

Manuel de Validation**Fascicule V7.23 : Thermo-mécanique statique non linéaire des structures surfaciques
Document V7.23.120**

HSNA120 - Propagation dans un réseau de fissures en fatigue thermomécanique

Résumé :

Ce test axisymétrique permet de préserver une méthodologie de simulation de la propagation dans un réseau de fissures en fatigue thermomécanique. Il s'agit d'une méthode de remaillage automatique pour suivre l'avancée de fissures et d'une stratégie de propagation dans un réseau. L'ensemble de la méthode est programmé en PYTHON dans le fichier de commandes.

Le test comporte la modélisation de la propagation de quatre fissures parallèles dans l'épaisseur d'un tube soumis à une variation de température sur sa peau interne et une contrainte axiale monotone.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Le problème étudié consiste à l'étude de la propagation d'un réseau de quatre fissures parallèles de longueurs et de distances arbitraires dans l'épaisseur d'un tube soumis à une variation de température sur sa peau interne. La [Figure 1.1-a] montre la géométrie du modèle étudié ainsi que les chargements et les conditions aux limites considérés. Les distances entre les fissures et leurs longueurs sont données dans les tableaux [Tableau 1.1-1] et [Tableau 1.1-2].

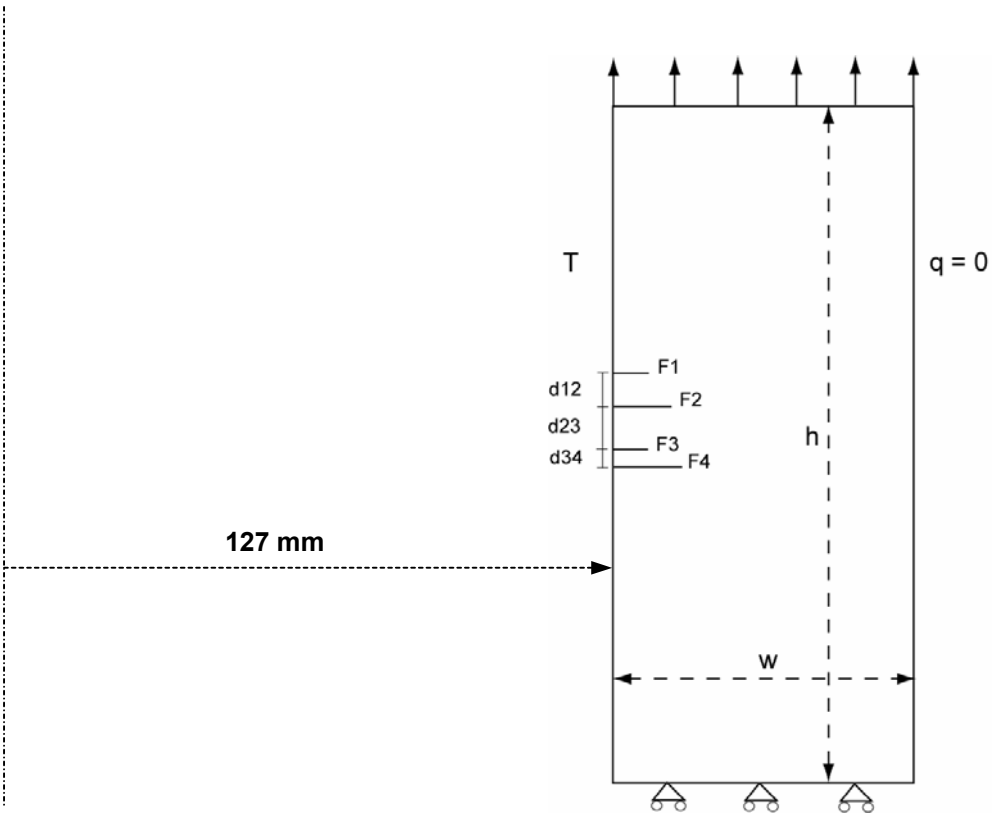


Figure 1.1-a : La géométrie et les conditions aux limites du modèle

Fissure	F1	F2	F3	F4
Longueur (mm)	0,68	0,70	0,08	0,69

Tableau 1.1-1 : La longueur initiale des fissures et leurs distances

Fissure	d12	d23	d34
Distance (mm)	2,89	2,06	0,61

Tableau 1.1-2 : La distance entre les fissures

1.2 Propriétés de matériaux

Le matériau est élastique linéaire isotrope. Les propriétés mécaniques et thermiques du matériau sont :

Module d'Young	$E = 2,1E5 \text{ MPa}$
Coefficient de Poisson	$\nu = 0,3$
Coefficient de conductivité thermique	$\lambda = 0,014 \text{ W/mm/}^\circ\text{C}$
Mass volumique	$\rho = 8E-6 \text{ Kg/mm}^3$
Chaleur spécifique	$C_p = 450 \text{ J/Kg/}^\circ\text{C}$
Coefficient de dilatation thermique	$\alpha = 1,5E-5 \text{ mm/}^\circ\text{C}$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Mécanique :

Déplacements imposés : encastrement de la partie inférieure.

Condition de contact entre les lèvres des fissures :

Les conditions de contact unilatéral sans frottement avec l'appariement nœud-facette (maître-esclave) sont considérées pour assurer la non pénétration des lèvres de fissures au moment de leur fermeture.

Contrainte moyenne :

Une contrainte moyenne de 60 MPa est appliquée sur le bord supérieur du modèle.

Chargement thermique :

Le chargement appliqué est à amplitude constante imposé sur la peau interne du tube

$$T = T_0 + \frac{\Delta T}{2} \cos(2\pi f t)$$

où $T_0 = 70^\circ\text{C}$, $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ et $f = 0,1 \text{ Hz}$.

```
CHART[num_calc]=AFFE_CHAR_MECA(MODELE=MOD_G[num_calc],  
                                TEMP_CALCULEE = TEMPT[num_calc],  
                                ) ;
```

2 Solution de référence

On ne possède pas de solution analytique pour le calcul de la propagation d'un réseau de fissures en fatigue thermomécanique. Par conséquent, ce cas test est un cas test de non régression. La référence est constituée par des résultats issus de la version 7.0 du *Code_Aster*.

2.1 Méthode de calcul de référence

La méthodologie utilisée pour traiter le problème de propagation de fissures bidimensionnelles en fatigue porte sur un calcul 2D plan ou axisymétrique qui prend en compte une coupe radiale ou axiale du tube étudié. Cette méthodologie permet l'analyse de la propagation des fissures dans l'épaisseur.

La présente étude consiste à tester une procédure numérique de simulation de la propagation des fissures en 2D ou en axisymétrique [bib1]. Il s'agit d'une méthode basée sur le remaillage automatique pour simuler la propagation des fissures et d'une stratégie de propagation dans un réseau de fissures en fatigue thermique.

La procédure de remaillage est conduite avec GMSH qui se lance automatiquement après chaque pas de propagation des fissures pour refaire le maillage au cours du calcul. La stratégie de propagation du réseau de fissures est pilotée par des incréments sur les longueurs des fissures. La cinétique de propagation des fissures de fatigue peut être décrite par une loi de propagation en fatigue de type Paris. Dans le cadre de cette modélisation, une loi de propagation de Paris modifiée (Pellas et al. [bib2]) qui prend en compte l'effet du seuil de non propagation, du rapport de charge et de la ténacité du matériau, est utilisée.

En considérant un incrément théorique de longueur pour toutes les fissures du réseau, on trouve la fissure qui a besoin du minimum de nombre de cycles pour se propager en considérant l'amplitude de facteur d'intensité de contrainte effectif et la loi de propagation. En appliquant ce nombre de cycles à la structure, on trouve la propagation de chaque fissure.

2.2 Résultats de référence

Pour trois étapes de propagation, l'amplitude de facteur d'intensité de contraintes effectif (Δk_{eff}) pour la fissure dominante et le nombre de cycles de l'étape sont comparés aux valeurs de référence. Ces valeurs sont :

Etape 1 :
 $(\Delta k_{eff}) = 0.0513$, $N_{\text{étape}} = 212900$

Etape 2 :
 $(\Delta k_{eff}) = 0.0550$, $N_{\text{étape}} = 178574$

Etape 3 :
 $(\Delta k_{eff}) = 0.0613$, $N_{\text{étape}} = 135107$

3 Références bibliographiques

- [1] M. SEYEDI : (2002) « Simulation de la propagation d'un réseau de faïençage thermique par le Code_Aster », note interne EDF R&D, HT-64/02/004/A.
- [2] J. PELLAS, G. BAUDIN, et M. ROBERT : (1977) « Mesure et calcul de seuil de fissuration après surcharge », Recherche Aérospatiale, Vol. 3, pp. 191-201.
- [3] H. YAAKOUB AGHA : (1996) « Tolérance aux défauts initiaux : application à une fonte G.S. en fatigue », Thèse de doctorat. Université Paris 6.

4 Modélisation A

4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation considère un tube court qui contient quatre fissures débouchantes sur sa peau interne. Un modèle axisymétrique avec les caractéristiques géométriques suivantes a été considéré.

$h = 60$ mm
 $w = 9,23$ mm

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage a été créé en prenant 3 principaux blocs. Le bloc milieu contient les fissures, il est lui-même constitué de 5 blocs.

Nombre de nœuds : 15650

Nombre de mailles : 8147

SEG3 : 456

TRIA6 : 7685

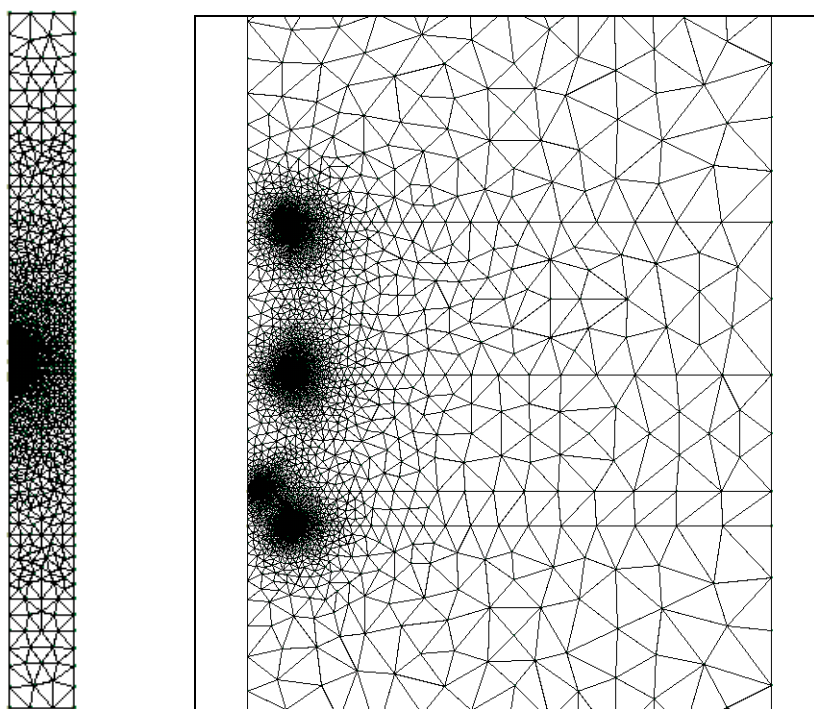


Figure 4.2-a : Maillage éléments finis et détails des fissures (situation initiale)

4.3 La loi de propagation

La propagation des fissures de fatigue suit une loi de type Paris. Dans le cadre de la fatigue à grand nombre de cycles, le seuil de non propagation de fissure, le rapport de charge et la ténacité du matériau peuvent influencer la vitesse de propagation des fissures. Dans le cas présent, la loi de propagation des fissures peut être écrite comme une loi de Paris modifiée (Pellas et al. (1977) [bib2] et Yaacoub Agha et al. (1998) [bib3]).

$$\frac{da}{dN} = C \Delta k_{eff}^n \text{ avec } \Delta k_{eff} = \frac{K_{max} g(R) - K_{th}}{K_{IC} - K_{th} / g(R)}, \quad g(R) = \frac{1-R}{1-m_R R} \text{ et } R = \frac{K_{min}}{K_{max}}$$

où K_{max} et K_{min} sont des facteurs d'intensité des contraintes maximum et minimum respectivement, K_{th} le seuil de non propagation, R le rapport de charge et K_{IC} la ténacité du matériau. Les coefficients utilisés sont les suivants :

$$\begin{aligned} C &= 9,34 \cdot 10^{-4} \\ n &= 2,6 \\ m_R &= 0,37 \\ K_{th} &= 4 \text{ MPa.m}^{0.5} \\ K_{IC} &= 66 \text{ MPa.m}^{0.5} \end{aligned}$$

5 Résultats de la modélisation A

5.1 Valeurs testées

Les valeurs testées sont l'amplitude de facteur d'intensité de contraintes effective et le nombre de cycles appliqués.

Identification	Référence	Aster	% différence
Etape 1 : Δk_{eff}	5.1300 E-2	5.131615 E-2	0.031
Etape 1 : N	2.1290 E+5	2.129012 E+5	5.6 E-4
Etape 2 : Δk_{eff}	5.5000 E-2	5.496820 E-2	0.058
Etape 2 : N	1.7887 E+5	1.785738 E+5	1.0 E-4
Etape 3 : Δk_{eff}	6.130 E-2	6.130244 E-2	0.004
Etape 3 : N	1.35107 E+5	1.351072 E+5	1.66 E-4