

SZLZ105 - Comptage de cycles par RAINFLOW et calcul du dommage

Résumé :

Problème quasi-statique élastique linéaire transitoire en mécanique des structures.

Calcul du dommage final dans un élément soumis à un chargement cyclique, avec un comportement élastique linéaire.

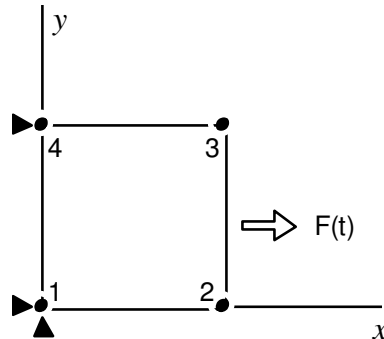
Une modélisation en contraintes planes et une modélisation en 3D.

Ce test valide la méthode de comptage des cycles (RAINFLOW) implantée dans l'opérateur `CALC_FATIGUE` ainsi que la méthode de calcul du dommage en contrainte imposée (courbe de Wöhler) ou déformation imposée (courbe de Manson-Coffin). La solution de référence est une solution analytique.

Il valide également le calcul des contraintes et déformations équivalentes à l'aide des options `SIEQ_ELGA`, `SIEQ_ELNO`, `EPEQ_ELGA`, `EPEQ_ELNO`, `EPMQ_ELGA` et `EPMQ_ELNO`.

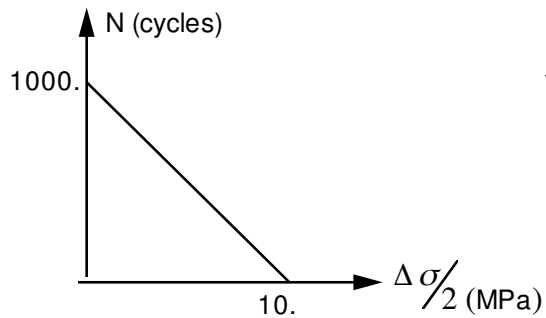
1 Problème de référence

1.1 Géométrie

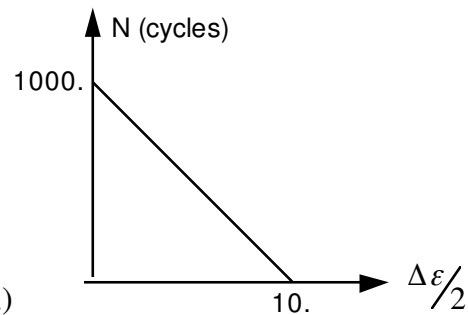


1.2 Propriétés de matériaux

Élasticité linéaire : $E = 1. MPa$ $\nu = 0.3$



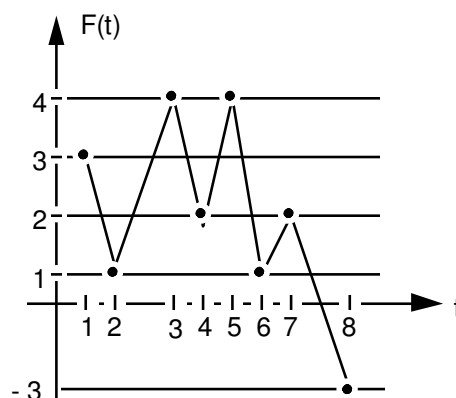
Courbe de Wöhler



Courbe de Manson-Coffin

1.3 Conditions aux limites et chargements

- Bloquée sur face 1–4 suivant X - nœud 1 bloqué suivant Y .
- En traction simple unitaire sur la face 2–3.
- Chargement $F(t)$ en dents de scie (d'après l'Article de Downing et Socie 1982) [bib1].



1.4 Conditions initiales

Contraintes et déformations nulles.

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

Solution analytique

- calcul des contraintes et déformations. Pour un chargement en traction simple, on obtient un état de contrainte uniaxial homogène en tout point :

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ et } \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & 0 \\ 0 & 0 & \gamma \end{bmatrix}$$

les grandeurs équivalentes sont donc

$$\begin{cases} \sigma_{VMIS} = |\sigma| = \sigma_{TRESCA} \\ \sigma_{VMIS-SG} = \sigma \end{cases}$$

$$\text{et } \begin{cases} \varepsilon_{INVA-2} = \frac{2}{3} |\varepsilon - \gamma| \\ \varepsilon_{INVA-2SG} = \frac{2}{3} |\varepsilon - \gamma| * \text{sign} \left[\frac{\varepsilon + 2\gamma}{3} \right] \end{cases}$$

- puis calcul manuel des cycles par la méthode de RAINFLOW, ainsi que des amplitudes de chargement ($\frac{\Delta \sigma}{2}$ ou $\frac{\Delta \varepsilon}{2}$).

cycles	$\Delta \sigma / 2$	$\Delta \varepsilon_{INVA-2} / 2$
1	1.	0.8667
2	0.5	0.433315
3	1.	0.8667
4	3.5	3.03335

- enfin report de ces valeurs sur les courbes de Wöhler ou de Manson-Coffin pour estimer le dommage unitaire à chaque cycle i , soit $Du_i = \frac{1}{N_i}$ (N_i étant le nombre de cycles à rupture pour une amplitude donnée), ainsi que le dommage cumulé $D = \sum_i Du_i$ (règle de cumul linéaire de MINER).

Remarque :

On utilisera comme contrainte équivalente $\sigma_{VMIS-SG}$ et comme déformation équivalente $\varepsilon_{INVA-2SG} = \frac{2}{3} |\varepsilon - \gamma| \times \text{sign} \left[\frac{\varepsilon + 2\gamma}{3} \right]$.

2.2 Résultats de référence

- Étant donné les valeurs des paramètres de chargement utilisé, on obtient simplement en fin de chargement (incrément 8) $\sigma = -3$. $\varepsilon = -3$. $\gamma = 0.9$ $\varepsilon_{INVA-2} = 2.6$.
- Pour le calcul du dommage, on obtient :

$$D_{Wöhler} = 4,8133 \cdot 10^{-3} = \sum_{i=1}^4 Du_i$$

$$D_{Manson} = 4,67 \cdot 10^{-3} = \sum_{i=1}^4 Du_i$$

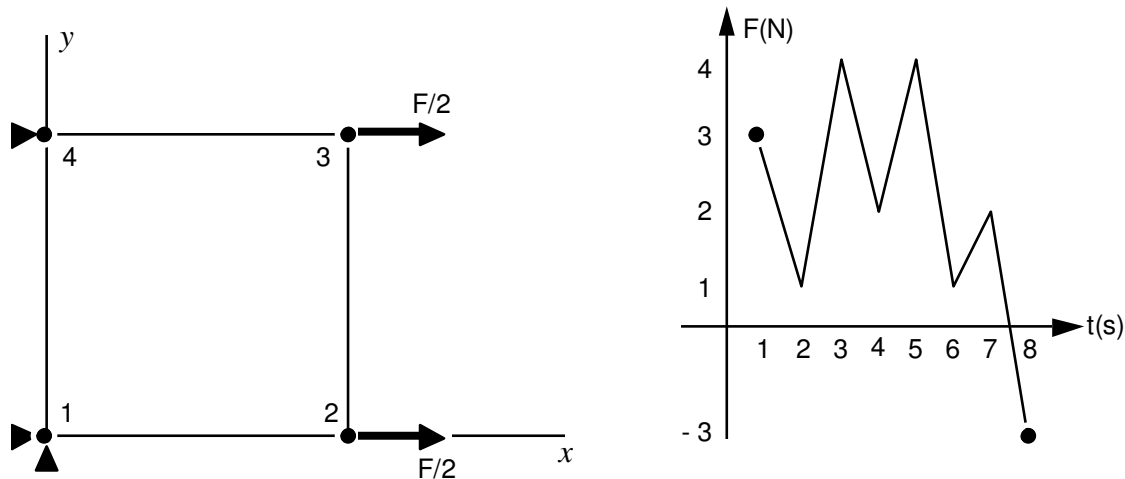
2.3 Références bibliographiques

- DOWNING et SOCIE, 1982. "Simple Rainflow counting algorithms". Int. J. Fatigue, janvier 1982 (p. 31).

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation en contraintes planes :



3.2 Caractéristiques du maillage

1 maille QUAD4.

Carré largeur = 1
 épaisseur = 1

3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence
en tous nœuds en fin de chargement en contrainte ou en déformation	
Domage Wöhler	$4.8133 \cdot 10^{-3}$
Domage Manson-Coffin	$4.6705 \cdot 10^{-3}$
σ	-3.
σ_{VMIS}	3.
σ_{TRESCA}	3.
$\sigma_{VMIS-SG}$	-3.
ϵ	-3.
γ	0.9
ϵ_{INVA-2}	2.6
ϵ_{INVA-2}^{SG}	-2.6

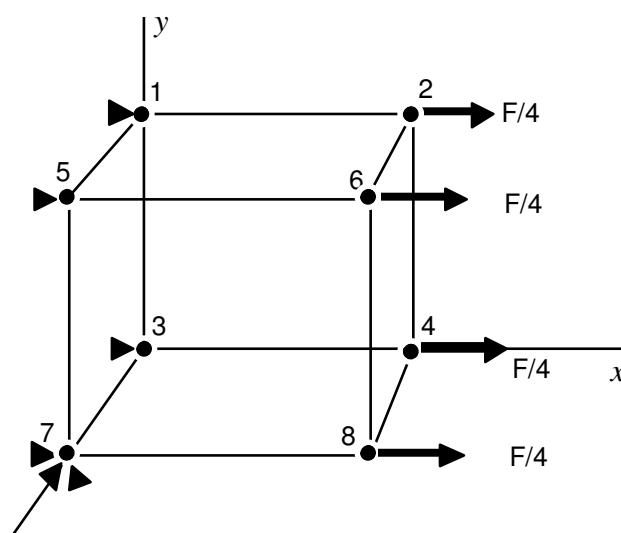
3.4 Remarques

Test rapide en temps calcul.

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation en 3D :



4.2 Caractéristiques du maillage

1 maille HEXA8.
cube de largeur = 1

4.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence
en tous nœuds en fin de chargement	
Dommage Wöhler	$4.8133 \cdot 10^{-3}$
Dommage Manson-Coffin	$4.6705 \cdot 10^{-3}$
σ	-3.
σ_{VMIS}	3.
σ_{TRESCA}	3.
$\sigma_{VMIS-SG}$	-3.
ε	-3.
γ	0.9
ε_{INVA-2}	2.6
$\varepsilon_{INVA-2}^{SG}$	-2.6
$(\varepsilon - \varepsilon^{th})_{INVA-2}$	2.6
$(\varepsilon - \varepsilon^{th})_{INVA-2}^{SG}$	-2.6

4.4 Remarques

Mêmes résultats et référence qu'en contraintes planes.

5 Synthèse des résultats

Ce test valide la méthode et le calcul du dommage de Wöhler et de Manson-Coffin.

Les résultats de *Code_Aster* sont identiques à ceux obtenus analytiquement.