SSND103 - Validation d'une loi de comportement bilinéaire sur un élément discret (application aux assemblages boulonnés)

Résumé :

L'objectif de ce cas-test est de valider une loi de comportement bilinéaire portant sur un élément discret.
Cette loi de comportement a été développée dans le cadre d'une étude dans laquelle le comportement de la vis d'un assemblage boulonné est modélisé par un élément discret affecté du même comportement.
La loi de comportement `DIS_BILI_ELAS` demande en arguments les deux raideurs apparentes de la vis (éléments de l'assemblage en contact ou non) ainsi que la valeur de l'effort de pré-serrage imposé à la vis.
On vérifie, pour différentes températures et différentes directions de sollicitation, que les pentes des courbes de charge obtenues, lorsque l'on sollicite le discret, correspondent aux raideurs apparentes et que la rupture de pente correspond à l'effort de pré-serrage imposé.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie

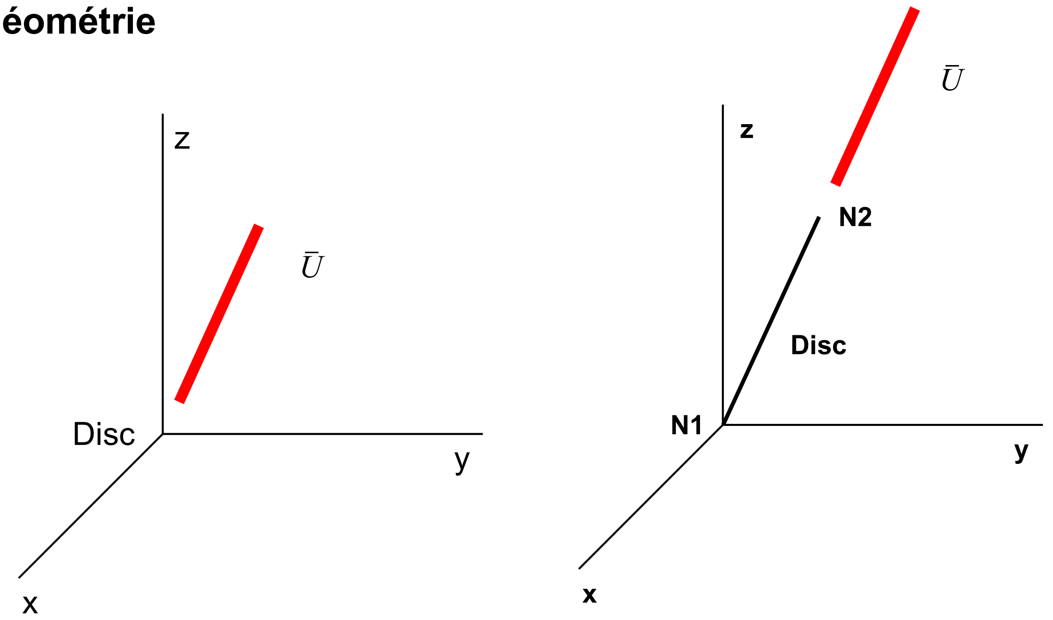


Figure ***a*** *Figure* ***b***

En théorie, on cherche à imposer un chargement (en force ou déplacement) sur un élément discret représenté par un nœud tel qu'en *Figure* ***a***.
En pratique, il faut introduire une condition de blocage sur ce nœud afin d'éviter tout mouvement de corps solide et donner un sens physique à sa raideur.
C'est pourquoi le maillage sera composé de deux nœuds, la raideur étant affectée au segment constitué par leur jonction (cf. *Figure* ***b***).
N.B. : Si ce segment a une longueur non nulle (i.e. les deux nœuds ne sont pas confondus), sa direction fixe l'orientation du discret.

- On appelle $N1$ le nœud sur lequel porteront les conditions de blocage.
- On appelle $N2$ le nœud sur lequel seront imposés les chargements mécaniques.
- On appelle $Disc$ l'élément discret de type `SEG2` auquel on affecte la loi de comportement à valider.

1.2 Propriétés du matériau

On choisit arbitrairement d'affecter à l'élément discret les données matériau d'un acier élastique : $E=2.10^{11}\,Pa$, $\nu=0.3$.

1.3 Conditions aux limites et chargements

On impose une condition d'encastrement sur le nœud $N1$.
On impose un effort de pré-serrage F_P à l'élément discret.
On impose un chargement proportionnel en déplacement au nœud $N2$.
On impose un champ de température constant au cours du temps.
On considère que l'élément discret ne peut travailler qu'en translation, on lui affecte une modélisation `DIS_T`.

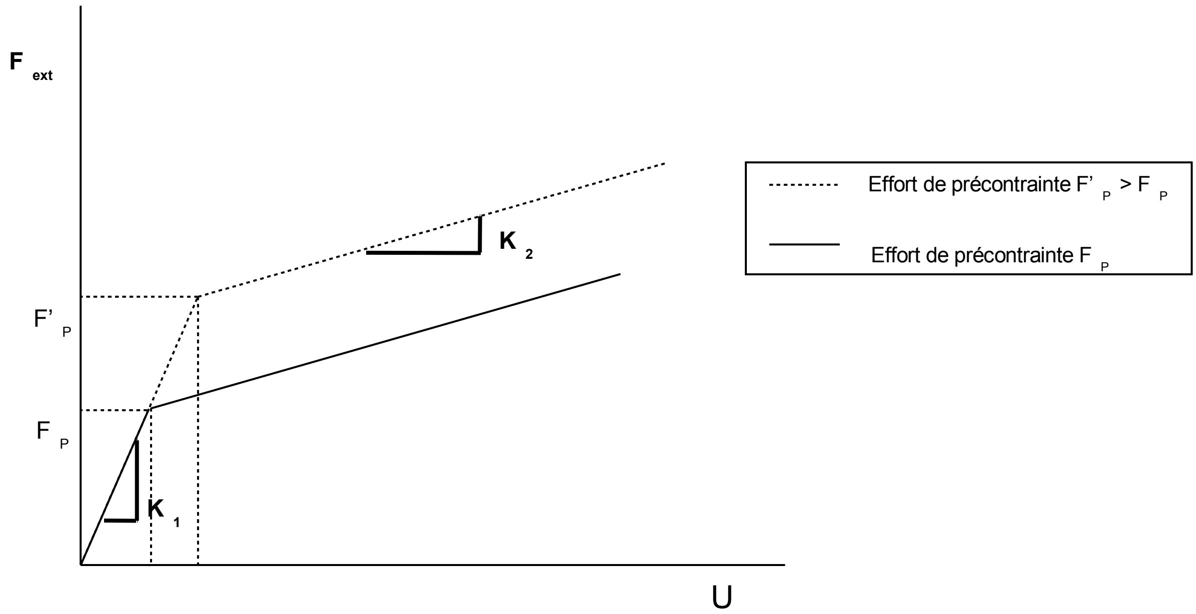
2 Solution de référence

On affecte à l'élément discret, via la loi de comportement bilinéaire, deux raideurs K_1 et K_2 fonctions de la température de la forme $K_i = \alpha_i - \beta_i \dot{T}$.

On fixe arbitrairement ici :

$$\alpha_1 = 2\dot{\alpha}_2 = 2.10^8\ N.m^{-1}$$
$$\beta_1 = 2\dot{\beta}_2 = 4.10^6\ N.m^{-1}$$

On vérifie que, quelque soit le déplacement U ou l'effort de contrainte F_P que l'on impose, on obtient une réaction nodale F du discret vérifiant la loi élastique $\Delta F = K_i . \Delta U$, où $i=1$ si $F \le F_P$ et $i=2$ si $F > F_P$.



On relève les réactions nodales du discret pour des déplacements ($U_1 < U_2$) situés de part et d'autre de la rupture de pente.
La rupture de pente ayant lieu pour $U_P = F_P / K_1$, on obtient directement les solutions de référence :

$$F_1 = K_1 . U_1 \text{ et } F_2 = F_P + K_2 .(U_2 - U_P)$$

soit $F_2 = F_P .(1 - K_2 / K_1) + K_2 . U_2$

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation

On sollicite l'élément discret de manière uni-axiale. On lui impose :

- une température constante $T=0°C$,
- un effort de précontrainte $F_P=5.10^4 N$ et
- un déplacement d'axe $(0x)$ $U_{tot}=10^{-3} mm$.

3.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est constitué de deux nœuds reliés par un élément SEG2 d'axe Ox .

3.3 Grandeurs testées et résultats

On choisit $U_1=2.10^{-4} mm$ et $U_2=8.10^{-4} mm$.
Après application numérique, les solutions de référence sont :

$$F_1=4.10^4 N$$
$$F_2=1{,}05.10^5 N$$

Nœuds	U	Référence
$N1$	$2.10^{-4} mm$	$-4.10^4 N$
$N2$	$2.10^{-4} mm$	$4.10^4 N$
$N1$	$8.10^{-4} mm$	$-1{,}05.10^5 N$
$N2$	$8.10^{-4} mm$	$1{,}05.10^5 N$

4 Modélisation B

4.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation B est en tous points la même que A sauf la température prise constante égale à $25°C$

4.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est constitué de deux nœuds reliés par un élément SEG2 d'axe Ox .

4.3 Grandeurs testées et résultats

On choisit $U_1=2.10^{-4} mm$ et $U_2=8.10^{-4} mm$.
Après application numérique, les solutions de référence sont :

$F_1=2.10^4 N$

$F_2=6,5.10^4 N$

Nœuds	U	**Référence**
$N1$	$2.10^{-4} mm$	$-2.10^4 N$
$N2$	$2.10^{-4} mm$	$2.10^4 N$
$N1$	$8.10^{-4} mm$	$-6,5.10^4 N$
$N2$	$8.10^{-4} mm$	$6,5.10^4 N$

5 Modélisation C

5.1 Caractéristiques de la modélisation

La modélisation C est en tous points la même que A sauf s'agissant du sens de la sollicitation.
On ne sollicite plus le discret uniquement suivant son axe, mais dans la direction de la première trisectrice.
On choisit, par ailleurs, $K_{ix}=K_{iy}=2.K_{iz}=K_i$, où K_i est donné au §2.

5.2 Caractéristiques du maillage

Le maillage est constitué de deux nœuds reliés par un élément `SEG2` d'axe Ox .

5.3 Grandeurs testées et résultats

On choisit $U_1=2.10^{-4}\,mm$ et $U_2=8.10^{-4}\,mm$.
Après application numérique, les solutions de référence sont :

$F_{1x}=4.10^4\,N$
$F_{1y}=4.10^4\,N$
$F_{1z}=2.10^4\,N$
$F_{2x}=10{,}5.10^4\,N$
$F_{2y}=10{,}5.10^4\,N$
$F_{2z}=6{,}5.10^4\,N$

Nœud	U	Composantes	Référence
N2	$2.10^{-4}\,mm$	F_{1x}	$4.10^4\,N$
		F_{1y}	$4.10^4\,N$
		F_{1z}	$2.10^4\,N$
N2	$8.10^{-4}\,mm$	F_{2x}	$10{,}5.10^4\,N$
		F_{2y}	$10{,}5.10^4\,N$
		F_{2z}	$6{,}5.10^4\,N$

6 Synthèse des résultats

La loi de comportement DIS_BILI_ELAS donne des résultats parfaitement conformes à ceux issus des expressions analytiques, que la raideur soit fonction de la température ou différenciée selon les directions de l'espace.