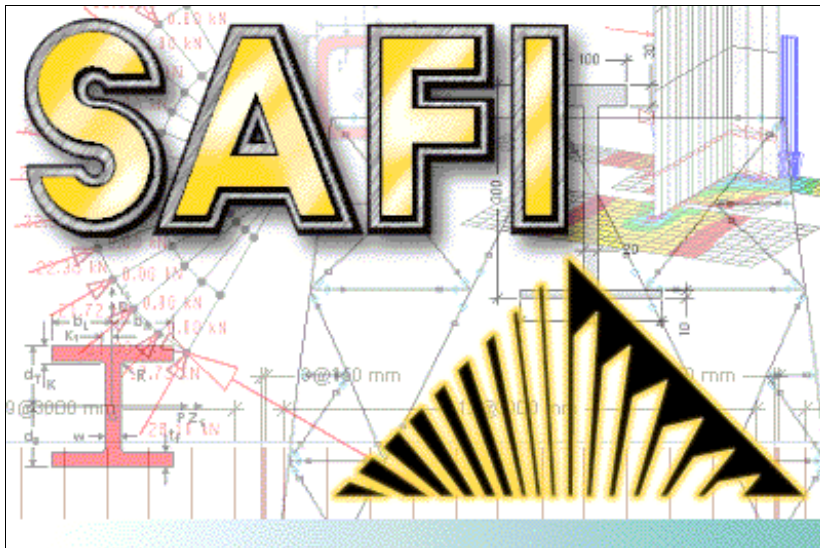




# Exemples de Projets SAFI

Conception d'une poutrelle en aluminium

---



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

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

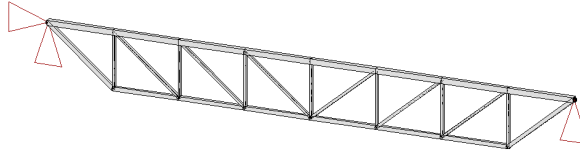
Tél.: 1-418-654-9454  
1-800-810-9454  
Fax: 1-418-653-9475

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

# Conception d'une poutrelle en aluminium

## Description

Cet exemple décrit l'analyse et la vérification de la résistance d'une poutrelle en aluminium.



La longueur de la poutrelle est de 10 mètres et sa hauteur est de 1 mètre. L'aile supérieure de la poutrelle est un HSS102x102x6.4, l'aile inférieure est un HSS76x76x6.4 et les diagonales sont formées de sections HSS51x51x6.4. Pour toutes ces sections le matériau utilisé est un aluminium standard CSA-6351-T6.

La structure est sollicitée par une charge permanente uniforme de 6 kN/m et une charge de neige uniforme de 9 kN/m.

## Création du projet


Un fichier déjà existant portant le nom *AluTruss.str* est disponible dans le sous répertoire de SAFI *SAFI50\samples\aluminum*. Les étapes de la construction de ce modèle sont décrites ci-dessous:


### Création du modèle

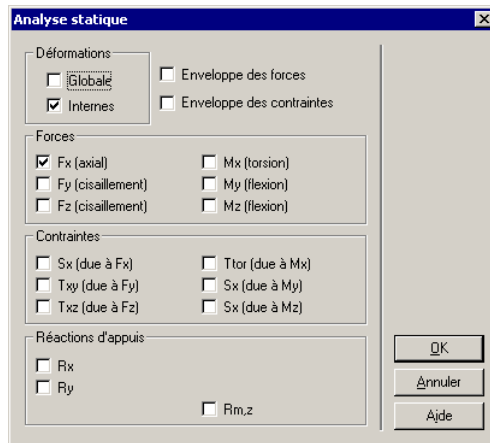
1. Création en une seule étape toutes les membrures du modèle en utilisant la **Calculatrice géométriques** du menu **Automatique**.
2. Définition du matériau CSA-6351-T6.
3. Définition des sections HSS102x102x6.4, HSS76x76x6.4 et HSS51x51x6.4 et assignation des profilés aux membrures.
4. Assignation des conditions d'appui.
5. Création des charges de bases statiques *Permanente* et *Neige*.
6. Assignation des charges uniformes *Permanentes* et *Neige* aux membrures.
7. Ajout du poids propre des éléments par la commande **Charge de gravité** du menu **Table → Charges générales**
8. Création des combinaisons de charges à l'aide de l'assistant de combinaison de charges.
9. Vérification des données d'entrées par la commande **Vérification des données** (🔍) du menu **Analyse**.
10. Exécution de l'analyse.


## Vérification des résultats d'analyse

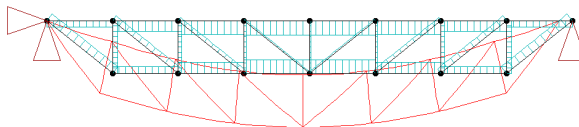
Une fois la structure analysée correctement vous devez vérifier que de résultats sont corrects et qu'ils correspondent à ceux escomptés.

Dans l'exemple présent, l'analyse statique a été effectuée. Ainsi, les résultats ne seront disponibles que pour les commandes de la section **Analyse** de la barre des résultats. Le bouton  permet de définir quels résultats statiques devraient être présentés graphiquement.

Commençons par afficher les résultats des déformations internes. Cliquez sur le bouton  de la section **Analyse** de la barre d'outils **Résultats** pour ouvrir la boîte de dialogue des résultats de l'analyse statique.



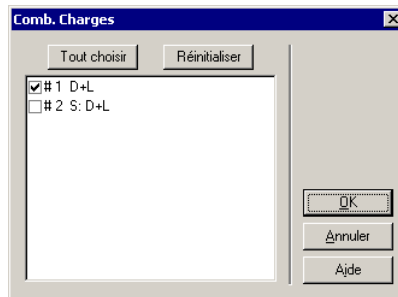
Cochez l'option **Interne** dans la section **Déformations** et l'option **Fx (axial)** et cliquez **OK**. Ensuite, cochez la boîte d'option à gauche du bouton  correspondant. Vous devriez voir les déformations internes et les forces axiales dans les membrures à l'écran pour la première combinaison de charge.




Vous pouvez aussi utiliser les diverses commandes de la boîte de dialogue **Option du graphique** du menu **Affichage**. L'onglet **Visualisation** permet d'afficher ou de masquer les divers types d'éléments. L'onglet **Texte**, permet d'afficher ou de masquer les valeurs des résultats (*Résultats aux joints* et *Résultats sur membrures*). L'onglet **Propriété texte** permet d'ajuster la taille et la police de caractère.

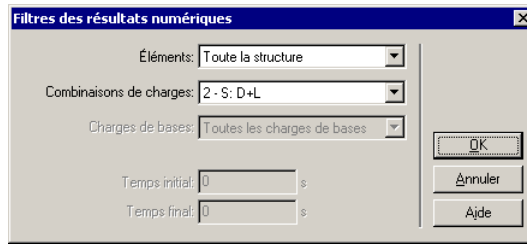
L'onglet **Échelle** permet d'amplifier ou de diminuer l'échelle des résultats (*Axiale, Cisaillement, Torsion, Flexion, Contrainte, Déplacement*, etc.). Par exemple, une échelle de déplacement de 10 mm/m signifie qu'un déplacement de 10 mm sera affiché à l'écran comme 1 mètre. Dans ce cas particulier pour obtenir les déplacements à l'échelle réelle un dans un, vous devez choisir 1000 mm/m. Dans la plupart des cas cette dernière échelle n'est pas très pratique puisque les déplacement apparaissent trop petit à l'écran. Pour cet exemple une valeur de 50 mm/m donne des résultats intéressants.

Pour voir les résultats pour la deuxième combinaison de chargement, vous devez cliquer sur le bouton **Combinaison** dans la partie inférieure de la barre des résultats. Cochez la combinaison de charge pour laquelle vous voulez voir les résultats et cliquez sur **OK**.



Vous pouvez aussi visualiser les résultats numériques pour toutes la structure ou pour une partie de la structure. Cliquez sur le bouton  dans la section **Analyse** de la barre d'outils **Résultats**. Lorsque le bouton est enfoncé, un menu s'affiche permettant de choisir les résultats à visualiser.

Choisissez **Déplacement des joints** dans ce menu. Lorsque la commande est sélectionnée, quelques informations additionnelles sont demandées.



Sélectionnez *Toute la structure* dans la liste **Éléments** et *2- S: D+L* dans la liste **Combinaison de charges**. Ensuite, cliquez sur le bouton **OK**.

No Joint	No Combinaison	Dépl X mm	Dépl Y mm	Rot Z deg
1	2	-8.7875	-13.3007	-0.5273
2	2	-7.8960	-25.6680	-0.4743
3	2	-6.4044	-33.6175	-0.2354
4	2	-4.5431	-36.2990	0.0000
5	2	-2.6818	-33.6175	0.2354
6	2	-1.1901	-25.6680	0.4743
7	2	-0.2987	-13.3007	0.5273
8	2	0.0000	0.0000	-0.7693
9	2	-0.6481	-14.1670	-0.5821
10	2	-1.7339	-26.2706	-0.4627
11	2	-3.0929	-33.9841	-0.2302
12	2	-4.5431	-36.5433	0.0000
13	2	-5.9933	-33.9841	0.2302
14	2	-7.3523	-26.2706	0.4627
15	2	-8.4381	-14.1670	0.5821
16	2	-9.0862	0.0000	0.7693

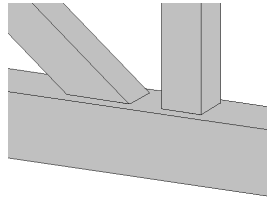
## Assignation des paramètres de l'aluminium

### Norme de conception

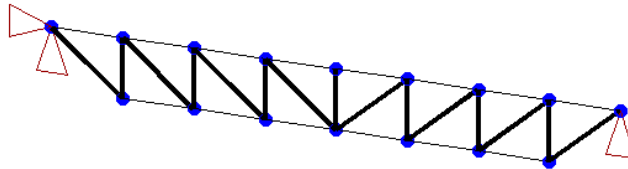
Les diverses normes de conception prises en charge par SAFI ont toutes des caractéristiques qui leur sont propres. Ainsi, il est important de sélectionner la norme qui servira à effectuer les vérifications des états limites avant de spécifier les paramètres requis par cette norme. Activez la commande Paramètres du sous menu Applications → Aluminium ou la commande Codes du menu Analyse. Sélectionnez dans l'onglet Aluminium de la boîte de dialogue des normes, la norme CAN/CSA-S157-03.

## Aire efficace des éléments soudés

Le module d'aluminium de SAFI peut faire la vérification des clauses de résistance en tenant compte des soudures des éléments d'aluminium.



Dans le présent exemple, les membrures diagonales et verticales sont soudées à leurs extrémités. Les profilés de l'aile supérieure et inférieure de la poutrelle ne sont que partiellement affectée par la soudure d'une des quatre face de la section carré.



Lorsque les membrures diagonales et verticales sont sélectionnées, activez la commande **Attributs des membrures** du sous menu **Édition → Membrane**. Cette boîte de dialogue contient plusieurs onglets dont les onglets *Général* et *Aluminium*. Cliquez sur l'onglet *Aluminium* pour accéder aux paramètres du module d'aluminium.

Au bas de la boîte de dialogue, spécifiez *Soudure pleine d'extrémité* pour les membrures sélectionnées. La résistance de ces membrures sera affectée par la limite de résistance des soudures du matériau utilisé. Cliquez sur **OK** lorsque vous avez terminé.

Attributs des membrures
X

Général   Acier   Composite   Aluminium   Béton		
Numéro: ---		
Nom: BEAM		
<input checked="" type="checkbox"/> Changer le support (aile supérieure) Type de support latéral: Aux extrémités Lu = 0 mm	Flexion <input checked="" type="checkbox"/> Changer le support (aile inférieure) Type de support latéral: Aux extrémités Lu = 0 mm	<input checked="" type="checkbox"/> Changer le coefficient w2 0
Compression		
<input checked="" type="checkbox"/> Changer le support - Axe majeur (Kx, Lx) <input checked="" type="checkbox"/> Changer le support - Axe mineur (Ky, Ly) <input checked="" type="checkbox"/> Changer le support - Torsion (Kt, Lt) <input checked="" type="checkbox"/> Changer le support - Sections assemblées (Ks, Ls) <input checked="" type="checkbox"/> Changer la limite d'élongement en compression	Facteur (K) 0 0 0 0 0	Longueur (L) 0 mm 0 mm 0 mm 0 mm 0 mm
Compression - Flexion		
<input checked="" type="checkbox"/> Changer le coefficient - Axe majeur (w1.x) <input checked="" type="checkbox"/> Changer le coefficient - Axe mineur (w1.y)	0 0	
Tension		
<input checked="" type="checkbox"/> Change l'aire nette en tension (ratio aire brute) <input checked="" type="checkbox"/> Changer la limite d'élongement en tension	0 0	
Soudures		
<input checked="" type="checkbox"/> Changer les soudures	Soudure pleine d'extrémité	

OK

Annuler

Aide

Pour les membrures de l'aile supérieure et inférieure, la section est affectée partiellement par la soudure d'une face. Pour cet exemple, il faut calculer  $R A_g$  et  $R I_x$  qui affectent la résistance des sections. L'influence sur la résistance hors plan de la section  $R I_y$  est négligé dans cet exemple.

$$R A_g = \left[ 1 - \frac{A_w}{A_g} \left( 1 - \frac{F_{wy}}{F_y} \right) \right]$$

$$R I_x = \left[ 1 - \frac{I_{wx}}{I_x} \left( 1 - \frac{F_{wy}}{F_y} \right) \right]$$

- $A_g$ : Aire brute de la section
- $A_w$ : Aire de la zone affectée par la soudure
- $F_{wy}$ : Limite l'élasticité du matériau soudé
- $F_y$ : Limite l'élasticité du matériau de base
- $I_x$ : Inertie de la section autour de l'axe X
- $I_{wx}$ : Inertie de la zone affectée par la soudure autour de l'axe X

Pour la section HSS76x76x6.4,

$$\begin{aligned} A_g &= 1782 \text{ mm}^2 & I_x &= 1.45 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\ F_{wy} &= 110 \text{ MPa} & F_y &= 255 \text{ MPa} \end{aligned}$$

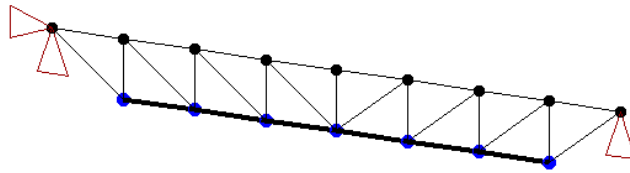
Pour cet exemple, la largeur affectée par la soudure égale la largeur de la section connectée à l'aile plus 51 mm. Ainsi, l'aire de la zone affectée est

$$A_w = (51+51) \times 6.4 = 653 \text{ mm}^2$$

Pour cet exemple,  $I_{wx} \approx A_w \cdot (0.5 d)^2$  où  $d$  est la hauteur de la section (76 mm).

$$I_{wx} \approx 653 \cdot (0.5 \cdot 76)^2 = 9.43 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

Ainsi, on obtient  $R A_g = 0.79$  et  $R I_x = 0.63$  pour la section HSS76x76x6.4.



Lorsque les membrures de l'aile inférieure de la poutrelle sont sélectionnées, activez la commande **Attributs des membrures** du sous menu **Édition → Membrane**. Au bas de la boîte de dialogue, spécifiez *Soudure partielle d'extrémité* et complétez les ratio d'aires et d'inerties efficaces tel que calculés ci-dessus. Ces membrures seront affectées par la limite de résistance des soudures du matériau utilisé. Cliquez sur **OK** lorsque vous avez terminé.

**Attributs des membrures**

Général | Acier | Composite | Aluminium | Béton

Numéro: ---  
Nom: BEAM

Changer le support (aile supérieure)  
Type de support latéral: Aux extrémités  
Lu = 0 mm

Changer le support (aile inférieure)  
Type de support latéral: Aux extrémités  
Lu = 0 mm

Changer le coefficient w2  
0

**Flexion**

**Compression**

Changer le support - Axe majeur (Kx, Lx)    Facteur (K): 0    Longueur (L): 0 mm  
 Changer le support - Axe mineur (Ky, Ly)    Facteur (K): 0    Longueur (L): 0 mm  
 Changer le support - Torsion (Kt, Lt)    Facteur (K): 0    Longueur (L): 0 mm  
 Changer le support - Sections assemblées (Ks, Ls)    Facteur (K): 0    Longueur (L): 0 mm  
 Changer la limite d'élongement en compression    Facteur (K): 0

**Compression - Flexion**

Changer le coefficient - Axe majeur (w1.x)    0  
 Changer le coefficient - Axe mineur (w1.y)    0

**Tension**

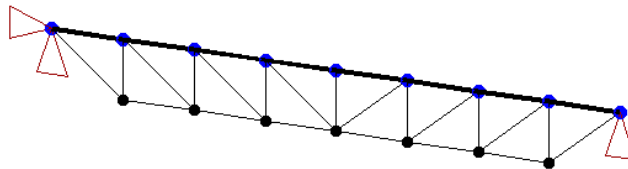
Change l'aire nette en tension (ratio aire brute)    0  
 Changer la limite d'élongement en tension    0

**Soudures**

Changer les soudures: Soudure partielle d'extrémité    % Ag = 0.79    % Ix = 0.63    % Iy = 1

OK  
Annuler  
Aide

Le même calcul effectuée pour la section HSS102x102x6.4 donne  $R_{Ag} = 0.84$  et  $R_{Ix} = 0.77$ . Sélectionnez les membrures de l'aile supérieure de la poutrelle. Puis répétez l'opération précédente pour spécifier les propriétés efficaces des sections soudées.



### Retenues contre le flambement en compression et le déversement en flexion

Le module d'aluminium de SAFI peut faire la vérification des clauses de résistance et de stabilité en flexion et en compression-flexion pour les éléments fléchis de la structure. Par défaut le programme considère que les membrures sont supportées contre le déversement et le flambement à leurs deux extrémités.

Dans le présent exemple, il est raisonnable de considérer que les éléments en compression de l'aile supérieure de la poutrelle sont rattachées latéralement aux mêmes endroits où sont attachées les diagonales et les verticales. Pour cet exemple, il n'est donc pas nécessaire de spécifier les supports en compression et en flexion.

## Vérification des états limites

Il est nécessaire d'exécuter l'analyse de la structure avec la vérification de l'aluminium pour obtenir la vérifications des états limites. Activez la commande **Exécuter** du menu **Analyse**.

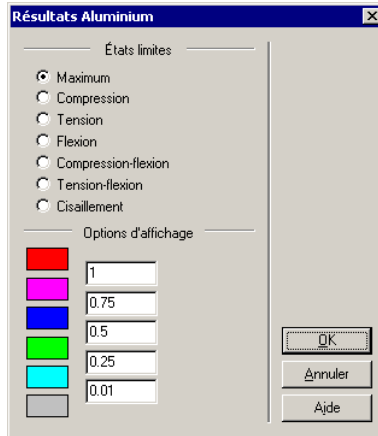
Lorsque la boîte est activée, utilisez l'option d'analyse *Statique linéaire* et l'option de conception *Vérification - aluminium*. Lorsque la commande **Exécuter** est activée, une boîte de message s'affiche vous demandant si vous voulez enregistrer le modèle. Cliquez sur **Oui** pour enregistrer le modèle et exécuter l'analyse.

## Résultats et rapport

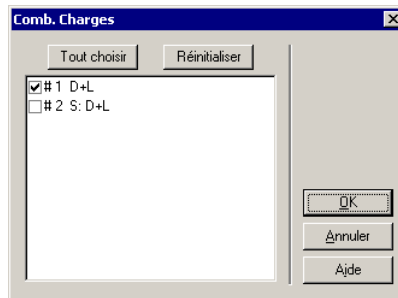
Les résultats de la vérification des états limites peuvent être consultés de trois façons différentes, chacune ayant une utilité bien précise. Tout d'abord, les états limites peuvent être présentés pour l'ensemble de la structure (ou une partie avec la commande **Afficher/masquer la sélection** du menu **Affichage**) par l'intermédiaire d'une charte de couleurs. Cette méthode est utile pour avoir un aperçu global et rapide de l'ordre de grandeur des états limites pour chaque membrure du modèle. Il est aussi possible de voir les valeurs numériques des états limites par l'intermédiaire de tables. Cette méthode est très pratique pour obtenir rapidement les valeurs numériques de chacun des états limites pour l'ensemble ou une partie de la structure. Ces tables présentent aussi les principaux résultats d'analyse nécessaires aux vérifications. Ces deux méthodes sont très rapide d'exécution et requièrent un minimum de manipulations. Cependant, elles présentent les résultats de la dernière analyse seulement et ne permettent pas de conserver les résultats de façon permanente. Les rapports d'analyses, bien que plus long à générer, permettent de conserver les résultats de la vérification de l'aluminium de façon permanente selon différents formats de fichiers (Rapport SAFI, Classeur Excel, etc.).

## Résultats globaux

Pour afficher les résultats du calcul aux états limites directement sur les membrures de la structure, utilisez tout d'abord la commande **Options** du sous menu **Analyse** → **Courbes globales** → **Aluminium**. Dans la boîte de dialogue qui apparaît, sélectionnez le type d'état limite que vous voulez vérifier et cliquez sur **OK**. Pour afficher les résultats, activez la commande **Afficher** du sous menu **Analyse** → **Courbes globales** → **Aluminium**.

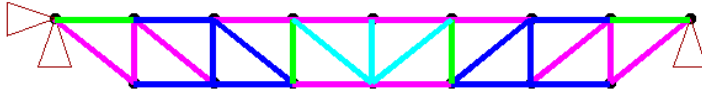


Ces résultats peuvent être affichés pour une seule ou plusieurs combinaisons de charges. Lorsque plusieurs combinaisons de charges sont sélectionnées, les résultats affichés correspondent aux maximums pour ces combinaisons de charges. Pour spécifier les combinaisons de charges pour lesquelles afficher les résultats, utilisez la commande **Combinaisons** du sous menu **Analyse** → **Courbes globales**.



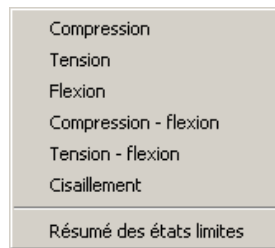
Sélectionnez toutes les combinaisons de charges et cliquez sur le bouton **OK**.

Pour afficher les résultats pour une portion de la structure, sélectionnez les membrures pour lesquelles vous voulez voir les résultats et activez la commande **Afficher/masquer la sélection** du menu **Affichage**.

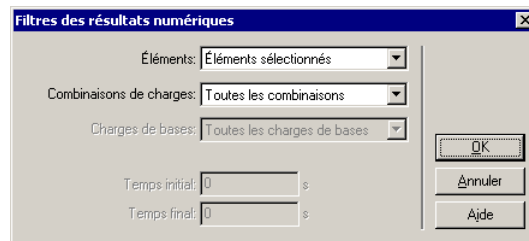


## Résultats numériques

Pour consulter les valeurs numériques des états limites calculés, utilisez la commande du sous menu **Analyse → Résultats numériques → Aluminium** qui correspond le mieux à vos besoins.



Lorsque l'une de ces commandes est activée, une boîte de dialogue permettant de filtrer le contenu de la table s'affiche.



Il est possible d'afficher les résultats pour l'ensemble de la structure ou seulement pour les membrures sélectionnées du modèle (liste **Éléments**). Il est aussi possible de consulter les résultats pour une combinaison de charges spécifiques ou pour toutes les combinaisons de charges (liste **Combinaisons de charges**). Si un filtre n'est pas activé (en gris dans la boîte de dialogue), cela signifie que ce filtre n'est pas applicable au type de résultats demandé.

**Résumé des états limites**

Fichier Commandes

No membre	Nom section	No comb	Maximum	Cl/Cr	Tl/Tr	Ml/Mr	Cl/Cr+Ml/Mr	Tl/Tr+Ml/Mr	Vl/Vr	Longueur mm	Flèche absolue (mm)	Flèche relative (mm)	Notes
1	HSS76x76x6.4	1	0.5174	0.0000	0.3861	0.1314	0.1314	0.5174	0.0097	1250.0000	35.9910	0.3425	
2	HSS76x76x6.4	1	0.7321	0.0000	0.6460	0.0861	0.0861	0.7321	0.0016	1250.0000	47.1377	0.9171	
3	HSS76x76x6.4	1	0.8836	0.0000	0.8061	0.0775	0.0775	0.8836	0.0010	1250.0000	50.8977	0.9040	
8	HSS51x51x6.4	1	0.7702	0.9678	0.0000	0.2024	0.7702	0.2024	0.0077	1000.0000	12.3215	0.3223	
9	HSS51x51x6.4	1	0.8114	0.0000	0.7334	0.0780	0.0780	0.8114	0.0018	1600.7810	35.0206	0.6078	
10	HSS51x51x6.4	1	0.6388	0.3950	0.0000	0.2438	0.6388	0.2438	0.0101	1000.0000	11.0716	0.2940	
23	HSS102x102x6.4	1	0.7310	0.4423	0.0000	0.2521	0.7310	0.2521	0.0895	1250.0000	36.8361	0.9961	
24	HSS102x102x6.4	1	0.7948	0.9535	0.0000	0.2029	0.7948	0.2029	0.0787	1250.0000	47.6518	1.4292	
25	HSS102x102x6.4	1	0.8339	0.5907	0.0000	0.2019	0.8339	0.2019	0.0773	1250.0000	51.3137	1.4199	

Fermer Aide

Résumé des états limites pour quelques membrures du modèle

## Rapport d'analyse

Pour conserver les résultats du calcul aux états limites de façon permanente, il faut générer un rapport. Pour ce faire, utilisez la commande **Générer le rapport** du menu **Analyse**. Lorsque la commande est activée, le gestionnaire de rapport est ouvert.

**Génération des rapports**

Modèle Analyse Acier Aluminium Béton Pont Pré-Tension Tour Tubulaire

Données d'entrée

- Général
- Charges
- Charges combinés
- Déplacement imposé
- Ressorts
- Données sismiques et dynamiques

Geométrie

Tout la structure

Membrures

De: 1 À: 29

Joints

De: 1 À: 16

Combinaisons

De: 1 À: 2

Charges de base

De: 1 À: 2

Temps (s)

De: 0.0 À: 0.0

Réinitialiser les pages

Générer Fermer Aide

Cette boîte de dialogue contient un certain nombre d'onglets selon les modules actifs du logiciel. Seul les onglets **Modèle**, **Analyse** et **Aluminium** sont utiles pour le rapport de vérification de l'aluminium. Il s'agit simplement de sélectionner, dans chacun de ces onglets, les parties que vous voulez voir dans le rapport. Il est possible, encore ici, de générer le rapport pour toute ou une partie de la structure par l'intermédiaire des champs d'édition (qui permettent de spécifier une plage d'éléments et de combinaisons de charges) et de la liste **Géométrie** qui permet de limiter les

données du rapport aux éléments sélectionnés ou à des groupes prédéfinis (correspondant aux groupes de conception).

## Rapport d'analyse de SAFI

October 16, 2003

### Description

**Titre du projet:** Aluminium Truss

### Conception d'aluminium

#### Compression

**No. membre:** 8      **Profilé:** HSS51x51x6.4 (avec traitement thermique)

	Axe fort	Axe faible	Torsion	Assemblée
Longueur de flambement - KL (mm)	1,000.00	1,000.00	1,000.00	0.00
Rayon de gyration - r (mm)	18.31	18.31	---	0.00
Élancement - KL/r	54.60	54.60	---	0.00
Élancement normalisé - $\lambda$	1.05	1.05	0.00	0.00
Résistance en compression - Cr	170.28	170.28	0.00	0.00

Résistance en compression de la section = 173.91 kN

Contrainte de flambement (Fo)	255.00	MPa
Contrainte de rupture de la section (Fo)	170.00	MPa
Élancement limite	200.00	OK
Combinaison de charges critique	1	
Force de compression (Cf)	96.68	kN
Résistance (Cr)	170.28	kN
État limite ultime (Cf/Cr)	0.57	OK

Exemple de rapport de vérification de l'aluminium