

SSNL118 - Barre soumise à un champ de vitesse de vent

Résumé :

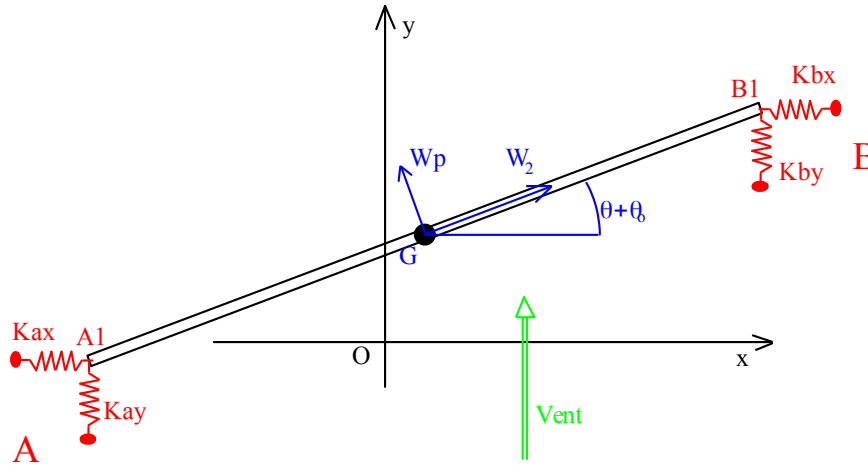
Ce test concerne la validation de l'application des chargements de vent sur les éléments linéiques. Le chargement est décrit par des champs de vitesses de vent.

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.

1 Problème de référence

1.1 Géométrie



Longueur de la barre : 1.5m

Raideurs des discrets : kax , kay , kbx , kby

1.2 Propriétés des matériaux

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

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

La raideur des ressorts :

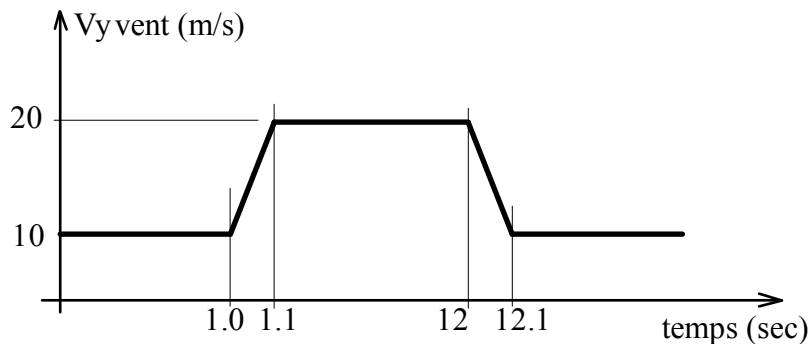
Kxa	Kya	Kxb	Kyb
10 N/m	20 N/m	25 N/m	30 N/m

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° ($\theta_0 = 30^\circ$) par rapport à l'axe x .

2 Solution de référence

2.1 Équations d'équilibre

Effort au point $A1$

$$F_a = \begin{pmatrix} -k_{xa} \cdot \delta x_a \\ -k_{ya} \cdot \delta y_a \\ L \cdot (\delta y_a \cdot k_{ya} \cdot \cos(\theta_o + \theta) - \delta x_a \cdot k_{xa} \cdot \sin(\theta_o + \theta)) / 2 \end{pmatrix} \quad \text{avec les déplacements du point } A1$$

$$\begin{pmatrix} \delta x_a = L \cdot \cos(\theta_o) / 2 - L \cdot \cos(\theta_o + \theta) / 2 + x \\ \delta y_a = L \cdot \sin(\theta_o) / 2 - L \cdot \sin(\theta_o + \theta) / 2 + y \end{pmatrix}$$

Effort au point $B1$

$$F_b = \begin{pmatrix} -k_{xb} \cdot \delta x_b \\ -k_{yb} \cdot \delta y_b \\ L \cdot (-\delta y_b \cdot k_{yb} \cdot \cos(\theta_o + \theta) + \delta x_b \cdot k_{xb} \cdot \sin(\theta_o + \theta)) / 2 \end{pmatrix} \quad \text{avec les déplacements du point } B1$$

$$\begin{pmatrix} \delta x_b = -L \cdot \cos(\theta_o) / 2 + L \cdot \cos(\theta_o + \theta) / 2 + x \\ \delta y_b = -L \cdot \sin(\theta_o) / 2 + L \cdot \sin(\theta_o + \theta) / 2 + y \end{pmatrix}$$

Effort dû au vent

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

$$V_r = \begin{pmatrix} V_{vx} \\ V_{vy} \\ 0 \end{pmatrix} \quad \text{avec } V_{vx}, V_{vy} : \text{vitesse du vent suivant l'axe } x \text{ et l'axe } y.$$

- Vitesse relative perpendiculaire à la barre au point M :

$$V_p = \begin{pmatrix} \sin(q_o + q) \cdot (-V_{vy} \cdot \cos(q_o + q) + V_{vx} \cdot \sin(q_o + q)) \\ \cos(q_o + q) \cdot (V_{vy} \cdot \cos(q_o + q) - V_{vx} \cdot \sin(q_o + q)) \\ 0 \end{pmatrix}$$

- Force due au vent en un point M

$$F_{vent(M)} = F_{cx(M)} \frac{V_p}{\|V_p\|} \quad \text{dans notre cas on choisit } F_{cx(M)} = \|V_p\|$$

on obtient donc $F_{vent(M)} = V_p$

- Résultante de la force due au vent sur la barre

$$F_{vent} = \begin{pmatrix} L \cdot \sin(q_o + q) \cdot (-V_{vy} \cdot \cos(q_o + q) + V_{vx} \cdot \sin(q_o + q)) \\ L \cdot \cos(q_o + q) \cdot (V_{vy} \cdot \cos(q_o + q) - V_{vx} \cdot \sin(q_o + q)) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Équation d'équilibre : $F_a + F_b + F_{vent} = 0$

2.2 Grandeurs et résultats de référence

Déplacements des points AI et BI aux instants : $1.s$, $1.05s$ et $2.s$. Ces instants correspondent respectivement à des vitesses de vent de 10 , 15 et $20m/s$

La résolution des 3 équations d'équilibre, projection de $F_a + F_b + F_{vent} = 0$, 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 :

$$F_{cx(v)} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_x(v) \cdot D_h$$

- où $F_{cx(v)}$: 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 .
 $C_x(v)$: est le coefficient de traînée 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 $F_{cx(v_p)}$ est prise égale à $\|V_p\|$. Dans le fichier de commande de *Code_Aster* la fonction du F_{cxv} est donc définie de la façon 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 $1.0E-09$.

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".

3 Modélisation A

3.1 Caractéristiques de la modélisation et du maillage

L'élément linéique : 'BARRE'
Les discrets : 'DIS_T'

4 Résultats de la modélisation A

4.1 Grandeurs testées et résultats

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

5 Synthèse

Le test montre la bonne prise en compte des chargements de type vitesse de vent sur les éléments linéiques.