

Manuel de Validation
Fascicule V9.01 : Fatigue
Document : V9.01.105

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.

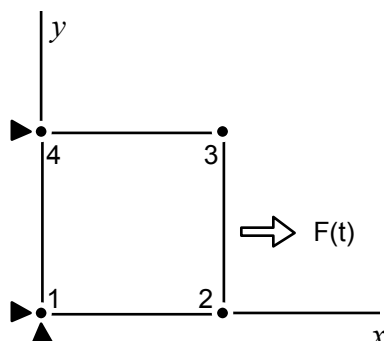
Une modélisation en contraintes planes et une modélisation en 3D.

Ce test valide la méthode de comptage des cycles (RAINFLOW) implantée dans l'opérateur `CALC_FATIGUE` [U4.67.01] 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 `EQUI_ELGA_SIGM`, `EQUI_ELNO_SIGM`, `EQUI_ELGA_EPSI`, `EQUI_ELNO_EPSI`, `EQUI_ELGA_EPME` et `EQUI_ELNO_EPME`.

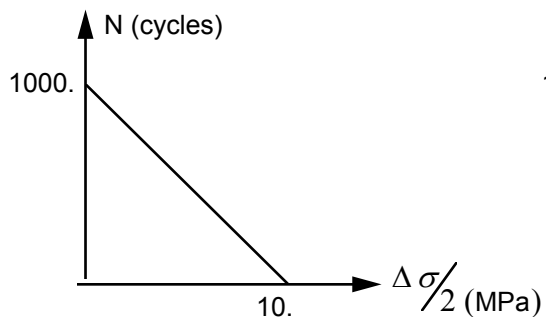
1 Problème de référence

1.1 Géométrie

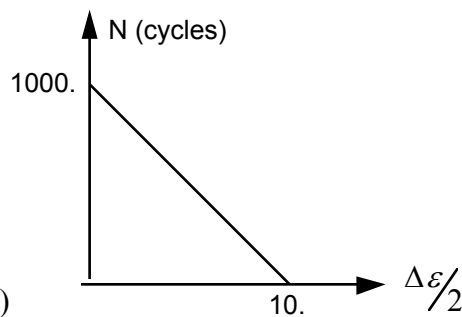


1.2 Propriétés de matériaux

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



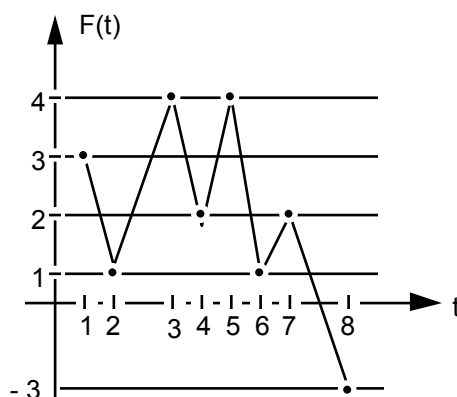
Courbe de Wöhler



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 :

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

les grandeurs équivalentes sont donc $\begin{cases} \sigma_{VMIS} = |\sigma| = \sigma_{TRESCA}, \\ \sigma_{VMIS_SG} = \sigma \end{cases}$

$$\text{et} \quad \begin{cases} \varepsilon_{INVA_2} = \frac{2}{3} |\varepsilon - \gamma|, \\ \varepsilon_{INVA_2SG} = \frac{2}{3} |\varepsilon - \gamma| * \text{signe}\left(\frac{\varepsilon + 2\gamma}{3}\right) \end{cases}$$

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

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 $\sigma_{VMIS_SG} = \sigma$ et comme déformation équivalente $\varepsilon_{INVA_2SG} = \frac{2}{3} |\varepsilon - \gamma| * \text{signe}\left(\frac{\varepsilon + 2\gamma}{3}\right)$.

2.2 Résultats de référence

- Etant 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 :

$$D_{Wöhler} = 4.8133 \cdot 10^{-3} = \sum_{i=1}^4 Du_i$$

$$D_{Manson} = 4.67 \cdot 10^{-3} = \sum_{i=1}^4 Du_i$$

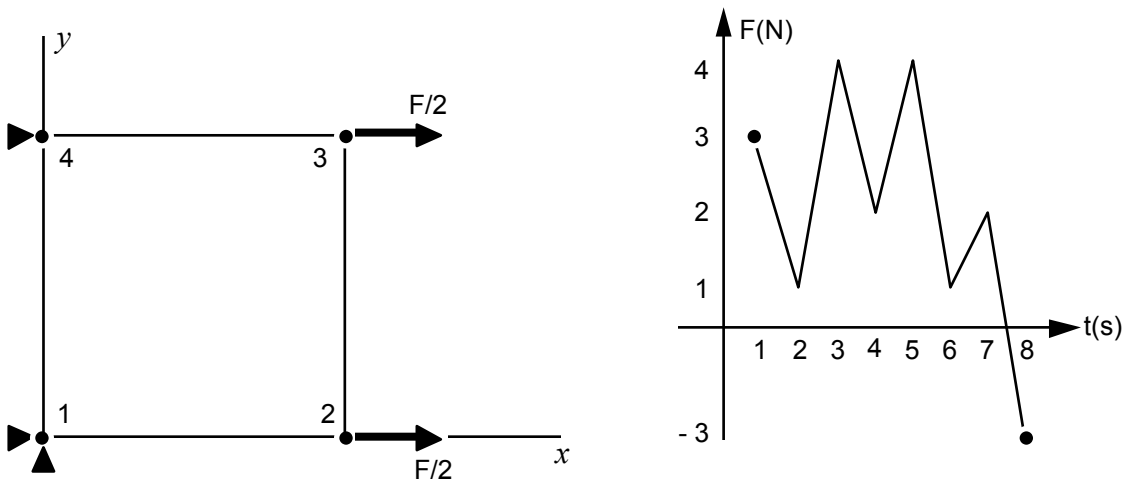
2.3 Références bibliographiques

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

3Modélisation A

3.1Caractéristiques de la modélisation

Modélisation en contraintes planes :



3.2Caractéristiques du maillage

1 maille QUAD4.

Carré largeur = 1
 épaisseur = 1

3.3Fonctionnalités testées

Commande	Mot-clé facteur	Mot-clé simple	Argument	Clés
CALC_FATIGUE		OPTION	'DOMA_ELNO_SIGM'	[U4.67.02]
			'DOMA_ELNO_EPSI'	
	HISTOIRE	EQUI_GD	'VMIS_SG'	
			'INVA_2SG'	
CALC_ELEM	HISTOIRE	RESULTAT	'WOHLER'	[U4.61.02]
		DOMMAGE	'MANSON_COFFIN'	
		MATER		
		OPTION	'EQUI_ELGA_SIGM'	
DEFI_MATERIAU	FATIGUE		'EQUI_ELNO_SIGM'	[U4.23.01]
			'EQUI_ELGA_EPSI'	
			'EQUI_ELNO_EPSI'	
		WOHLER		
		MANSON_COFFIN		

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
en tous nœuds en fin de chargement en contrainte ou en déformation			
Dommage Wöhler	$4.8133 \cdot 10^{-3}$	$4.813315 \cdot 10^{-3}$	0.0003
Dommage Manson-Coffin	$4.6705 \cdot 10^{-3}$	$4.67048 \cdot 10^{-3}$	-0.0003
σ	-3.	-3.	0.
σ_{VMIS}	3.	3.	0.
σ_{TRESCA}	3.	3.	0.
σ_{VMIS_SG}	-3.	-3.	0.
ε	-3.	-3.	0.
γ	0.9	0.9	0.
ε_{INVA_2}	2.6	2.6	0.
ε_{INVA_2SG}	-2.6	-2.6	0.

4.2 Remarques

Test rapide en CPU.

4.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.02.10

Machine : SGI - Origin 2000

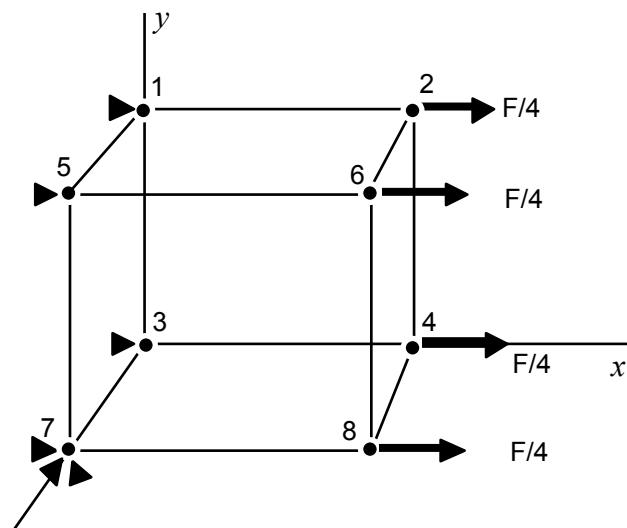
Encombrement mémoire : 128 Mo

Temps CPU User : 4.84 secondes

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation

Modélisation en 3D :



5.2 Caractéristiques du maillage

1 maille HEXA8.

cube de largeur = 1

5.3 Fonctionnalités testées

Commande	Mot-clé facteur	Mot-clé simple	Argument	Clés
CALC_FATIGUE		OPTION	'DOMA_ELNO_SIGM' 'DOMA_ELNO_EPSI' 'DOMA_ELNO_EPME'	[U4.67.02]
	HISTOIRE	EQUI_GD	'VMIS_SG' 'INVA_2SG'	
	HISTOIRE	RESULTAT DOMMAGE	'WOHLER' 'MANSON_COFFIN'	
		MATER		
CALC_ELEM		OPTION	'EQUI_ELGA_SIGM' 'EQUI_ELNO_SIGM' 'EQUI_ELGA_EPSI' 'EQUI_ELNO_EPSI' 'EQUI_ELGA_EPME' 'EQUI_ELNO_EPME'	[U4.61.02]
DEFI_MATERIAU	FATIGUE	WOHLER MANSON_COFFIN		[U4.23.01]

6 Résultats de la modélisation B

6.1 Valeurs testées

Identification	Référence	Aster	% différence
en tous nœuds en fin de chargement			
Dommage Wöhler	$4.8133 \cdot 10^{-3}$	$4.813315 \cdot 10^{-3}$	0.
Dommage Manson-Coffin	$4.6705 \cdot 10^{-3}$	$4.67048 \cdot 10^{-3}$	0.
σ	-3.	-3.	0.
σ_{VMIS}	3.	3.	0.
σ_{TRESCA}	3.	3.	0.
σ_{VMIS_SG}	-3.	-3.	0.
ε	-3.	-3.	0.
γ	0.9	0.9	0.
ε_{INVA_2}	2.6	2.6	0.
ε_{INVA_2SG}	-2.6	-2.6	0.
$(\varepsilon - \varepsilon h)_{INVA_2}$	2.6	2.6	0.
$(\varepsilon - \varepsilon h)_{INVA_2SG}$	-2.6	-2.6	0.

6.2 Remarques

Mêmes résultats et référence qu'en contraintes planes.

6.3 Paramètres d'exécution

Version : 5.02.10

Machine : SGI - Origin 2000

Encombrement mémoire : 128 Mo

Temps CPU User : 5.34 secondes

7 Synthèse des résultats

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

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