ANALYSE STRUCTURALE DE LA DEFORMATION D'UN PYLÔNE

DESCRIPTION DU PROBLEME



On effectue une analyse structurale du pylône d'une ligne de transport d'électricité qu'on assimile à un treillis plan (Cf. figure ci-contre). Deux charges identiques F de 1,8 kN sont appliquées aux deux extrémités supérieures du pylône suivant un angle de θ =15°.

Les barres formant la structure sont en acier dont le module d'élasticité E=210 GPa et le coefficient de Poisson σ =0.27. La section de chaque barre vaut A=27.90 cm².

On fait l'hypothèse que le poids de chacune des barres du treillis est négligeable devant les efforts appliqués.

OBJECTIFS

Le but de cette analyse est de déterminer les efforts, les contraintes dans les différents éléments du treillis et le déplacement maximal engendré par les charges appliquées. Il s'agira également de déterminer si certains éléments du treillis sont sujets au flambement.

RESUME DES DIFFERENTES ETAPES DE L'ANALYSE

1. Prétraitement

- 1.1. Attribution d'un nom de fichier
- 1.2. Définition des différentes constantes du problème
- 1.3. Définition du matériau

1.3.1. Type d'élément et constantes réelles du matériau

- 1.3.2. Propriétés du matériau
- 1.4. Construction de la géométrie du pylône

1.4.1. Géométrie du pylône

1.4.2. Eléments constitutifs

1.5. Application des conditions limites

1.5.1. Contraintes en déplacement

- 1.5.2. Charges localisées
- 2. Obtention de résultats

2.1. Définition du type d'analyse

2.2. Démarrage de la résolution

3. Post-traitement

3.1. Déformation du treillis

3.2. Efforts et contraintes dans les éléments du treillis

1. Prétraitement

1.1. Attribution d'un nom de fichier

File>Change Jobname

\Lambda Change Jo	obname		\mathbf{X}
[/FILNAM] Enter	r new jobname		
New log and erro	or files?	Ves	
	ОК	Cancel	Help

Entrez le nom du fichier, cochez le bouton « New log and error files » afin de créer un fichier log et erreur » puis cliquez sur « OK ». Un nom de fichier propre au type d'analyse permettra d'identifier aisément par la suite les fichiers générés par ANSYS.

1.2. Définition des différentes constantes du problème

Paramètres scalaires :

Utility Menu>Parameters>Scalar Parameters

Dans la fenêtre qui s'affiche, entrez les paramètres qui suivent les uns après les autres, dans le champ « Selection ». Cliquez sur « Accept » après avoir entré chaque paramètre, et enfin sur « Close » pour fermer cette fenêtre lorsque vous avez fini.

Paramètres	Valeur	Description
F	1800	Module de la force appliquée au pylône
PI	4*ATAN(1)	Valeur de π
THETA	15*PI/180	Direction de la force
Е	2.110^{11}	Module d'Young
SIGMA	0.27	Coefficient de Poisson
А	27.90 10-4	Section du matériau

Scalar Parameters	
Items	
A = 2.79000000E-03 E = 2.100000000E+11 F = 1800 PI = 3.14159265 SIGMA = 0.27 THETA = 0.261799388	
Selection	_
Accept Delete Close Help	

1.3. Définition du matériau **1.3.1. Type d'élément et constantes réelles du matériau** Main Menu>Preprocessor>Element Type>Add/Edit/Delete

Cefined Element Types: NONE DEFINED	Cliquez sur "ADD" dans la boîte de dialogue qui apparaît. Dans la seconde qui s'affiche, sélectionnez «LINK» et «2D spar» et validez en cliquant sur «OK». L'élément LINK1 est utilisé comme une barre dans une structure en treillis. Il subit une traction ou une compression de manière uni- axiale, avec deux degrés de liberté à chaque nœud. La flexion de l'élément n'est pas prise en compte.
Add Options Delete	Ibrary of Element Types Only structural element types are shown Library of Element Types Structural Mass Link Beam Pipe Solid Solid Solid-Shell Constraint Element type reference number
▲ Element Types	OK Apply Cancel Help
Defined Element Types: Type 1 LINK1 Add Options Delete Close Help	 Cliquez enfin sur « Close » pour fermer la fenêtre nommée « Element Types » Il faut ensuite définir les constantes réelles du matériau. Dans le cas de l'élément de type LINK1, il s'agit de sa section. Main Menu>Preprocessor>Real Constants Il faut cliquer sur « ADD » dans la boîte de dialogue qui apparaît , puis sur le bouton « OK » dans la seconde fenêtre et enfin entrez la valeur de la section dans la troisième fenêtre qui s'afficha où il
Real Constants Image: Constant Sets Defined Real Constant Sets Choose element	est marqué « Cross-sectional area ».
NONE DEFINED 1 Add Edit	INK1 A Real Constant Set Number 1, for LINK1 Element Type Reference No. 1 Real Constant Set No. 1 Cross-sectional area AREA Initial strain ISTRN OK Apply Cancel Help Fermerz en fin Ia fenêtre nommée # Real
Close Help OK	Cancel Constants ».



\Lambda Linear Isotropic Properties for Material Numb... 🔀 Linear Isotropic Material Properties for Material Number 1 Τ1 ΕX PRXY SIGMA

Add Temperature Delete Temperature

οк

Donnez ensuite à EX la valeur E, puis à PRXY la valeur SIGMA. EX et PRXY sont respectivement, le module d'élasticité d'Young et le coefficient de Poisson du matériau.

•

Cliquez sur « OK » pour valider et quitter. Fermer ensuite la boîte de dialogue « Define Material Model Behaviour »

1.3. Construction de la géométrie du pylône 1.3.1. Géométrie du pylône

Cancel

Graph

Help

Dans cette étape, nous allons positionner dans le plan les nœuds définissant le pylône. Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Nodes>In Active CS

▲ Create Nodes in Active Coordinate System	
[N] Create Nodes in Active Coordinate System	
NODE Node number	1
X,Y,Z Location in active CS	-2 0
THXY,THYZ,THZX	
Rotation angles (degrees)	
ОК Арріу	Cancel Help

Dans la boite de dialogue qui apparaît, Double-cliquez sur « Structural »,

Il faut entrer ensuite dans la boîte de dialogue, les coordonnées des différents nœuds comme indiqués dans le tableau ci-après. Cliquez plutôt sur « Apply » à chaque fois pour éviter de la fermer.

Noeud	X	у	Noeud	
1	-2	0	2	
3	-2	5	4	
5	-1.5	8	6	
7	-1.5	11	8	
9	-4.5	12.5	10	
11	-7.5	14	12	
13	-4.5	14	14	
15	-15	14	16	

Noeud	X	У
2	2	0
4	2	5
6	1.5	8
8	1.5	11
10	4.5	12.5
12	7.5	14
14	4.5	14
16	1.5	14

Elements from Nodes • Pick C Unpick 🖸 Single C Box Polygon C Circle 1 0 Count = Maximum = 20 Minimum 1 = Node No. = • List of Items O Min, Max, Inc 0K Apply Reset Cancel Help

Enregistrez tout le travail fait durant cette étape en cliquant sur « SAVE_DB » dans le menu « ANSYS Toolbar ».

1.3.2. Eléments constitutifs du pylône

Les barres agencées pour former le treillis sont créées en joignant deux nœuds par une ligne droite. Chaque droite forme ainsi un élément de type LINK1. *Main Menu>Preprocessor>Modeling>Create>Elements>Auto Numbered>Thru Nodes*

La boîte de dialogue qui s'affiche permet de sélectionner les nœuds deux par deux. Validez la création de chaque élément en cliquant sur « Apply ». Lorsque tous les éléments ont été créés, faites « OK » pour fermer.

Note: Vous pouvez créer les différents éléments dans l'ordre qui vous convient.

Si tout a été fait correctement, vous devez obtenir la figure ci-contre.



Apply U,ROT on Nodes

• Pick	C Unpick	
🖲 Single	C Box	
C Polygon	🔘 Circle	
C Loop		
Count =	0	
Maximum =	16	
Minimum =	1	
Node No. =		
Ist of Items		
🔘 Min, Max, Inc		
OK	Apply	
Reset	Cancel	
Pick All	Help	

1.4. Application des conditions limites 1.4.1. Contraintes en déplacement

Les noeuds 1 et 2 ont leurs deux degrés de liberté (UX et UY) nuls afin de simuler la fixité du pylône au sol.

Main Menu> Preprocessor> Loads > Define Loads> Apply>Structural>Displacement>On Nodes

[D] Apply Displacements (U,ROT) on Nodes	
Lab2 DOFs to be constrained	All DOF UX UY
Apply as	Constant value
If Constant value then:	
VALUE Displacement value	
OK Apply	Capcel Help

Une fois les noeuds 1 et 2 sélectionnés, cliquez sur «OK». Une deuxième boîte de dialogue apparaît. Sélectionnez « All DOF» et entrez la valeur 0 dans le champ de texte « Displacement value » puis sur «OK» pour valider et quitter.

1.4.2. Charges localisées

Les deux forces s'appliquant aux deux extrémités supérieures du treillis possèdent une composante suivant X et une autre suivant Y dont les expressions sont : FX=F*SIN(THETA) et FY=-F*COS(THETA).

Main Menu> Preprocessor> Loads > Define Loads> Apply>Structural>Force/Moment>On Nodes Sélectionnez les noeuds 11 et 12 puis cliquez sur « OK » dans la boîte de dialogue**①**.

Apply F/M on Nodes	Apply F/M on Nodes	\mathbf{X}
• Pick C Unpick	[F] Apply Force/Moment on Nodes	
• Single C Box	Lab Direction of force/mom	
C Polygon C Circle C Loop	Apply as Constant value	-
Count - 0	If Constant value then:	
Maximum = 16 Minimum = 1 Node No =	VALUE Force/moment value 2 F*SIN(THETA)	
• List of Items	OK Apply Cancel Help	
C Min, Max, Inc		
	Dans la seconde boîte de dialogue 2 , sélectionnez FX, entrez « F*SIN	J(THET)
0K Apply	le champ de texte « VALUE », puis cliquez sur « Apply ». Sélectionne nœuds 11 et 12 puis faites « OK » dans 2, Sélectionnez FY, en	z à nouv trez ens
Reset Cancel	F*COS(THETA) » et cliquez sur « OK » pour valider et fermer la boîte	e de dialo

2. Obtention de résultats

Help

Pick All

2.1. Définition du type d'analyse

L'analyse effectuée est une analyse non transitoire c'est-à-dire indépendante du temps. Main Menu>Solution>Analysis Type> New Analysis

New Analysis	X
[ANTYPE] Type of analysis	
	🖲 Static
	🔿 Modal
	C Harmonic
	C Transient
	C Spectrum
	C Eigen Buckling
	C Substructuring/CMS
OK Cancel	Help

Sélectionnez « Static » dans la boîte de dialogue puis cliquez sur « OK » pour valider et fermer.

2.2. Démarrage de la résolution

Main Menu>Solution>Solve>Current LS

ISTATUS Command	
e	
SOLUTION OPTIONS	
PROBLEM DIMENSIONALITY2-D DEGREES OF FREEDOMUX UV ARNLVSIS TYVESTATIC (STEADY-STATE) GLOBALLY ASSEMBLED MATRIXSYMMETRIC	
LOAD STEP OPTIONS	
LORD STEP NUMBER	

Une fenêtre apparaît dans laquelle sont résumées toutes les informations concernant l'analyse. Dans la boîte



de dialogue qui s'affiche, cliquez sur « OK » pour démarrer la résolution.

Après quelques secondes ou quelques minutes, un message vous informe que la résolution est terminée. Fermer alors la boîte de message pour passer à l'étape de post-traitement.

Close

3. Post-traitement

Main Menu> General Postproc> Read Results> Last Set

Pour lire les derniers resultats enregistrés au cours de la resolution.

3.1. Déformation du treillis

Nous souhaitons voir la déformation de la structure du pylône sous l'effet des différentes charges. Dans cette analyse le poids de chaque barre a été négligé par rapport aux efforts appliqués. *Main Menu> General Postproc>Plot Results>Deformed Shape*

[PLDISP] Plot Deformed Shape	
KUND Items to be plotted	
C Def shape only	
Def + undeformed	
C Def + undef edge	
OK Apply Cancel Help	

Dans la boîte de dialogue, sélectionnez « Def + undeformed » pour visualiser à la fois la structure du treillis avant et après déformation.



Pour voir le déplacement au niveau de tous nœuds du treillis, il faut faire :

Main Menu> General Postproc>List Results>Nodal Solution

Dans la boîte de dialogue qui apparaît, sélectionnez « Nodal Solution>DOF Solution>Displacement vector sum ». Le listing suivant est obtenu :

	33
PRINT U NODAL SOLUTION PER NODE	
***** POST1 NODAL DEGREE OF FREEDOM LISTING *****	
LOAD STEP= 1 SUBSTEP= 1 TIME= 1.0000 LOAD CASE= 0	
THE FOLLOWING DEGREE OF FREEDOM RESULTS ARE IN THE GLOBAL COORDINATE SYSTEM	
NODE UX UY UZ USUM 1 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 2 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 3 0.38752E-04 0.12068E-04 0.0000 0.40588E-04 4 0.44492E-04-0.33653E-04 0.0000 0.55786E-04 5 0.83734E-04 0.67750E-05 0.0000 0.84007E-04 6 0.87182E-04-0.45461E-04 0.0000 0.98323E-04 7 0.15881E-03 0.87888E-05 0.0000 0.15906E-03 8 0.14438E-03-0.57759E-04 0.0000 0.15550E-03 9 0.20163E-03 0.44659E-04 0.0000 0.20652E-03 10 0.17843E-03-0.17564E-03 0.0000 0.20802E-03 11 0.18773E-03-0.42127E-03 0.0000 0.20802E-03 12 0.27637E-03-0.42127E-03 0.0000 0.21884E-03 13 0.2015E-03 0.10785E-04 0.0000 0.21884E-03 14 0.25637E-03-0.60534E-04 0.0000 0.21884	

La déformation maximale du pylône est 0,504 mm et elle se produit au niveau du nœud 12. Le pylône reste de ce fait assez rigide.

3.2. Efforts et contraintes dans les éléments du treillis

Dans cette étape, nous allons visualiser l'intensité des efforts axiaux (traction, compression) dans les différents éléments du pylône.

Main Menu> General Postproc>Plot Results>Contour Plot>Element Solu

Dans la boîte de dialogue qui s'affiche, cliquez sur « Element Solution » puis sélectionnez « Summable Data(SMISC,1) ». « SMISC, 1 » correspond à MFORX, qui représente l'effort axial dans l'élément de type LINK1. Une valeur négative de MFORX traduit une compression, tandis qu'une valeur positive correspond plutôt à une traction. Cliquez sur « OK » pour fermer la boîte de dialogue. La figure ci-après fait alors apparaître les efforts axiaux dans toutes les barres du treillis.

Contour Element So	lution Data			
Item to be contoured —				
💅 Favorites				*
🧭 Nodal Solution	ı			
💅 Element Solut	ion			
🍘 X-Comp	onent of force			
🌮 Y-Comp	onent of force			
🍘 Stress i	ntensity			
🌮 1st Prin	cipal stress			
🍘 von Mis	es stress			
🧭 Z-Comp	onent of moment			
🔗 Summa	ble data (SMISC,1)			
🔗 von Mis	es total strain			
💕 XY Shea	ar stress			
Element Solution				
4			Þ	1
Undisplaced shape key				
Undisplaced shape key	Deformed shape only			•
Scale Factor	Auto Calculated		28.9640652694	
Additional Options				6
		1. 1		



La figure montre donc que les éléments situés au sommet du treillis (en rouge) subissent une forte traction. L'élément reliant les nœuds 2 et 4 quant à

lui subit une forte compression; il est sujet par conséquent au flambage. Il va falloir donc le vérifier manuellement, compte tenu du fait que le flambage n'est pas pris en compte automatiquement lors d'une



analyse faisant intervenir l'élément de type LINK1.

Nous allons lister les efforts et contraintes dans les éléments les plus sollicités du treillis.

Utility Menu>Select> Entities...

Dans la boîte de dialogue, choisissez « Elements » au lieu de « Nodes », puis cliquez sur « OK », la boîte de dialogue apparaît. Sélectionnez alors dans l'ordre qui vous sied, les éléments formés par les nœuds 2 et 4 ; 4 et 6 ; 8 et 10 ; 7 et 9 ; 10 et 12 ; 9 et 11 ; 12 et 14 ; 14 et 16 ; 15 et 16. Lorsque la sélection est finie, cliquez sur « OK » pour valider et quitter.

Note : Pour voir apparaître le numéro de chaque nœud sur la figure au cas où cela n'a pa encore été fait, faites ceci :

Utility Menu>PlotCtrls>Numbering..., puis dans la boîte de dialogue, cochez « NODE Node number » et cliquez ensuite sur « OK » pour valider et quitter.

N Plot Numbering Controls	
[/PNUM] Plot Numbering Controls	
KP Keypoint numbers	☐ Off
LINE Line numbers	C Off
AREA Area numbers	C Off
VOLU Volume numbers	C Off
NODE Node numbers	🔽 On
Elem / Attrib numbering	No numbering
TABN Table Names	C Off
SVAL Numeric contour values	C Off
[/NUM] Numbering shown with	Colors & numbers
[/REPLOT] Replot upon OK/Apply?	Replot
ОК Арріу	Cancel Help

Vous pouvez enfin lister les efforts et contraintes dans les éléments présélectionnés en faisant : *Main Menu> General Postproc>List Results>Element Solution*, comme le présente la boîte de dialogue suivante :

▲ List Element Solution				
Item to be listed				
🛃 Thermal Strain				
🛜 Total Mechanical and Them	nal Strain			
🌮 Swelling strain				
🛃 Energy				
🛃 Error Estimation				
🛜 Failure Criteria				
🛃 Structural Forces				
🛃 Structural Moments				
🌮 All Available force items				
🛃 Geometry				
💅 Line Element Results				
😭 Element Results				
🌮 Body Temperatures				
😭 Miscellaneous Items				_
4				▶
	ОК	Apply	Cancel	Help

Les efforts et contraintes, de même que bien d'autres données dans chaque élément se présentent ainsi :

```
PRINT ELEM ELEMENT SOLUTION PER ELEMENT
 ***** POST1 ELEMENT SOLUTION LISTING *****
                1 SUBSTEP=
  LOAD STEP
          1.0000
                           LOAD CASE= 0
  TIME=
           2 NODES=
                           2
                                    4 MAT=
                                                                                                   LINK1
                    0.00 FLUENCES = 0.000E+00 0.000E+00
 TEMP =
            0.00
 MFORX= -3943.4
 SAXL=-0.14134E+07 EPELAXL=-0.000007 EPTHAXL= 0.000000 EPSWAXL= 0.000000 EPINAXL= 0.000000
                   = 4 6 MAT= 1
0.00 FLUENCES = 0.000E+00 0.000E+00
           6 NODES=
                                                                                                   LINK1
 EL=
  TEMP =
            0.00
 MFORX= -3595.8
 SAXL=-0.12888E+07 EPELAXL=-0.000006 EPTHAXL= 0.000000 EPSWAXL= 0.000000 EPINAXL= 0.000000
TEMP = 0.00 0.00 FLUENCES = 0.000E+00 0.000E+00
MFORX= -3887.8
                                                                                                   LINK1
 SAXL=-0.13935E+07 EPELAXL=-0.000007 EPTHAXL= 0.000000 EPSWAXL= 0.000000 EPINAXL= 0.000000
          17 NODES= 7 9 MAT= 1
0.00 0.00 FLUENCES = 0.000E+00 0.000E+00
                                    9 MAT=
                                                                                                   LINK1
  TEMP =
 MFORX= -3887.8
 SAXL=-0.13935E+07 EPELAXL=-0.000007 EPTHAXL= 0.000000 EPSWAXL= 0.000000 EPINAXL= 0.000000
                   = 10 12 MAT= 1
0.00 FLUENCES = 0.000E+00 0.000E+00
         18 NODES=
                                                                                                   LINK1
 EL=
  TEMP =
            0.00
 MFORX= -3887.8
 SAXL=-0.13935E+07 EPELAXL=-0.000007 EPTHAXL= 0.000000 EPSWAXL= 0.000000 EPINAXL= 0.000000
          19 NODES=
                            9
                                   11 MAT=
                                                                                                   LINK1
TEMP = 0.00
MFORX= -3887.8
                    0.00 FLUENCES = 0.000E+00 0.000E+00
 SAXL=-0.13935E+07 EPELAXL=-0.000007 EPTHAXL= 0.000000 EPSWAXL= 0.000000 EPINAXL= 0.000000
                    12 14 MAT= 1
0.00 FLUENCES = 0.000E+00 0.000E+00
         20 NODES=
                                                                                                   LINK1
TEMP = 0.00
MFORX= 3943.2
            0.00
 SAXL= 0.14133E+07 EPELAXL= 0.000007 EPTHAXL= 0.000000 EPSWAXL= 0.000000 EPINAXL= 0.000000
                  5= 14 16 MAT= 1
0.00 FLUENCES = 0.000E+00 0.000E+00
          22 NODES=
                                                                                                   LINK1
 TEMP = 0.00
MFORX= 3943.2
 SAXL= 0.14133E+07 EPELAXL= 0.000007 EPTHAXL= 0.000000 EPSWAXL= 0.000000 EPINAXL= 0.000000
 EL=
TEMP = 0
->= 3401
                   = 15 16 MAT= 1
0.00 FLUENCES = 0.000E+00 0.000E+00
         32 NODES=
                                                                                                   LINK1
 EL=
            0.00
 MFORX=
 SAXL= 0.12191E+07 EPELAXL= 0.000006 EPTHAXL= 0.000000 EPSWAXL= 0.000000 EPINAXL= 0.000000
```

MFORX (Member Force) représente un effort de traction (MFORX>0) ou un effort de compression (MFORX<0). SAXL (axial stress), représente la contrainte axiale dans le matériau. Les éléments 2, 6, 16, 17, 18 et 19 sont donc en compression tandis que les éléments 20, 22 et 32 sont en traction.

On peut aussi observer que la contrainte axiale dans les éléments les plus sollicités du treillis reste très faible comparée à la contrainte admissible en traction ou compression dans le cas des aciers courants.

L'élément 2 (profilé L100x100x15), sollicité en compression, avec $I_{Gz}=I_{Gy}=248,60$ cm⁴, admet une charge critique de flambement $F_c=420614$ N.

$$F_C = \frac{\pi^2 E.I}{\left(\alpha.L\right)^2}, \alpha = 0.7$$

Cette charge critique est largement supérieure à la contrainte normale de compression qu'il subit. On peut donc en conclure que le risque de flambage est évité.