SSNL102 - Comportement non-linéaire d'un assemblage de cornières

Résumé :
On considère dans ce test un élément discret à 2 nœuds soumis à un chargement bidimensionnel de traction et de moment sollicitant les degrés de liberté en translation et rotation.

L'analyse est statique avec une relation de comportement non linéaire incrémentale exprimée par une variable interne adimensionnelle combinant les efforts et déplacements généralisés bidimensionnels.

La relation de comportement comprend 2 mécanismes associés respectivement à 2 courbes se raccordant entre elles par une concavité.

L'intérêt du test est de simuler de manière exhaustive les trajets de chargement possibles en charge et décharge et notamment la transition entre mécanismes.

Les résultats correspondent à la solution numérique en déplacements du problème à 1 inconnue (la variable du mécanisme courant) obtenu par l'inversion de la courbe de la relation de comportement dans chacun des 2 mécanismes par rapport à une force imposée.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

Un élément discret de taille nulle à 2 nœuds.
Repère local = repère global.
Une matrice de rigidité K_TR_D_L affectée par défaut (associée à un élément DIS_TR_L)
$1.6\,N/mm$ en translation, $1.9\,N/mm$ en rotation.
Les caractéristiques de rigidité selon les directions locales x et rotation autour de y sont modifiées par une relation de comportement de type ASSE_CORN introduite par un matériau caractéristique.

1.2 Propriétés de matériaux

Liées à un comportement incrémental ASSE_CORN comprenant 2 mécanismes nécessitant chacun 5 paramètres caractéristiques (voir [fig 1.2-a] et [fig 1.2-b]) :

$$\bar{N}_1=10050\,N\ ,\ \bar{M}_1=150000\,N.mm\ ,\ \bar{U}_1=1\,mm\ ,\ \bar{\theta}_1=6.7\,10^{-2}\ ,\ \bar{C}_1=0.95$$
$$\bar{N}_2=50000\,N\ ,\ \bar{M}_2=750000\,N.mm\ ,\ \bar{U}_2=10\,mm\ ,\ \bar{\theta}_2=0.01\ ,\ \bar{C}_2=0.95$$

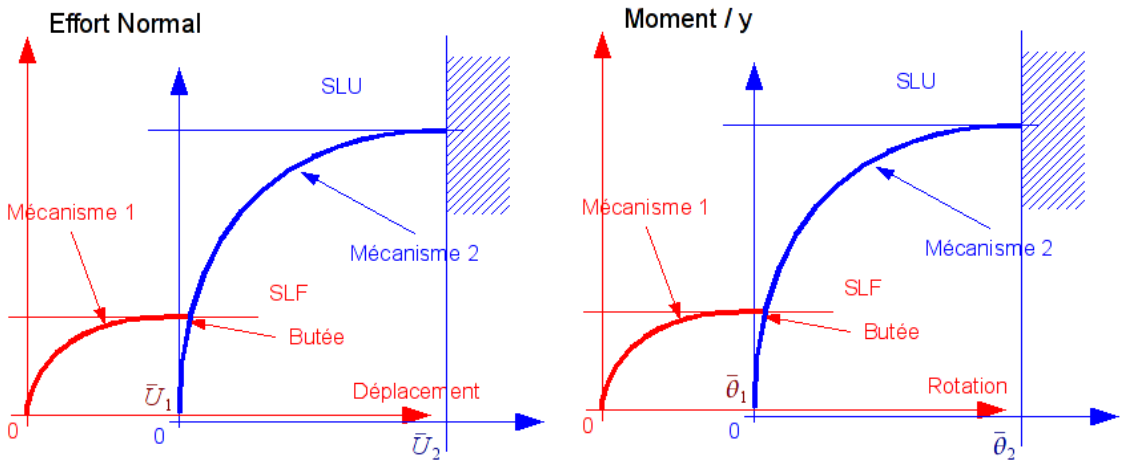
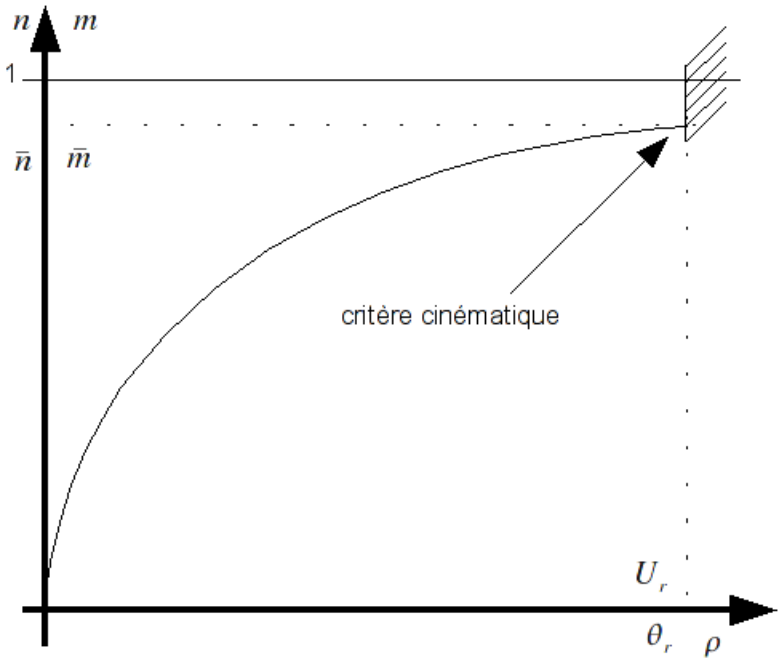


Figure 1.2-a : Mécanismes d'assemblage en effort normal et moment.

$$R(p)=\sqrt{n^2+m^2}$$
$$\dot{p}\cdot\begin{pmatrix}n\\m\end{pmatrix}=R(p)\cdot\begin{pmatrix}\dot{U}_r\\\dot{\theta}_r\end{pmatrix}$$

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)



$n = Nx/\bar{N}$

$m = My/\bar{M}$

$U_r = U/\bar{U}$

$\theta = \theta/\bar{\theta}$

Figure 1.2-b : Relation de comportement d'assemblage

avec

$$\dot{p} = \sqrt{\dot{U}_r^2 + \dot{\theta}_r^2}$$

$$p = R^{-1}(p') = h(p') = \frac{1-c}{c^2} \cdot \frac{p^{2\prime}}{1-p'}$$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Encastrement en un des 2 nœuds.
Force imposée dans la direction x par unité de $1\,000\ N$ et Moment imposé autour de l'axe z par unité de $3\,000\ N$. Le tout sur le second nœud, par incréments de charge.

1.4 Conditions initiales

Déplacements, efforts et variables internes nuls.

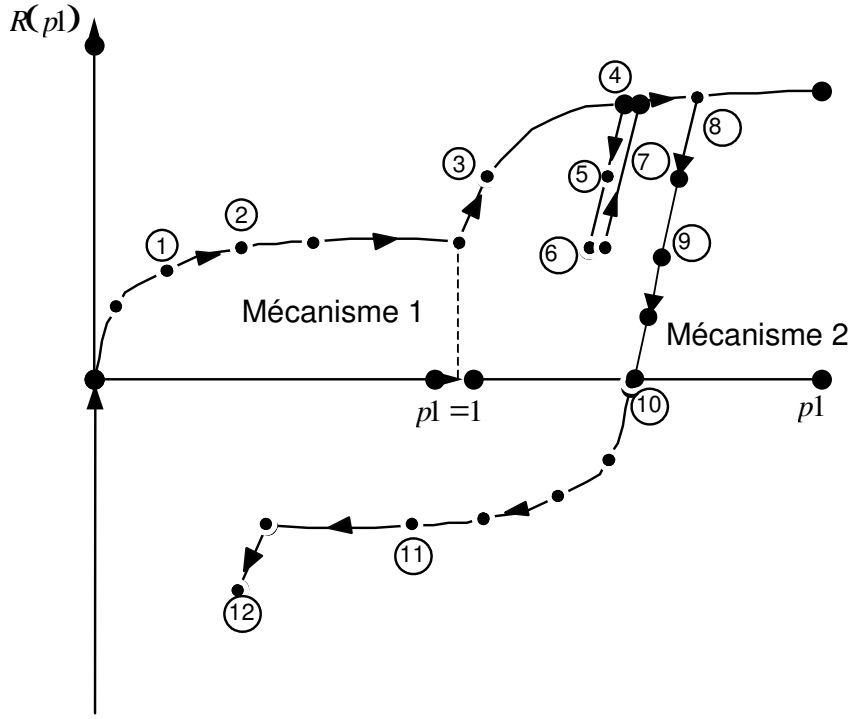
Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

2 Solution de référence

2.1 Méthode de calcul utilisée pour la solution de référence

On reproduit sur un élément un parcours de chargement (croissant et en décharge) dans chacun des 2 mécanismes d'assemblage de la relation de comportement bidirectionnelle (effort selon la direction x et moment autour de l'axe y). Celle-ci exprime les déplacements réduits par rapport aux efforts réduits. Les mécanismes et la loi de comportement d'assemblage sont décrits sur les figures [Figure 1.2-a] et [Figure 1.2-b].

Le trajet de charge exprimé en $\left(p_{1,}R\left(p_1\right)\right)$ comporte 12 étapes ainsi définies :



2.2 Résultats de référence

Retrouver la correspondance variable-critère de la courbe limite de la relation de comportement.

2.3 Incertitude sur la solution

Solution numérique de l'inversion d'une relation non-linéaire. Il y a une inconnue à la fois : la variable interne du mécanisme. Les autres valeurs s'en déduisent. Le calcul est direct pour le 1er mécanisme, incrémental pour le second (discussion dans la synthèse en [§5]).

2.4 Références bibliographiques

P. PENSERINI : "Modélisation des assemblages boulonnés dans les pylônes en treillis". Note HM-77/93/287

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

Un élément DIS_TR_L à 2 nœuds de taille nulle (idem 1.1).
Un nœud $N2$: on bloque tout.
Un nœud $N3$: on impose F_x par pas de $1\,000\ N$ et M_y par pas de $3\,000\ N.mm$ avec la carte de temps :

t	0.	1.	2.	3.	4.	6.	8.	10.	11.	12.
	0.	6.	7	17.	40.	20.	42	0.	-6 .	-17.

3.2 Caractéristiques du maillage

1 SEG2.
2 nœuds.

3.3 Grandeurs testées et résultats

Identification	Référence	% différence
Déplacement UX, Nœud $N3$, Ordre 2	9.468E-02	(Calcul direct et
Déplacement DRY, Nœud $N3$, Ordre 2	1.275E-03	exact)
Déplacement UX, Nœud $N3$, Ordre 8	3.7366	Calcul incrémental
Déplacement DRY, Nœud $N3$, Ordre 8	1.3754E-02	exact
Déplacement UX, Nœud $N3$, Ordre 12	2.6799	Calcul incrémental
Déplacement DRY, Nœud $N3$, Ordre 12	5.3598E-04	exact
Variable interne 1, Nœud $N3$, Ordre 2	9.6574E-02	Calcul direct exact
Variable interne 1, Nœud $N3$, Ordre 3	1.07417	Calcul incrémental exact
Variable interne 1, Nœud $N3$, Ordre 11	9.6574E-02	Calcul incrémental exact
Variable interne 1, Nœud $N3$, Ordre 12	1.07417	Calcul incrémental exact

3.4 Remarque

La solution de référence est la solution numérique d'un problème à une inconnue déterminée par *Code_Aster*.

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)

4 Synthèse des résultats

L'intérêt du test est de représenter l'exhaustivité des trajets de chargements possibles avec de multiples facteurs de rupture de pente : charge-décharge, transition de mécanisme.

Par contre, la dimension du problème permet de n'avoir qu'une inconnue (la variable interne courante), solution de l'inversion de la courbe de la loi de comportement : solution directe pour le 1er mécanisme et incrémentale pour le second.

La réduction du problème permet (si on converge) de faire confiance à *Aster* comme "règle à calcul" et de considérer le résultat comme une solution numérique "exacte".

Document diffusé sous licence GNU FDL (http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html)