en repère mobile : simulation de l'essai Varestraint

---

### Résumé :

Ce test présente la simulation thermique par éléments finis de l'essai Varestraint. Cet essai de soudabilité est employé pour caractériser la résistance à la fissuration à chaud des matériaux.

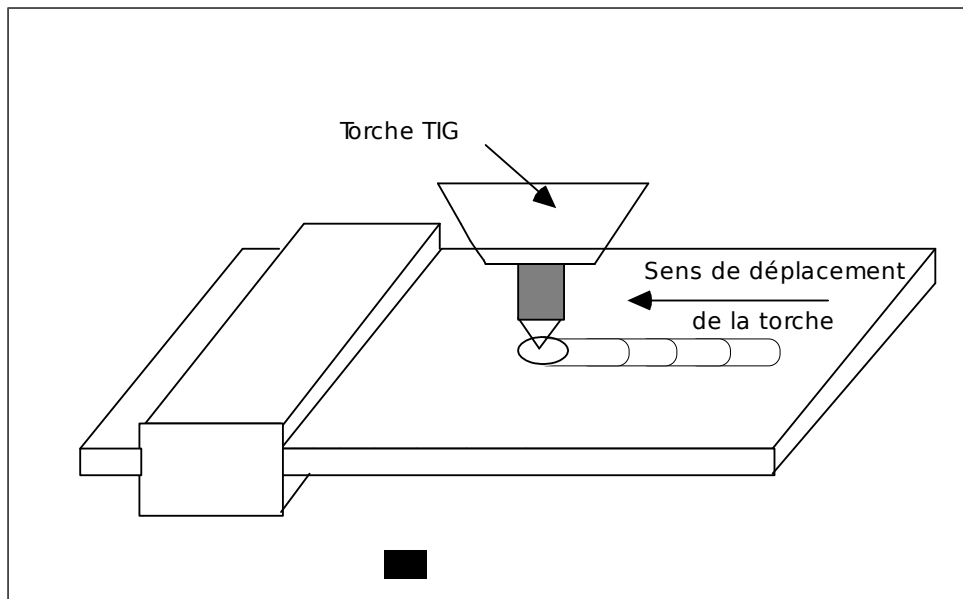
Ce test permet de tester un problème thermique non linéaire formulé dans un repère mobile sous condition de stationnarité.

Dans ce test une seule modélisation est effectuée, il s'agit d'une modélisation thermique `PLAN` associé avec l'opérateur `THER_NON_LINE_MO` permettant de calculer la réponse stationnaire non linéaire avec un chargement mobile.

## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

La géométrie étudiée est une plaque parallélépipédique de 200 mm de longueur, de 60 mm de largeur et de 7 mm d'épaisseur.



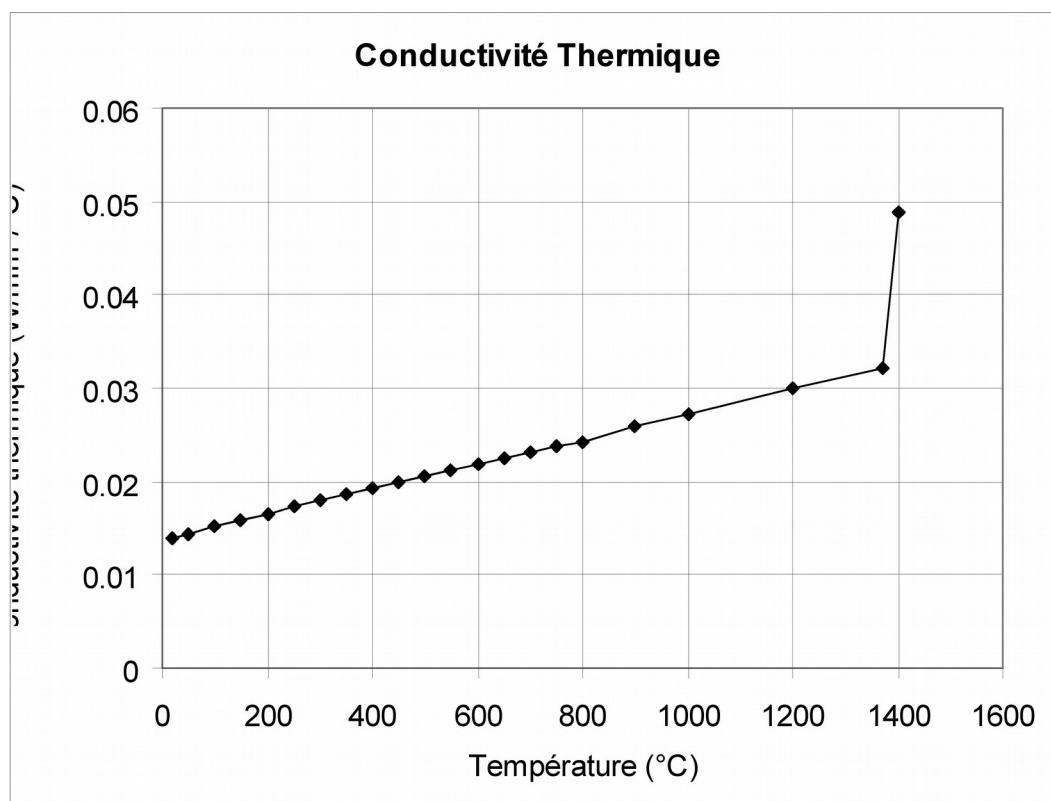
| Epaisseur<br>éprouvette | Largeur de<br>l'éprouvette | Longueur de<br>l'éprouvette |
|-------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 7 mm                    | 60 mm                      | 200 mm                      |

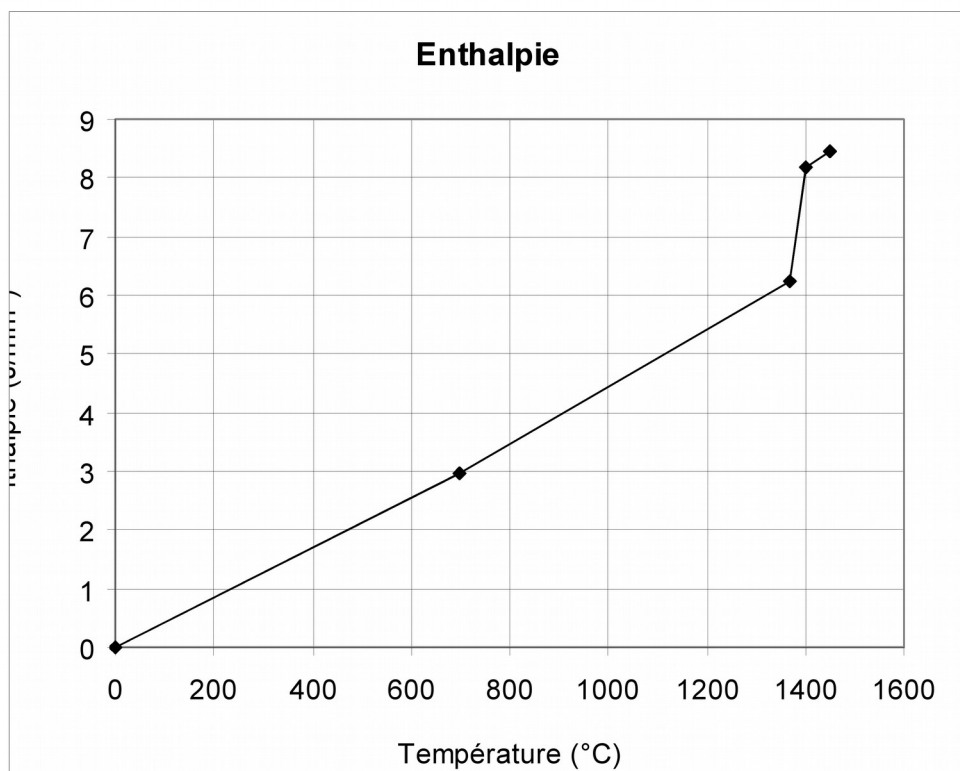
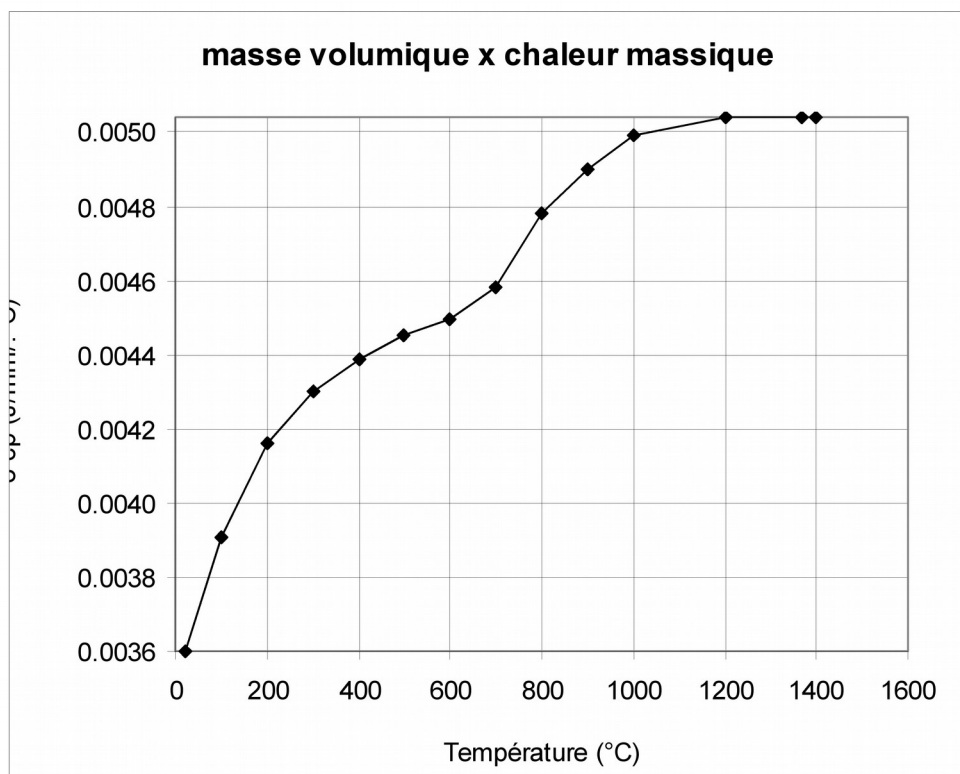
### 1.2 Propriétés du matériau

Le matériau considéré est un acier inoxydable austénitique forgé de type 316L (Z2CND17-12).

Pour la modélisation thermique non linéaire la conductivité thermique et le produit masse volumique capacité calorifique  $\rho c$  varient en fonction de la température. Leurs valeurs sont données dans le tableau ci-dessous :

| $T$<br>Température ( °C ) | $\lambda$<br>Conductivité thermique<br>( $W/(mm \cdot ^\circ C)$ ) | $\rho c$<br>( $J/mm^3 \cdot ^\circ C$ ) | $\beta$<br>Enthalpie<br>( $J/mm^3$ ) |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|
| 20                        | 14.0 E-3                                                           | 36.00 E-4                               | 0.0                                  |
| 50                        | 14.4 E-3                                                           |                                         |                                      |
| 100                       | 15.2 E-3                                                           | 39.05 E-4                               |                                      |
| 150                       | 15.8 E-3                                                           |                                         |                                      |
| 200                       | 16.6 E-3                                                           | 41.63 E-4                               |                                      |
| 250                       | 17.3 E-3                                                           |                                         |                                      |
| 300                       | 17.9 E-3                                                           | 43.00 E-4                               |                                      |
| 350                       | 18.6 E-3                                                           |                                         |                                      |
| 400                       | 19.2 E-3                                                           | 43.90 E-4                               |                                      |
| 450                       | 19.9 E-3                                                           |                                         |                                      |
| 500                       | 20.6 E-3                                                           | 44.50 E-4                               |                                      |
| 550                       | 21.2 E-3                                                           |                                         |                                      |
| 600                       | 21.8 E-3                                                           | 44.95 E-4                               |                                      |
| 650                       | 22.4 E-3                                                           |                                         |                                      |
| 700                       | 23.1 E-3                                                           | 45.80 E-4                               | 2.979                                |
| 750                       | 23.7 E-3                                                           |                                         |                                      |
| 800                       | 24.3 E-3                                                           | 47.80 E-4                               |                                      |
| 900                       | 26.0 E-3                                                           | 49.00 E-4                               |                                      |
| 1000                      | 27.3 E-3                                                           | 49.90 E-4                               |                                      |
| 1200                      | 29.9 E-3                                                           | 50.40 E-4                               |                                      |
| 1370                      | 32.2 E-3                                                           | 50.40 E-4                               | 6.232                                |
| 1400                      | 48.9 E-3                                                           | 50.40 E-4                               | 8.184                                |
| 1450                      |                                                                    |                                         | 8.444                                |





## 1.3 Conditions aux limites

Les paramètres de soudage sont présentés dans le tableau ci-dessous :

| $I$<br>(Intensité) | $U$<br>(Voltage) | $V$<br>(Vitesse de défilement<br>de la pièce) | Diamètre d'électrode |
|--------------------|------------------|-----------------------------------------------|----------------------|
| 200A               | 13V              | 14 <i>cm/min</i>                              | 3 <i>mm</i>          |

La surface supérieure de la plaque est soumise à l'action d'une torche. Cette torche est placée au centre de la plaque, à 15 *mm* du bord, et se déplace parallèlement à sa longueur à vitesse constante ( 14 *cm/min* ) jusqu'à 85.5 *mm* du bord correspondant à la position d'extinction de la torche.

## 1.4 Conditions initiales

Aucune.

## 2 Solution de référence

---

### 2.1 Méthode de calcul

La méthode de calcul de la densité de flux constant à imposer, les conditions aux limites imposées, ainsi que les résultats d'essai sont présentés dans [bib1].

### 2.2 Grandeurs et résultats de référence

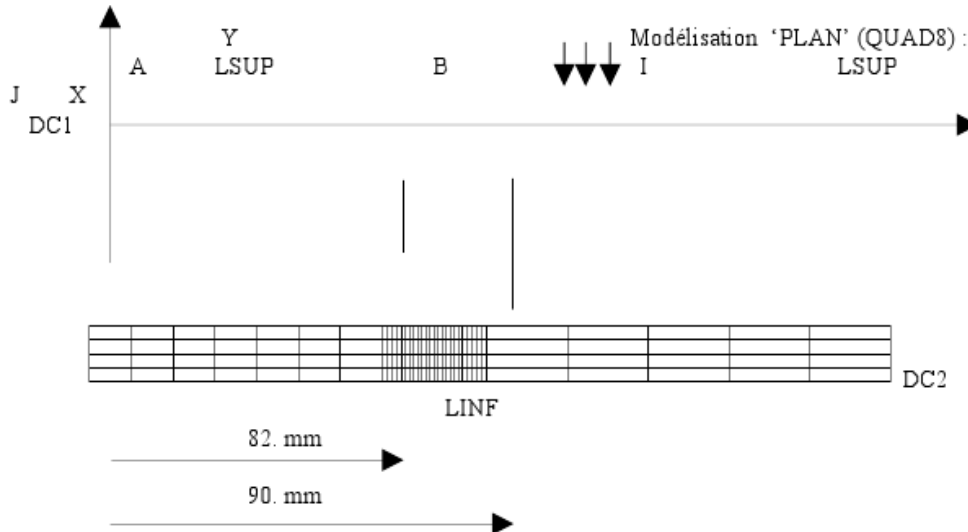
Températures sur la face supérieure et inférieure de la plaque proche de la torche

### 2.3 Références bibliographiques

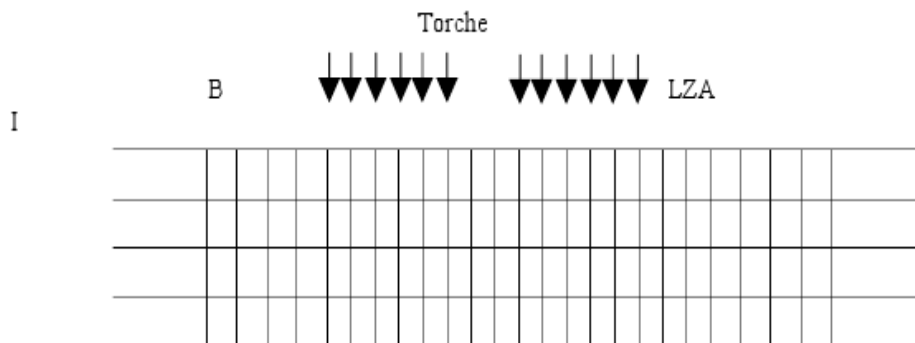
- D. BUI : "Simulations thermiques par éléments finis de l'essai Varestraint", Note HI74/97/09

## 3 Modélisation A

### 3.1 Caractéristiques de la modélisation



Zone centrale du maillage



Le centre de la torche est placé à  $x = 86. mm$  du bord gauche.

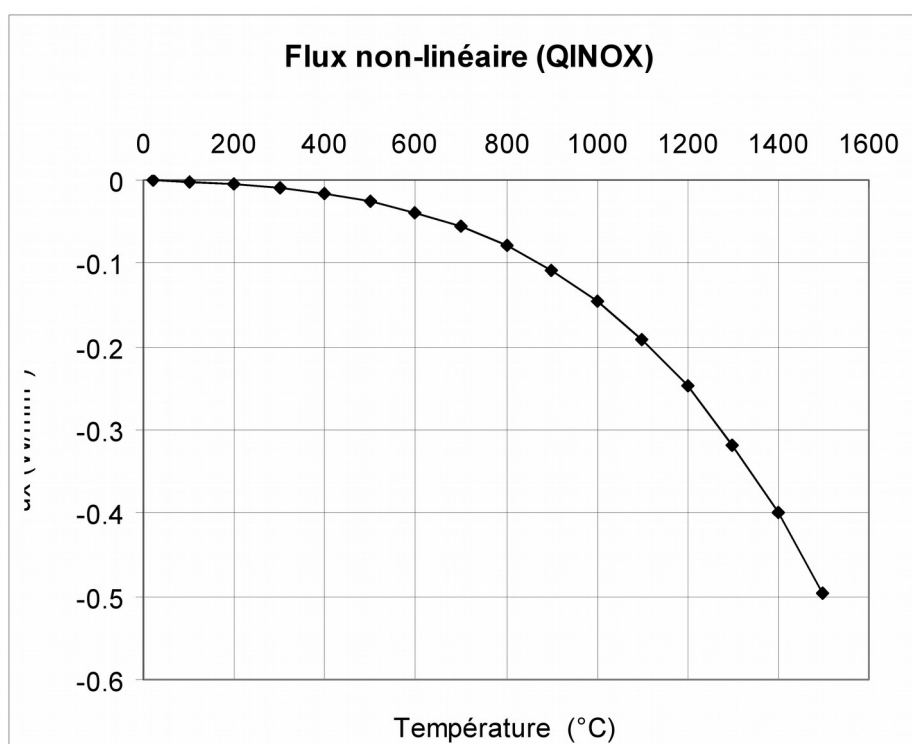
Conditions aux limites :

- Côté  $DC1$  : condition adiabatique (  $flux = 0$  )
- Côté  $DC2$  : température imposée  $20^{\circ}C$
- Surface supérieure  $LSUP$  : cette partie est composée des côtés AB et IJ  
Flux non linéaire imposé  $Q_{INOX}$  (voir tableau et figure ci-dessous)  
Echange convectif :  $h = 15.10^{-6} W/(mm^2. ^{\circ}C)$  ,  $T_{ext} = 20^{\circ}C$  .
- Surface inférieure :  $LINF$   
Flux non linéaire imposé  $Q_{INOX}$  (voir tableau et figure ci-dessous)  
Echange convectif :  $h = 15.10^{-6} W/(mm^2. ^{\circ}C)$  ,  $T_{ext} = 20^{\circ}C$  .
- Vitesse de défilement de la pièce  $V = -2.33 mm/s$

Chargement : Densité de flux apporté par la torche :

- Densité de flux imposé  $Q = 19.62 W/mm^2$  sur le coté  $LZA$  (  $B \rightarrow I$  )

| Température<br>(°C) | <i>QINOX</i><br>Flux non linéaire<br>( $W/mm^2$ ) | Température<br>(°C) | <i>QINOX</i><br>Flux non linéaire<br>$W/mm^2$ ( ) |
|---------------------|---------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------|
| 20                  | 0.00E+00                                          | 800                 | -7.96E-02                                         |
| 100                 | -1.76E-03                                         | 900                 | -1.08E-01                                         |
| 200                 | -5.04E-03                                         | 1000                | -1.46E-01                                         |
| 300                 | -9.80E-03                                         | 1100                | -1.92E-01                                         |
| 400                 | -1.63E-02                                         | 1200                | -2.48E-01                                         |
| 500                 | -2.59E-02                                         | 1300                | -3.17E-01                                         |
| 600                 | -3.89E-02                                         | 1400                | -3.99E-01                                         |
| 700                 | -5.64E-02                                         | 1500                | -4.97E-01                                         |



## 3.2 Caractéristiques du maillage

Nombre de mailles : 144 (QUAD8)  
Nombre de nœuds : 565

## 3.3 Grandeurs testées et résultats

| Identification                 | Grandeur    | Référence<br>(°C) | Aster<br>(°C) | % Différence |
|--------------------------------|-------------|-------------------|---------------|--------------|
| <i>N1</i> ( $X=82, Y=0$ )      | <i>TEMP</i> | 1755.0            | 1756.11       | 0.063        |
| <i>N2</i> ( $X=83, Y=0$ )      | <i>TEMP</i> | 1920.0            | 1919.29       | 0.037        |
| <i>N3</i> ( $X=84, Y=0$ )      | <i>TEMP</i> | 1910.0            | 1908.63       | 0.072        |
| <i>N7</i> ( $X=88, Y=0$ )      | <i>TEMP</i> | 1494.0            | 1493.46       | 0.036        |
| <i>N8</i> ( $X=89, Y=0$ )      | <i>TEMP</i> | 1300.0            | 1297.51       | 0.191        |
| <i>N173</i> ( $X=46.93, Y=0$ ) | <i>TEMP</i> | 1160.0            | 1155.76       | 0.365        |

|                        |      |        |         |       |
|------------------------|------|--------|---------|-------|
| $N174 (X=57.36, Y=0)$  | TEMP | 1215.0 | 1213.32 | 0.139 |
| $N175 (X=67.79, Y=0)$  | TEMP | 1295.0 | 1291.86 | 0.243 |
| $N478 (X=10.43, Y=-7)$ | TEMP | 1007.0 | 1001.09 | 0.587 |
| $N522 (X=52.14, Y=-7)$ | TEMP | 989.0  | 982.39  | 0.668 |
| $N559 (X=0, Y=-7)$     | TEMP | 980.0  | 973.92  | 0.621 |

## 3.4 Remarques

Dans le tableau ci-dessous nous présentons la position des nœuds dans le repère  $(xy)$  de la torche.

| Nœuds situés<br>sous la torche (Zone 1) | Nœuds situés à gauche de la<br>torche (Zone 2) | Nœuds situés à gauche de la<br>torche et en dessous de la<br>plaque (Zone 3) |
|-----------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| $N1 : x=-4 \text{ mm}, y=0$             | $N173 : x=-39.0 \text{ mm}, y=0$               | $N478 : x=-86.0 \text{ mm}$                                                  |
| $N2 : x=-3 \text{ mm}, y=0$             | $N174 : x=-28.6 \text{ mm}, y=0$               | $N522 : x=-81.0 \text{ mm}$                                                  |
| $N3 : x=-2 \text{ mm}, y=0$             | $N175 : x=-18.2 \text{ mm}, y=0$               | $N559 : x=-18.2 \text{ mm}$                                                  |
| $N7 : x=2 \text{ mm}, y=0$              |                                                |                                                                              |
| $N8 : x=3 \text{ mm}, y=0$              |                                                |                                                                              |