

## 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.

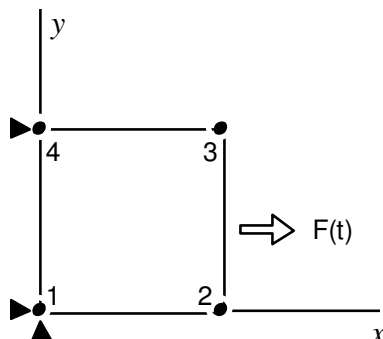
Une modélisation en contraintes planes et une modélisation en 3D.

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`.

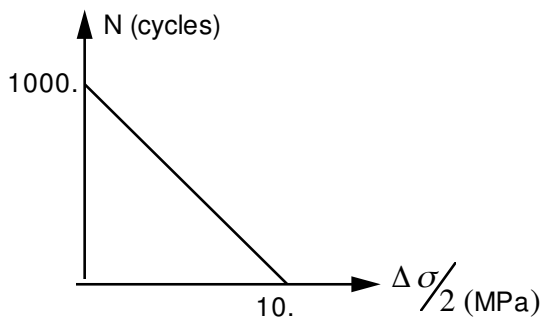
## 1 Problème de référence

### 1.1 Géométrie

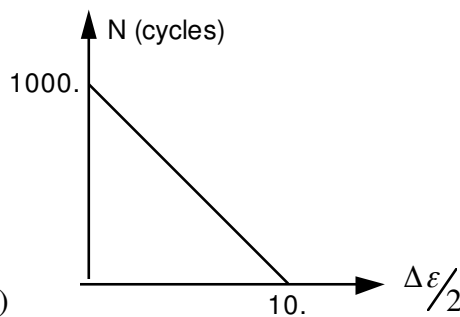


### 1.2 Propriétés de matériaux

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



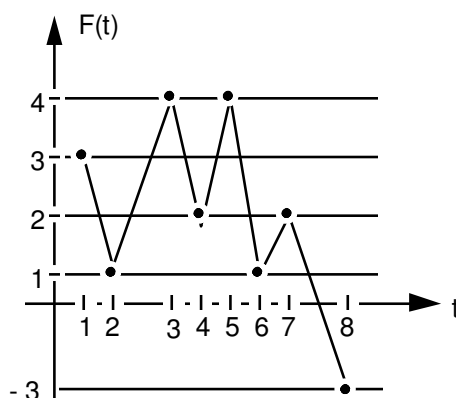
Courbe de Wöhler



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 :

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

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

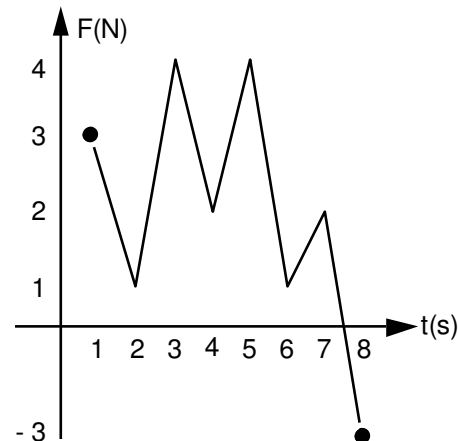
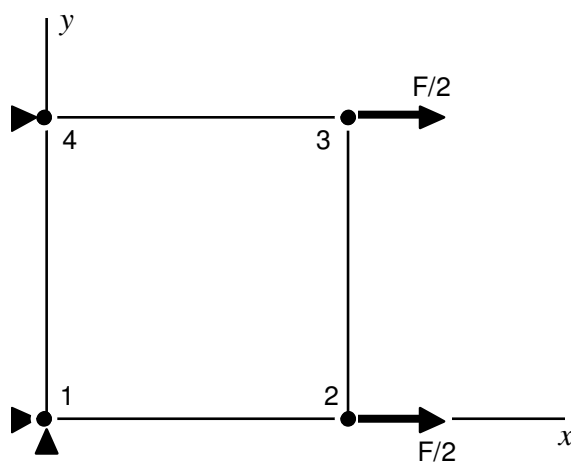
### 2.3 Références bibliographiques

1. 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	$4.6705 \cdot 10^{-3}$
$\sigma$	-3.
$\sigma_{VMIS}$	3.
$\sigma_{TRESCA}$	3.
$\sigma_{VMIS-SG}$	-3.
$\epsilon$	-3.
$\gamma$	0.9
$\epsilon_{INVA-2}$	2.6
$\epsilon_{INVA-2}^{SG}$	-2.6

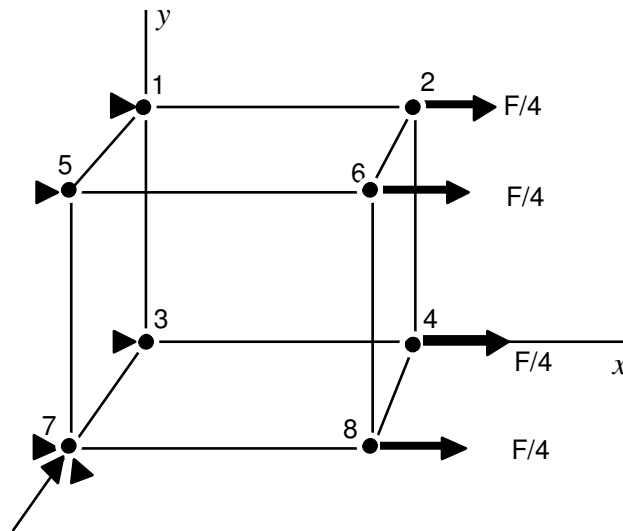
### 3.4 Remarques

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	
Domage Wöhler	$4.8133 \cdot 10^{-3}$
Domage Manson-Coffin	$4.6705 \cdot 10^{-3}$
$\sigma$	-3.
$\sigma_{VMIS}$	3.
$\sigma_{TRESCA}$	3.
$\sigma_{VMIS-SG}$	-3.
$\epsilon$	-3.
$\gamma$	0.9
$\epsilon_{INVA-2}$	2.6
$\epsilon_{INVA-2}^{SG}$	-2.6
$(\epsilon - \epsilon^{th})_{INVA-2}$	2.6
$(\epsilon - \epsilon^{th})_{INVA-2}^{SG}$	-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.