SSNL118 - Barre soumise à un champ de vitesse de vent

Résumé :

Ce test concerne la validation de l'application des chargements de vent sur les éléments linéiques. Le chargement est décrit par des champs de vitesses de vent.

Ce problème permet de tester :

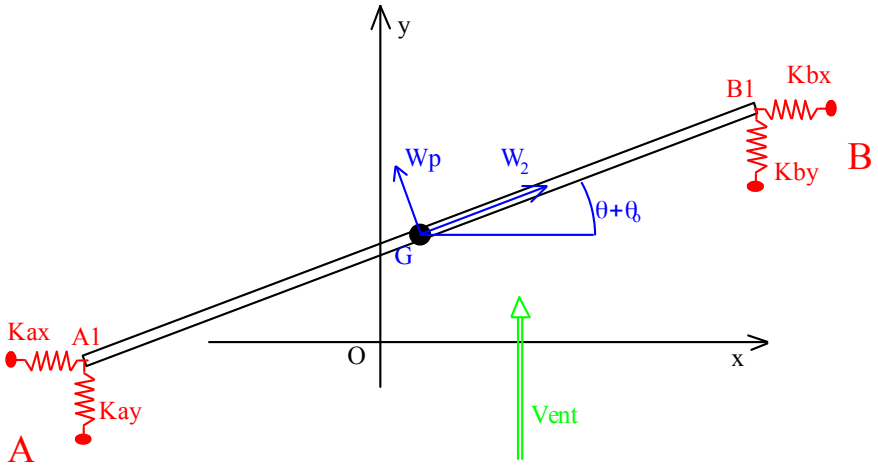
- les éléments finis linéiques [barres, câbles, poutres (sauf les poutres courbes)] avec des chargements suiveurs de nature “vent”,
- les chargements représentant des vitesses de vent :
  - lecture des données des champs de vent,
  - projection des champs de vent attachés au nuage de points sur le maillage déformé de la structure,
  - calcul de la vitesse relative,
- la prise en compte de la fonction donnant la force répartie en fonction de la vitesse relative de la structure,
- la réactualisation de la géométrie pour tenir compte des grands déplacements et des grandes rotations.

La modélisation A teste les éléments BARRE.
La modélisation B teste les éléments CABLE.

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

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Longueur de la barre : $1.5\mathrm{m}$
Raideurs des discrets : $kax\,,kay\,,kbx\,,kby$

1.2 Propriétés des matériaux

Matériau pour l'élément linéique : $E=2.0\mathrm{E}+08\,Pa$, $\rho=1000.0\,kg/m^3$

Caractéristiques mécaniques de la barre : $section='CERCLE'$, $rayon=0.5\,m$, $ep=0.5\,m$

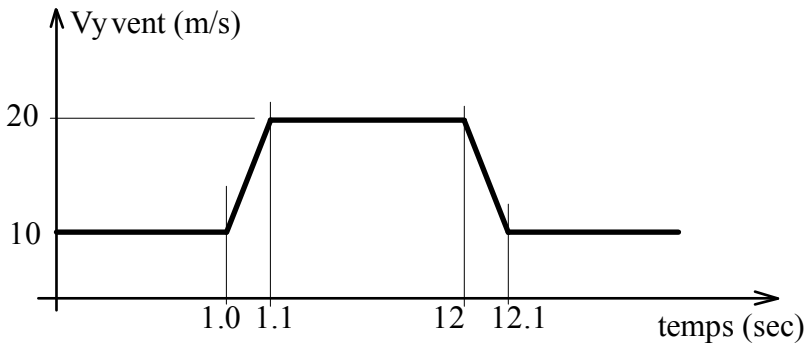
La raideur des ressorts :

Kxa	Kya	Kxb	Kyb
$10\,N/m$	$20\,N/m$	$25\,N/m$	$30\,N/m$

1.3 Conditions aux limites et chargements

Aux points A et B : blocage des degrés de liberté : $dx\,,dy\,,dz$
Aux points $A1$ et $B1$: blocage des degrés de liberté : dz

Les caractéristiques du champ de vitesse de vent, suivant l'axe y :



1.4 Conditions initiales

La barre fait un angle de 30° ($\theta_0=30\,°$) par rapport à l'axe x .

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

2 Solution de référence

2.1 Équations d'équilibre

Effort au point $A1$

$$Fa = \begin{bmatrix} -kxa.\delta xa \\ -kya.\delta ya \\ L.(\delta ya.kya.\cos(\theta_o+\theta) - \delta xa.kxa.\sin(\theta_o+\theta))/2 \end{bmatrix}$$

avec les déplacements du point $A1$

$$\delta xa = L.\cos(\theta_o)/2 - L.\cos(\theta_o+\theta)/2 + x$$
$$\delta ya = L.\sin(\theta_o)/2 - L.\sin(\theta_o+\theta)/2 + y$$

Effort au point $B1$

$$Fb = \begin{bmatrix} -kxb.\delta xb \\ -kyb.\delta yb \\ L.(-\delta yb.kyb.\cos(\theta_o+\theta) + \delta xb.kxb.\sin(\theta_o+\theta))/2 \end{bmatrix}$$

avec les déplacements du point $B1$

$$\delta xb = -L.\cos(\theta_o)/2 + L.\cos(\theta_o+\theta)/2 + x$$
$$\delta yb = -L.\sin(\theta_o)/2 + L.\sin(\theta_o+\theta)/2 + y$$

Effort dû au vent

- Vitesse du vent en un point $M \in barre$

$$V_r = \begin{bmatrix} Vvx \\ Vvy \\ 0 \end{bmatrix}$$ avec Vvx , Vvy : vitesse du vent suivant l'axe x et l'axe y .

- Vitesse relative perpendiculaire à la barre au point M :

$$V_p = \begin{bmatrix} Sin(qo+q).(-Vvy.Cos(qo+q) + Vvx.Sin(qo+q)) \\ Cos(qo+q).(Vvy.Cos(qo+q) - Vvx.Sin(qo+q)) \\ 0 \end{bmatrix}$$

- Force due au vent en un point M

$$Fvent_{(M)} = Fcx_{(M)} \frac{V_p}{||V_p||}$$ dans notre cas on choisit $Fcx_{(M)} = ||V_p||$

on obtient donc $Fvent_{(M)} = V_p$

- Résultante de la force due au vent sur la barre

$$\text{Fvent} = \begin{bmatrix} L.Sin(qo+q).(-Vvy.Cos(qo+q) + Vvx.Sin(qo+q)) \\ L.Cos(qo+q).(Vvy.Cos(qo+q) - Vvx.Sin(qo+q)) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Équation d'équilibre : $Fa + Fb + Fvent = 0$

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

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Déplacements des points $A1$ et $B1$ aux instants : $1.s$, $1.05s$ et $2.s$. Ces instants correspondent respectivement à des vitesses de vent de 10, 15 et $20\mathrm{m}/s$

La résolution des 3 équations d'équilibre, projection de $Fa+Fb+Fvent=0$, se fait par itérations. Les 3 inconnues du problème sont la position du centre de gravité de la barre G : (x,y) et la variation de l'angle : θ.

Dans *Code_Aster*, l'effet du vent est pris en compte par une force répartie le long de l'élément linéique. L'expression du module de cette force répartie est la suivante :

$$Fcx_{(v)}=\frac{1}{2}.\rho.V^2.Cx(v).D_h$$

où $Fcx_{(v)}$: est le module de la force répartie le long du câble en N/m, dépendant de la vitesse.
ρ : est la masse volumique de l'air en kg/m^3.
V : est la vitesse relative du câble en m/s.
$Cx(v)$: est le coefficient de traîne du câble, dépendant de la vitesse relative.
D_h : est le diamètre hydraulique du câble en m.

Pour obtenir une solution de référence analytique simple, la fonction $Fcx_{(Vp)}$ est prise égale à $\|V_p\|$. Dans le fichier de commande de *Code_Aster* la fonction du $Fcxv$ est donc définie de la facon suivante :

```
FCXV=DEFI_FONCTION(
  NOM_PARA='VITE',
  VALE=(  0.0 ,   0.0,
         10.0 ,  10.0 ),
  PROL_GAUCHE='LINEAIRE',
  PROL_DROITE='LINEAIRE',
)
```

2.3 Incertitudes sur la solution

Aucune. La résolution de l'équation d'équilibre se fait par itérations avec une erreur inférieure à $1.0\mathrm{E}-09$.

2.4 Référence bibliographique

- HM77/01/046/A. “Projet M7-01-70. Évolution du *Code_Aster* pour une meilleure prise en compte des chargements de vent dynamique sur les éléments linéiques”.

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

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation et du maillage

L'élément linéique : 'BARRE', cinématique : 'PETIT_REAC'.
Les discrets : 'DIS_T'

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Grandeurs testées et résultats

L'équilibre est calculé aux instants : $1.s$, $1.05s$ et $2.s$.

Équilibre à $1.s$	**Analytique**
$\delta xa(m)$	–0.2092
$\delta ya(m)$	0.3276
$\delta xb(m)$	–0.1418
$\delta yb(m)$	0.1965
Équilibre à $1.05s$	**Analytique**
$\delta xa(m)$	–0.2885
$\delta ya(m)$	0.5050
$\delta xb(m)$	–0.1942
$\delta yb(m)$	0.3105
Équilibre à $2.s$	**Analytique**
$\delta xa(m)$	–0.3502
$\delta ya(m)$	0.6890
$\delta xb(m)$	–0.2327
$\delta yb(m)$	0.4324

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

5 Modélisation B

5.1 Caractéristiques de la modélisation et du maillage

L'élément linéique : 'CABLE', cinématique : 'GROT_GDEP'.
Les discrets : 'DIS_T'

6 Résultats de la modélisation A

6.1 Grandeurs testées et résultats

L'équilibre est calculé aux instants : $1.s$, $1.05s$ et $2.s$.

Équilibre à $1.s$	**Analytique**
$\delta\, xa(m)$	–0.2092
$\delta\, ya(m)$	0.3276
$\delta\, xb(m)$	–0.1418
$\delta\, yb(m)$	0.1965
Équilibre à $1.05s$	**Analytique**
$\delta\, xa(m)$	–0.2885
$\delta\, ya(m)$	0.5050
$\delta\, xb(m)$	–0.1942
$\delta\, yb(m)$	0.3105
Équilibre à $2.s$	**Analytique**
$\delta\, xa(m)$	–0.3502
$\delta\, ya(m)$	0.6890
$\delta\, xb(m)$	–0.2327
$\delta\, yb(m)$	0.4324

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

7 Synthèse

Le test montre la bonne prise en compte des chargements de type vitesse de vent sur les éléments linéiques. La modélisation B est plus précise que la modélisation A.

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