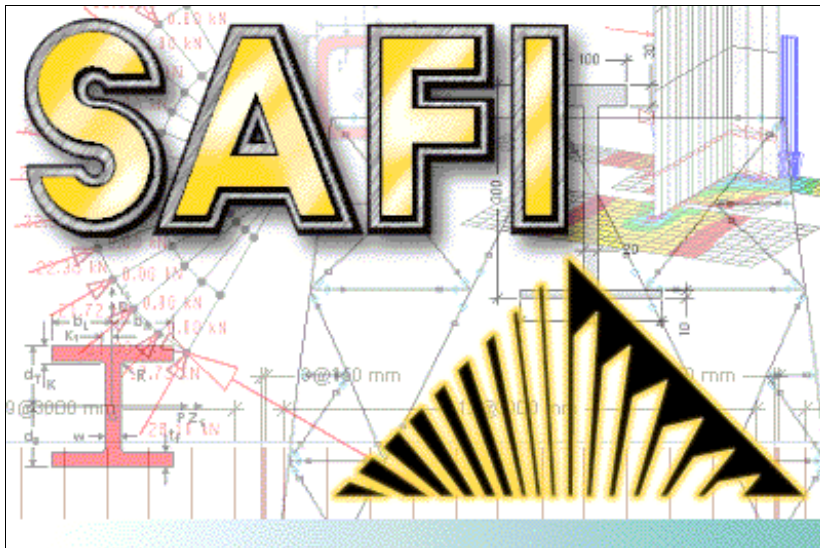




# Exemples de Projets SAFI

Conception d'une tour de transmission tubulaire

---



Société Informatique SAFI Inc.  
3393, chemin Sainte-Foy  
Ste-Foy, Québec, G1X 1S7  
Canada

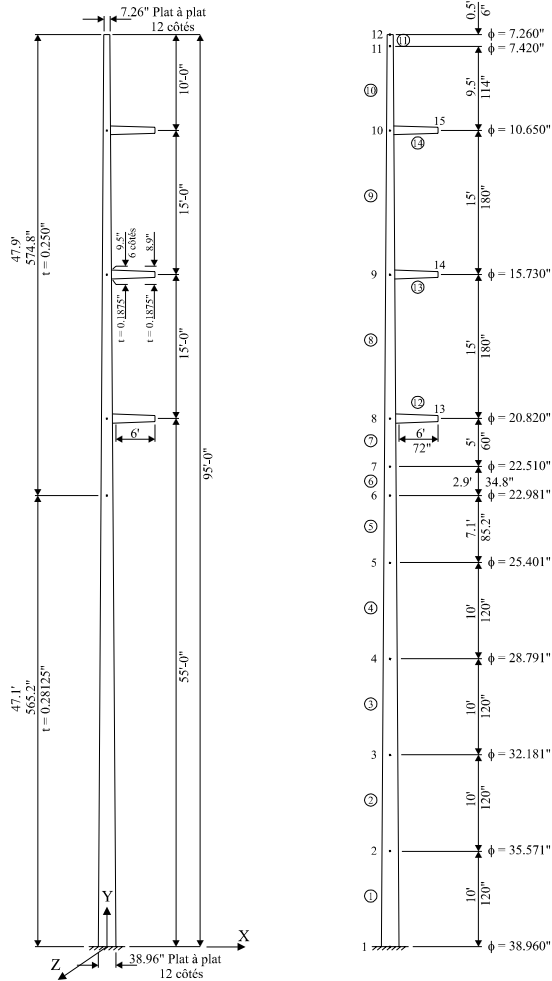
Contact: Rachik Elmaraghy, P.Eng., M.A.Sc.

Tél.: 1-418-654-9454  
1-800-810-9454  
Fax: 1-418-653-9475

Site Internet: <http://www.safi.com>  
Courriel: [info@safi.com](mailto:info@safi.com)

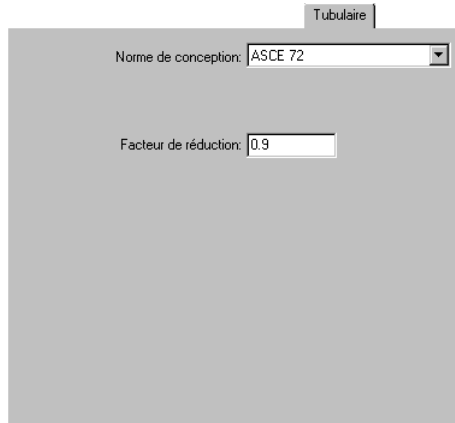
# Conception d'une tour de transmission tubulaire

Dans cet exemple, nous allons modéliser un pylône tubulaire pour les lignes de transport. Le fichier de référence est *ASCE72.str* dans le sous répertoire *Samples\Tubular* du répertoire d'installation.



À une élévation de 47.1 pied, il y a un changement d'épaisseur des parois de la section. À cette hauteur, la partie supérieure du tube est entrée à la serre par dessus la partie inférieure

Sélectionnez la commande **Paramètres** du menu **Tables - Tubulaires**, on obtient la boîte de dialogue suivante. Sélectionnez un coefficient de tenue de l'acier (par défaut  $\phi = 0.9$ ) et la norme ASCE-72 pour la conception.

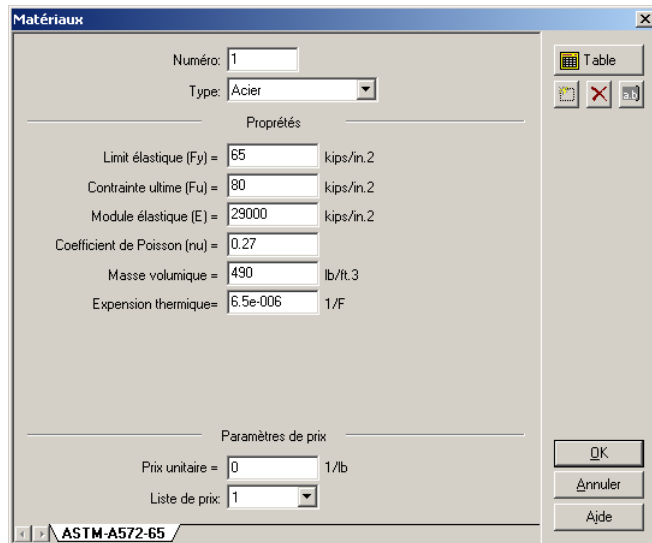
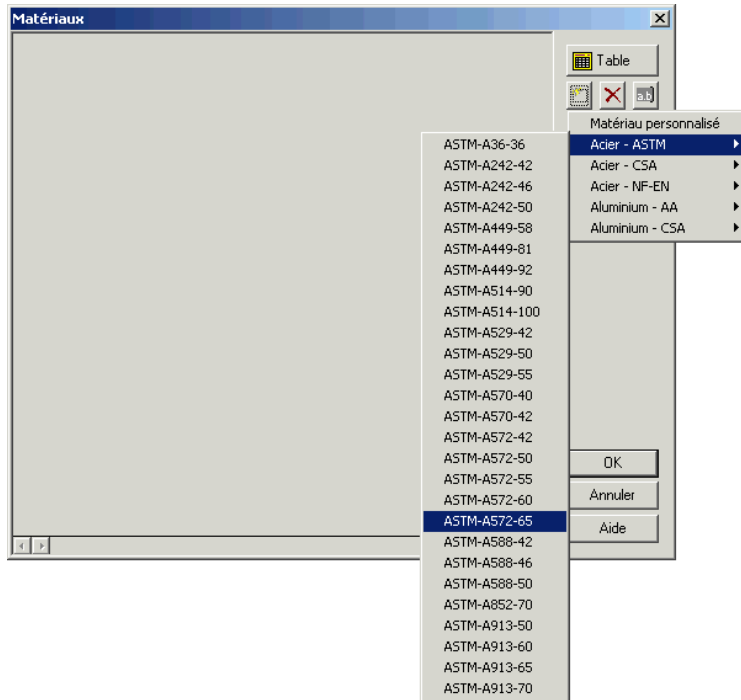


The image shows a software dialog box titled "Tubulaire". It contains two main input fields: a dropdown menu labeled "Norme de conception" which is currently set to "ASCE 72", and a text input field labeled "Facteur de réduction" which contains the value "0.9".

## Création des matériaux

Les nuances d'acier à utiliser sont décrites dans les normes ASCE-72 et Hydro-Québec. Les nuances typiques que l'on rencontre pour les charpentes tubulaires sont: ASTM A572, nuance 65 et CSA-G40.21M, nuance 480WT.

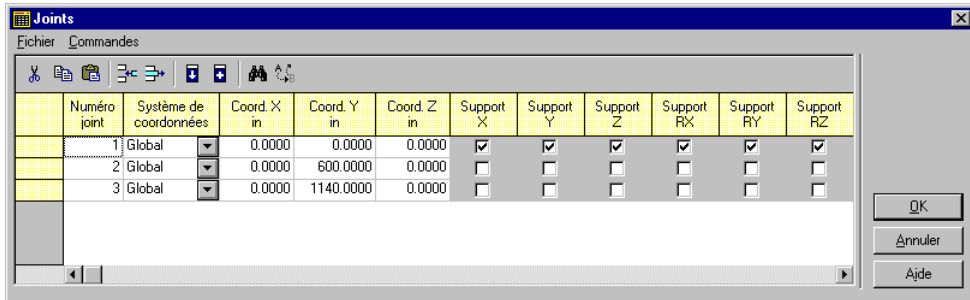
Pour cet exemple le matériau utilisé est le matériau ASTM A572, nuance 65. Utilisez la commande **Matériaux** du menu **Tables**. Sélectionnez le matériau dans la liste des matériaux standards tel que présenté ci-dessous.



## Création des joints et membrures principales

Les joints doivent être créés aux extrémités de la charpente, et aux points intermédiaires représentant un changement d'orientation, un changement dans l'épaisseur de la section, un assemblage, etc.

D'abord trois joints sont ajoutés et deux membrures. Le joint central correspond à la position de changement d'épaisseur du poteau tubulaire.



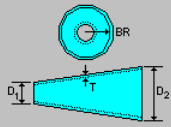
## Assigner une section

Les sections tubulaires sont accessibles à partir de la commande des sections **Non-standard** du menu **Tables - Sections - Sections SAFI**.

Pour le poteau, on utilise des sections tubulaires à 12 côtés d'une épaisseur de 0.281 pouces pour les premiers 47.1 pieds et d'une épaisseur de 0.25 pouces pour les reste du poteau. Les consoles sont constituées de sections tubulaires à 6 côtés d'une épaisseur de 0.188 pouces.

Pour créer la première section, complétez les données d'entrées tel que présenté ci-dessous. Ensuite, cliquez **Ajouter** pour compléter l'ajout de cette section.

**Définition des sections non standards**



Numéro de la section: 1

Matériau: 1 - Acier ASTM 65

Type de section: Tube à 12 côtés

Nom de la section: Base

Début (D1)	38.960 in
Fin (D2)	22.981 in
Épaisseur (T)	0.281 in
Rayon de pliage (BR)	1.125 in

Ajouter

Fermer

Aide

Effectuez la même opération pour les deux sections tubulaires suivantes.

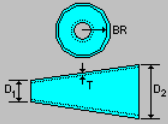
**Définition des sections non standards**

Numéro de la section:

Matériau:

Type de section:

Nom de la section:



Début (D1)	23.481 in
Fin (D2)	7.260 in
Épaisseur (T)	0.250 in
Rayon de pliage (BR)	1.000 in

Ajouter Fermer Aide

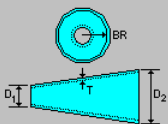
**Définition des sections non standards**

Numéro de la section:

Matériau:

Type de section:

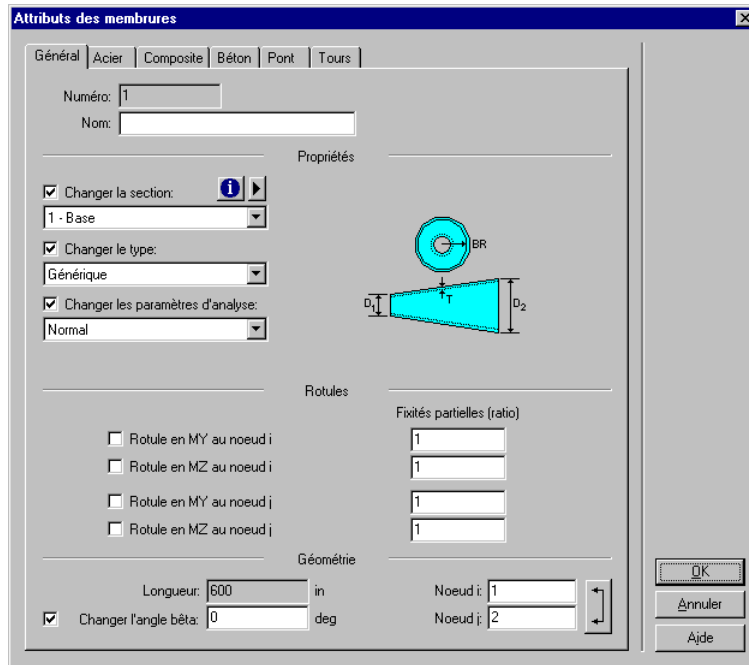
Nom de la section:



Début (D1)	9.500 in
Fin (D2)	8.900 in
Épaisseur (T)	0.188 in
Rayon de pliage (BR)	0.750 in

Ajouter Fermer Aide

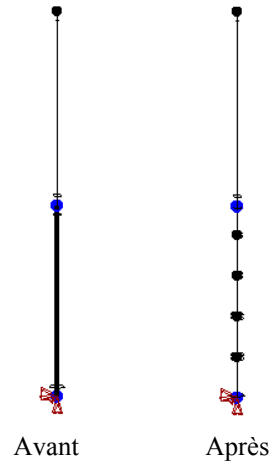
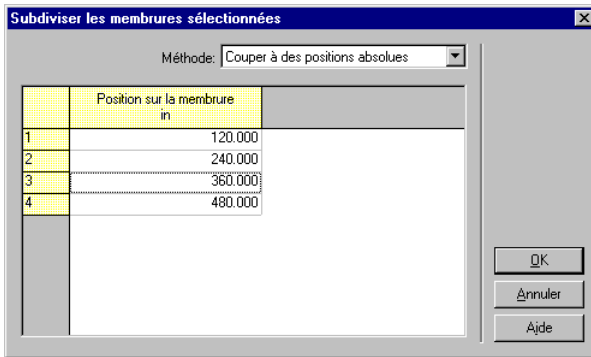
Pour compléter l'opération utilisez la commande **Editer une membrure** du menu **Edition - Membrure**. Lorsque la commande est activée, cliquez sur la membrure inférieure pour y assigner la section *I- Base*.



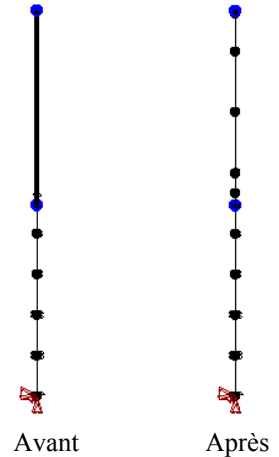
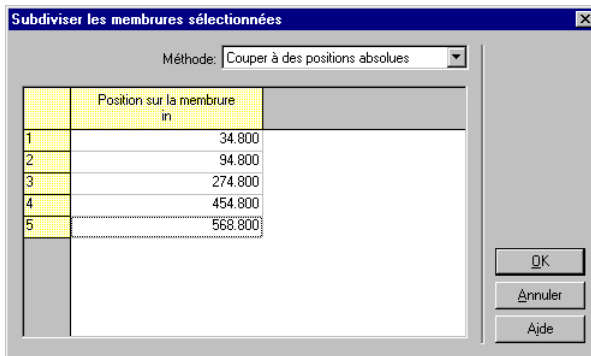
Effectuez la même opération pour la deuxième membrure, en lui assignant la section 2- *Haut*. La section 3- *Console* sera assignée un peu plus loin dans l'exemple.

## Division des membrures

La première étape à effectuer pour diviser une membrure est d'utiliser les outils de sélection pour la sélectionner. Utilisez la commande **Sélectionner** du menu **Edition - Sélection**, pour sélectionner la membrure inférieure du pylône. Ensuite, activez la commande **Subdiviser les membrures** du menu **Edition - Opérations**. Complétez la boîte de dialogue tel que montrée ci-dessous, puis cliquez **OK**.

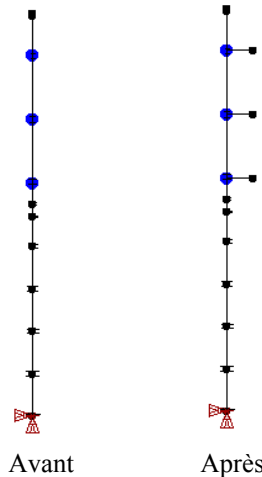
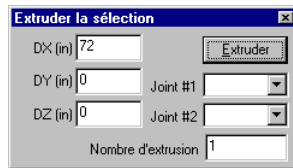


Effectuez la même opération pour la partie supérieure du pylône.



### Ajout des consoles

Pour créer rapidement les trois consoles, sélectionnez d'abord les trois noeuds à l'encastrement des consoles. Ensuite, activez la commande **Extruder** du menu **Edition - Opérations**. Extruder les membres en complétant la boîte de dialogue telle que montrée ci-dessous.



Pour compléter la géométrie utilisez la commande **Editer une membrure** du menu **Edition - Membrure**. Lorsque la commande est activée, cliquez successivement sur les membres des consoles pour y assigner la section 3- *Console*.

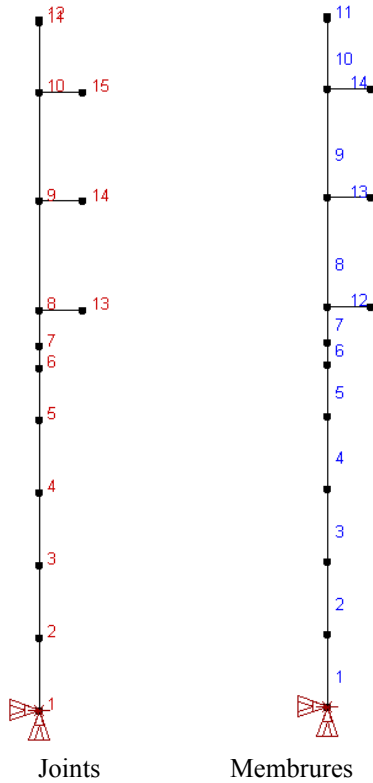
## Renumérotation des noeuds et des membrures

Dans cet exemple, nous appliquerons les charges en nous référant directement aux numéros de noeuds. Puisque l'édition de la géométrie est complétée, nous allons renuméroter les joints et les membrures avant de continuer l'exemple.

Utilisez la commande **Renuméroter** du menu **Edition**. Complétez les données de la boîte de dialogue, puis cliquez sur le bouton **Renuméroter**.

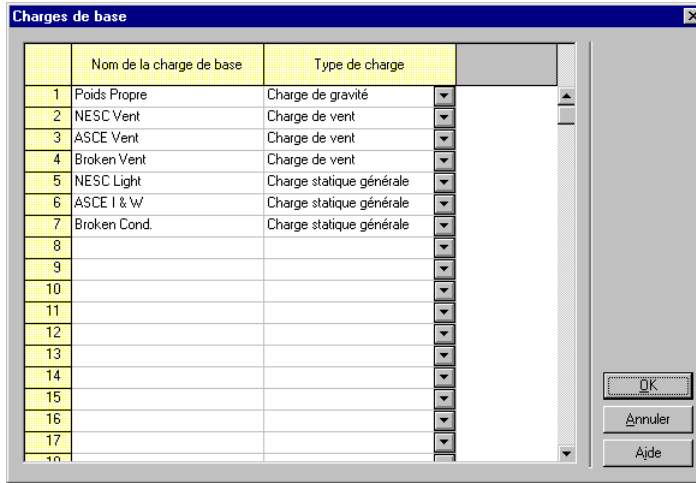


En utilisant la commande **Options du graphique** du menu **Affichage**, vous pouvez activer la visualisation des numéros des joints et des membrures.



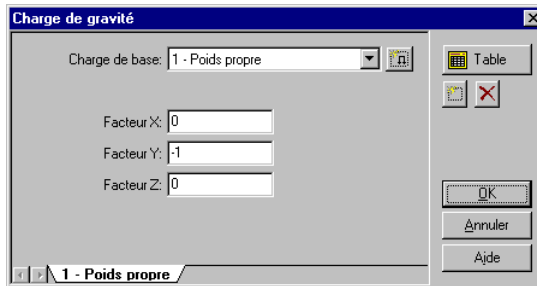
## Charges de bases

Les charges de bases doivent être définies avant l'application des charges sur la structure. Activez la commande **Charges de bases** du menu **Tables**. Complétez la table des charges de bases tel que montrée ci-dessous.



## Poids propre

Utilisez la commande **Charges de gravité** du menu **Tables - Charges générales**, pour activer la prise en compte du poids propre des membrures. Le poids propre des pièces est considéré comme une charge uniformément distribuée sur la membrure.



## Charges aux joints

En sélectionnant la commande **Charges aux Joints**, on obtient la boîte de dialogue suivante. Les charges aux joints sont toujours définies dans le système de coordonnées globales.

Charge de base	No. Joint	Force FX kips	Force FY kips	Force FZ kips	Moment MX kips-ft	Moment MY kips-ft	Moment MZ kips-ft
5 - NESC Light	11	2.246	-0.328	0.000	0.000	0.000	0.000
5 - NESC Light	13	5.752	-2.014	0.000	0.000	0.000	0.000
5 - NESC Light	14	5.752	-2.014	0.000	0.000	0.000	0.000
5 - NESC Light	15	5.752	-2.014	0.000	0.000	0.000	0.000
6 - ASCE I & W	11	1.804	-0.632	0.000	0.000	0.000	0.000
6 - ASCE I & W	13	3.565	-2.444	0.000	0.000	0.000	0.000
6 - ASCE I & W	14	3.565	-2.444	0.000	0.000	0.000	0.000
6 - ASCE I & W	15	3.565	-2.444	0.000	0.000	0.000	0.000
7 - Broken Cond.	11	1.804	-0.632	0.000	0.000	0.000	0.000
7 - Broken Cond.	13	3.565	-2.444	0.000	0.000	0.000	0.000
7 - Broken Cond.	14	3.565	-2.444	0.000	0.000	0.000	0.000
7 - Broken Cond.	15	1.111	-2.444	6.000	0.000	0.000	0.000

Les charges aux joints peuvent aussi être assignées graphiquement à l'aide de la sélection et de la commande **Charges** du menu **Edition**.

## Charges de vent

Pour accéder aux charges de vent, sélectionner la commande **Vent (tours)** du menu **Tables - Charges générales**.

En sélectionnant la commande **Vent (tours)**, on obtient la boîte de dialogue suivante. La charge due au vent se définit selon la direction X globale. Cette charge due au vent se transfère sur la charpente par une pression exercée horizontalement sur la surface projetée des membrures. La charge de vent sera redistribuée aux joints d'extrémités des membrures.

**Charges de vent**

Charge de base: 2 - NESC Vent

Angle d'incidence: 0 deg

Ratio sur les faces contre le vent: 100 %

Ratio sur les faces sous le vent: 0 %

Utiliser les coefficients de forces calculés

Méthode de distribution de la pression: Pression uniforme

Pression uniforme

Pression du vent: 0.0225 kips/ft.2

Table

OK

Annuler

Ajide

2 - NESC Vent 3 - ASCE Vent 4 - Broken Vent

**Charges de vent**

Charge de base: 3 - ASCE Vent

Angle d'incidence: 0 deg

Ratio sur les faces contre le vent: 100 %

Ratio sur les faces sous le vent: 0 %

Utiliser les coefficients de forces calculés

Méthode de distribution de la pression: Pression uniforme

Pression uniforme

Pression du vent: 0.0119 kips/ft.2

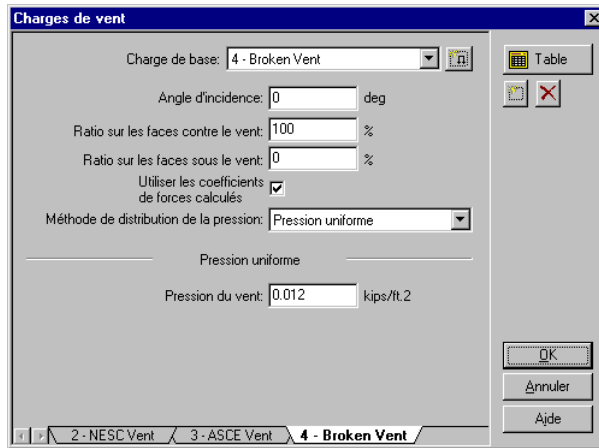
Table

OK

Annuler

Ajide

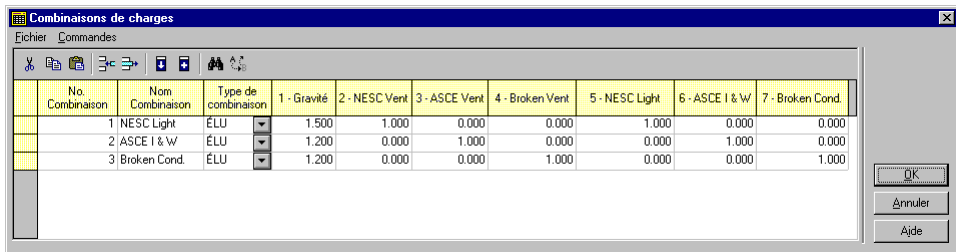
2 - NESC Vent 3 - ASCE Vent 4 - Broken Vent



## Définition des combinaisons de charges

Les combinaisons de charges sont construites de la même manière pour une structure tubulaire que pour n'importe quel autre type de structure.

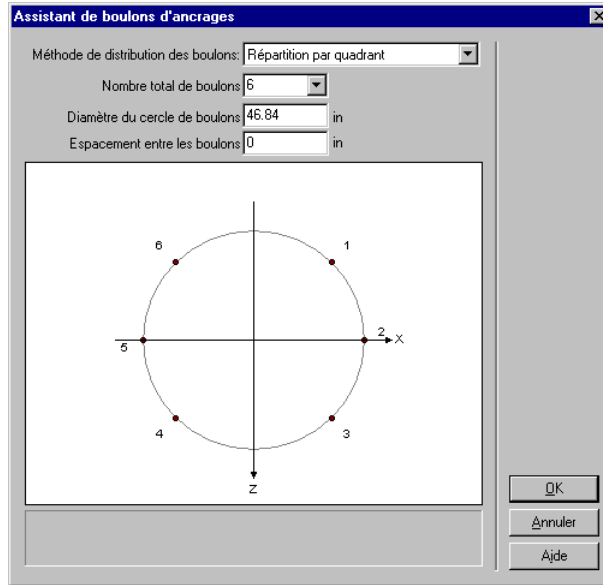
Sélectionnez la commande **Combinaison de charges** du menu **Tables**. Lorsque la boîte de dialogue est ouverte, vous pouvez utiliser le bouton **Table** pour compléter les données d'entrées dans la table. Remplissez la table tel que décrite ci-dessous et cliquez sur **OK**.



## Plaque d'assise et boulons d'ancrage

Pour le dimensionnement des boulons d'ancrage et de la plaque d'assise, l'utilisateur doit définir les différents paramètres de la commande **Boulons d'ancrage**. Complétez les sections des paramètres des boulons, de la plaque d'assise et du béton de la boîte de dialogue présentée ci-dessous.

Cliquez ensuite sur le bouton **Assistant** pour définir la position des boulons sur la plaque d'assise.



Notez que pour cet exemple, la distance entre les boulons n'est pas requise. Lorsque les données d'entrées dans l'assistant sont complétées cliquez sur **OK** pour quitter. De retour dans la première boîte de dialogue, vous obtenez ainsi les positions des boulons en coordonnées cartésiennes.

Modifiez les coordonnées des boulons 2 et 5 pour que leur rayon soit de 22.73 po. Référez vous à la figure ci-dessous pour effectuer les modifications.

**Boulons d'ancrages et plaque de base**

Paramètres des boulons

Diamètre (d): 2.25 in

Pas des filets (p): 0.222 in

Résistance ultime (Fu,b): 75 kips/in.2

Limite élastique (Fy,b): 75 kips/in.2

Coefficient de pondération (Phi,b): 0.67

Paramètres de la plaque de base

Résistance ultime (Fu,p): 80 kips/in.2

Limite élastique (Fy,p): 65 kips/in.2

Coefficient de pondération (Phi,p): 0.9

Distance à la surface du béton (h): 0 in

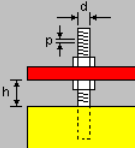
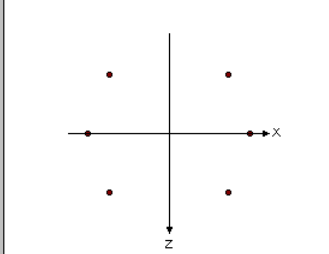
Paramètres du béton

Résistance ultime (f'c): 3.5 kips/in.2

Coefficient de pondération (Phi,c): 0.6

Afficher en coordonnées cartésiennes

	X in	Z in
1	16.560	-16.560
2	22.730	0.000
3	16.560	16.560
4	-16.560	16.560
5	-22.730	0.000
6	-16.560	-16.560

Assistant

OK

Annuler

Aide

## Conception

Puisque cet exemple a été tiré de la norme américaine ASCE-72 (référence 2), les résultats fournis par SAFI peuvent être comparés à ceux de la norme (voir l'annexe).

Activez la commande **Exécuter** du menu **Analyse**. Il est possible d'analyser la structure de façon non linéaire en utilisant l'option d'analyse *Statique non-linéaire*. Pour cet exemple, le **Nombre de pas** est de 10. Choisissez l'option de conception *Vérification - Tubulaire*.

Analyse X

Analyse: Statique non-linéaire Conception: Vérification - tubulaire

Spécial: Aucun

---

Options d'analyse Options de conception

Nombre de pas: 10

---

Résultats d'analyse des membrures

Nombre de divisions (10 - 100): 10

Forces et déplacements des membrures

- Déformations internes
- Forces internes
- Enveloppes des forces internes
- Contraintes internes
- Enveloppes des contraintes internes

# Annexe

*Comparaison des résultats entre SAFI et la norme ASCE-72*

**Comparaison des flèches**

Joint	Charges NESC Light		Charges ASCE Ice & Wind		Charges Broken Conductor	
	ASCE (po)	SAFI (po)	ASCE (po)	SAFI (po)	ASCE (po)	SAFI (po)
1	0	0.00	0	0.00	0	0.00
2	0.80	0.81	0.50	0.53	0.50	0.50
3	3.20	3.30	2.10	2.16	2.00	2.03
4	7.60	7.70	5.00	5.07	4.70	4.77
5	14.20	14.26	9.40	9.42	8.80	8.88
6	20.30	20.34	13.60	13.49	12.80	12.72
7	23.20	23.18	15.50	15.41	14.60	14.54
8	28.70	28.63	19.20	19.09	18.10	18.04
9	49.60	49.58	33.70	33.47	31.80	31.77
10	76.90	76.82	53.00	52.61	50.30	50.20
11	96.90	96.06	67.30	66.36	63.80	63.36
12	97.60	97.09	68.00	67.10	64.50	64.06

**Comparaison des forces à la base**

Charges	ASCE Axial lbs	SAFI Axial lbs	ASCE Cisail. lbs	SAFI Cisail. lbs
NESC Light	16464	16438	23792	24129
ASCE Ice& Wind	16114	16054	14654	14958
Broken Conductor	16114	16058	13620	13872

**Comparaison des moments fléchissants à la base**

Charges	ASCE My (kips-ft)	SAFI Mz (kips-ft)	ASCE Mx (kips-ft)	SAFI My (kips-ft)	ASCE Mz (kips-ft)	SAFI Mx (kips-ft)
NESC Light	1673	1667				
ASCE Ice& Wind	1097	1087				
Broken Conductor	880	874	531	525	36	37.5

**Comparaison des contraintes**

Charges	ASCE fa (ksi)	SAFI fa (ksi)	ASCE fb (ksi)	SAFI fb (ksi)
NESC Light	0.47	0.47	58.47	58.73
ASCE Ice & Wind	0.46	0.46	38.34	38.30
Broken Conductor	0.46	0.46	36.12	36.09

**Comparaison des contraintes (suite)**

Charges	ASCE fv (ksi)	SAFI fv (ksi)	ASCE ft (ksi)	SAFI ft (ksi)	ASCE Von Mises (ksi)	SAFI Von Mises (ksi)
NESC Light	1.38	1.40	0.00	0.00	58.94	59.25
ASCE Ice & Wind	0.85	0.87	0.00	0.00	38.80	38.78
Broken Conductor	0.79	0.80	0.64	0.66	36.60	36.63

**Comparaison des contraintes (suite)**

Charges	ASCE w/t (ksi)	SAFI w/t (ksi)	ASCE Fa (ksi)	SAFI Fa (ksi)	ASCE ratio	SAFI ratio
NESC Light	34.44	34.44	60.49	60.49	0.97	0.98
ASCE Ice & Wind	34.44	34.44	60.49	60.49	0.64	0.64
Broken Conductor	34.44	34.44	60.49	60.49	0.61	0.61

SAFI-Tubulaire donne des résultats très satisfaisants et comparables à ceux de la norme ASCE-72. Les légères différences entre les résultats du module tubulaire de SAFI et de la norme ASCE-72 différentes approches utilisées pour effectuer les calculs.

**Vérification du calcul des boulons d'ancrage**

**Efforts**

$T_f = 216.22$  kips  
 $V_f = 4.08$  kips

**Résistance**

Diamètre du boulon: 2.25"  
 $n = 4.5$  Filets/po  $p = 1/4.5 = 0.22$  po/filets  
 $F_y = 75.0$  ksi  
 $F_u = 75.0$  ksi  
 $f'_c = 3.5$  ksi

$A_n = \pi(d - 0.938p)^2/4$   
 $A_n = 3.27$  po<sup>2</sup>

$\phi_b = 0.67$        $T_r = \phi_b A_n F_u = 164.5$  kips  
 $\phi_b = 1.00$        $T_r = 245.5$  kips

$\phi_b = 0.67$        $V_r = 0.70 \cdot 0.60 \cdot \phi_b A_b F_u = 83.9$  kips  
 $\phi_b = 1.00$        $V_r = 125.3$  kips

$\phi_c = 0.60$        $B_r = 1.4 \phi_c 5d^2 f'_c = 74.42$  kips

$d_{eff} = (4A_n/\pi)^{1/2} = 2.04$  po  
 $S = \pi d_{eff}^3/32 = 0.84$  po<sup>3</sup>

$\phi_b = 0.67$        $M_r = \phi_b S F_y = 3.50$  kips-pi  
 $\phi_b = 1.00$        $M_r = 5.22$  kips-pi

**Sommaire**

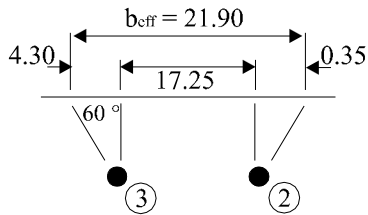
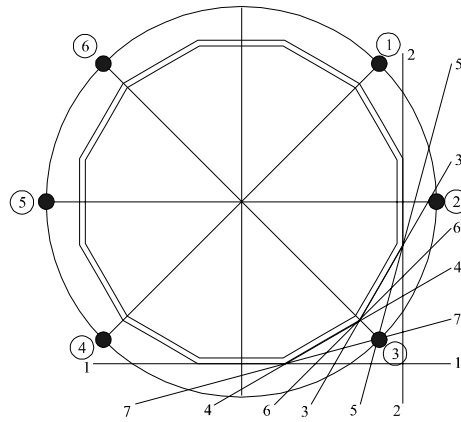
Interaction:  $(T_f / T_r + M_f / M_r)^2 + (V_f / V_r)^2 \leq 1.0$

Tf (kips)	Vf (kips)	$\phi_b = 0.67$			$\phi_b = 1.00$		
		Tr (kips)	Vr (kips)	interaction	Tr (kips)	Vr (kips)	interaction
216.22	4.08	164.5	74.42	1.73	245.51	125.3	0.78

Vérification du calcul de la plaque d'assise

(-) nég. = traction

Boulon	$F_{axial}$ (kips)
1	158.3
2	216.2
3	158.3
4	-152.8
5	-210.7
6	-152.8



$F_y = 65 \text{ ksi}$   
 $\phi = 0.90$

$$t = [ (4 M_f / (\phi F_y b_{eff})) ]^{1/2}$$

Plan	Boulon	$F_{axial}$ (kips)	$a(i)$ (po)	$M_f$ (kips-pi)	$M_f$ total (kips-pi)	$b_{eff}$ 60° (po)	$t$ (po)
1	0						
2	2	216.2	3.25	58.55	58.55	11.26	2.07
3	2	216.2	0.20	3.60	45.02	23.22	1.26
	3	158.3	3.14	41.42			
4	3	158.3	3.14	41.42	41.42	10.89	1.77
5	2	216.2	1.79	33.73	33.73	20.89	1.15
6	3	158.3	3.25	42.87	42.87	11.27	1.77
7	3	152.8	1.47	19.38	19.38	5.09	1.77