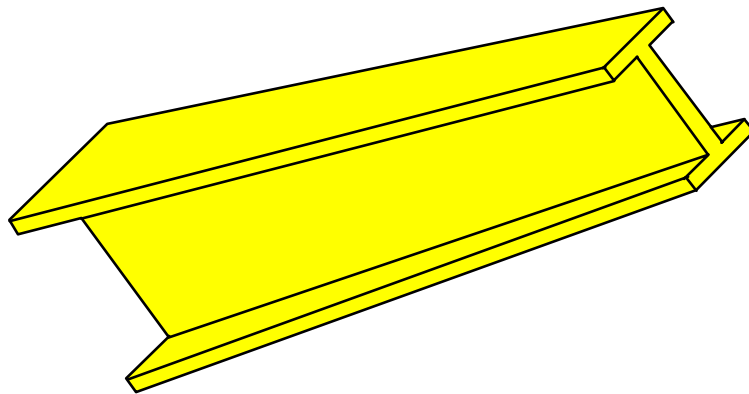


# **RDM - Ossatures**

## **Manuel d'utilisation**



**Yves DEBARD**

**Institut Universitaire de Technologie du Mans  
Département Génie Mécanique et Productique**



**Yves DEBARD**

Février 2001

**Institut Universitaire de Technologie**

Département Génie Mécanique et Productique

Avenue Olivier Messiaen

72085 **Le MANS** Cedex 9

Tel 02 43 83 34 64

Fax 02 43 83 31 49

E-mail : [yves.debard@univ-lemans.fr](mailto:yves.debard@univ-lemans.fr)

<http://iut.univ-lemans.fr/ydlogi>

<http://iut.univ-lemans.fr/gmp/cours/rdmyd>

# **RDM - Ossatures**

## **Manuel d'utilisation**



## **Sommaire :**

	pages
<b>Présentation</b>	
<b>Installer et configurer le logiciel</b>	1
<b>Rappels théoriques</b>	3
<b>Commandes utilitaires</b>	17
<b>Modélisation</b>	19
Géométrie	21
Repère local lié à une poutre	31
Sections droites	33
Bibliothèque de profilés	36
Dimensions des sections droites	40
Matériaux	48
Changement de repère nodal	50
Liaisons extérieures - symétries	51
Liaisons intérieures : relaxations	52
Définition des cas de charges	53
Fichier de sauvegarde	56
<b>Calculs et résultats</b>	61
<b>Exemples</b>	65



# Présentation

RDM - Ossatures permet l'étude, par la **méthode des éléments finis**, du comportement statique et dynamique des ossatures.

Les **hypothèses** retenues sont :

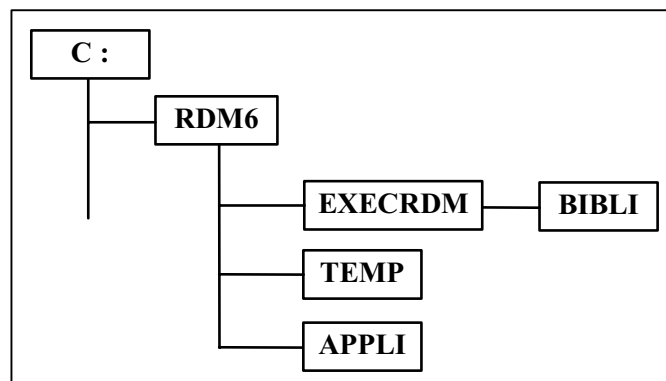
- ◆ les ossatures sont constituées de poutres droites.
- ◆ les déplacements sont petits.
- ◆ les matériaux sont isotropes.
- ◆ les relations entre les contraintes et les déformations sont linéaires.
- ◆ le centre de gravité et le centre de cisaillement des sections droites sont confondus.
- ◆ le cisaillement transversal est pris en compte.



# Installer et configurer le logiciel

## Installer RDM

- ◆ Insérer la **disquette 1** dans le lecteur de disquette.
- ◆ Sélectionner la commande **EXECUTER** dans le menu **DEMARRER**.
- ◆ Taper **A:INSTALL** puis valider.
- ◆ Modifier éventuellement l'installation proposée :



Celle ci est mémorisée dans le fichier **INSTALL.DAT** qui se trouve sur la disquette 1 :

```

$debut du fichier
$executables      * répertoire qui contient les exécutables
c:\rdm6\execrdm
$bibliothèque     * bibliothèques : matériaux, profilés...
c:\rdm6\execrdm\bibli
$travail          * répertoire de travail : données, résultats
c:\rdm6\appli
$temporaires      * répertoire qui contient les fichiers temporaires
c:\rdm6\temp
$exemples         * répertoire qui contient les exemples
c:\rdm6\exemples
$fin du fichier
  
```

- ◆ Lancer l'installation.
- ◆ Installer éventuellement les **fontes** MTEXTRA et FENCES.
- ◆ Lancer le module **Flexion**, puis entrer la longueur de l'écran ...

## Modifier la configuration du logiciel

- Activer le menu **Configurer RDM**.
- Entrer les dimensions de l'écran **en mm**.
- Sélectionner le type curseur : petit, grand.
- Définir la couleur du fond.
- Sélectionner la couleur des boutons.
- Entrer le coefficient de loupe. Ce coefficient est utilisé par les commandes **Zoom plus** et **Zoom moins**.
- ...

# Rappels théoriques

## Poutre

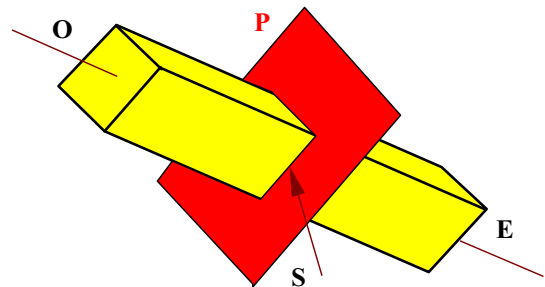
Une poutre est un solide engendré par une surface plane (S), constante ou non, dont le centre de gravité (G) décrit un arc courbe (OE), le plan (P) qui contient (S) restant normal à cet arc. De plus, les dimensions de (S) sont faibles (sans être négligeables) par rapport à la longueur de l'arc.

(S) est appelée **section droite** de la poutre.

Une **fibre** est le volume engendré par un élément de surface infiniment petit de (S) quand (G) décrit (OE).

L'arc de courbe (OE) est la **ligne moyenne** de la poutre.

Si la ligne moyenne est un segment de droite, la poutre est dite droite.



## Caractéristiques d'une section droite

Soient une section droite (A) et  $\{y z\}$  un repère orthonormé du plan de la section.

On appelle **aire de la section** la quantité :

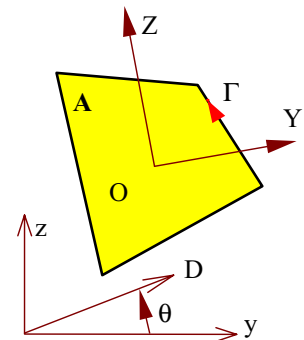
$$A = \int_A dy dz = \int_A dA$$

Les **moments statiques de la section par rapport aux axes y et z** sont définis par :

$$M_y = \int_A z dA ; M_z = \int_A y dA$$

On appelle **centre de gravité de la section** le point O dont les coordonnées sont définies par les relations :

$$y_0 = \frac{M_z}{A} \quad z_0 = \frac{M_y}{A}$$



On appelle **moments quadratiques de la section par rapport aux axes y et z**, les quantités :

$$I_y = \int_A z^2 dA ; I_z = \int_A y^2 dA$$

On appelle **moment produit de la section par rapport aux axes y et z**, la quantité :

$$I_{yz} = \int_A yz dA$$

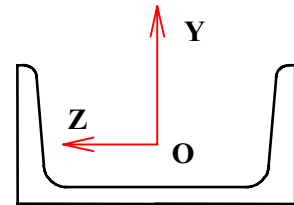
Soit une droite (D), passant par l'origine et faisant un angle  $\theta$  par rapport à l'axe Oy. Le moment quadratique de la section par rapport à (D) est égal à :

$$I(\theta) = I_y \cos^2(\theta) + I_z \sin^2(\theta) - 2 I_{yz} \cos(\theta) \sin(\theta)$$

Lorsque  $\theta$  varie,  $I(\theta)$  passe par un minimum et un maximum. Les deux directions correspondantes sont perpendiculaires entre elles. Le moment produit est nul par rapport à ces deux directions. Ces deux directions que nous noterons Y et Z sont appelées **axes centraux principaux**. On a les relations suivantes :

$$\int_A Y dA = \int_A Z dA = \int_A YZ dA = 0$$

Les quantités  $I_Y = \int_A Z^2 dA$  et  $I_Z = \int_A Y^2 dA$  sont les **moments quadratiques principaux**.



■ C

Le **moment d'inertie polaire** (moment de la surface par rapport au centre de gravité) est défini par :

$$I_O = \int_A (Y^2 + Z^2) dA = I_Y + I_Z$$

Les **constantes de stabilité** :

$$\beta_Y = \int_A Y (Y^2 + Z^2) dA \quad \beta_Z = \int_A Z (Y^2 + Z^2) dA$$

et les **modules plastiques** sont également évaluées par le logiciel.

A partir des quantités précédentes, on définit les **rayons de girations** par les relations :

$$i_Y = \sqrt{\frac{I_Y}{A}} \quad i_Z = \sqrt{\frac{I_Z}{A}} \quad i_O = \sqrt{\frac{I_O}{A}}$$

La **constante de torsion de Saint Venant** est égale à :

$$J = \int_A \left( Y \frac{\partial \omega}{\partial Z} - Z \frac{\partial \omega}{\partial Y} + Y^2 + Z^2 \right) dA$$

où  $\omega$  est la fonction de gauchissement de torsion. Si la section est circulaire (pleine ou creuse),  $\omega$  est nul et J se réduit à  $I_O$ .

Le **centre de cisaillement/torsion** est le point de la section qui reste fixe lorsque la force élastique sur la section se réduit à un moment de torsion. Il est défini par :

$$Y_C = -\frac{1}{I_Y} \int_A Z \omega \, dA \quad \text{et} \quad Z_C = \frac{1}{I_Z} \int_A Y \omega \, dA$$

Le **moment d'inertie de rotation** ( moment de la surface par rapport au centre de cisaillement ) est égal à :

$$I_r = \int_A \left[ (Y - Y_C)^2 + (Z - Z_C)^2 \right] dA = (Y_C^2 + Z_C^2) A + I_O$$

La **constante de gauchissement** est définie par :

$$I_\omega = \int_A \omega^2 \, dA$$

La **constante de stabilité**  $\beta_\omega$  est définie par :

$$\beta_\omega = \int_A \omega (Y^2 + Z^2) \, dA$$

L'énergie de déformation linéique due à l'effort tranchant est égale à :

$$\frac{T_Y^2}{2 G k_Y A} + \frac{T_Z^2}{2 G k_Z A}$$

où  $k_Y$  et  $k_Z$  sont les **coefficients d'aire cisailée**.  $A_Y = k_Y A$  est l'aire cisailée suivant Y et  $A_Z = k_Z A$  est l'aire cisailée suivant Z. Ces coefficients sont définis par :

$$k_Y = \frac{1}{I_Z} \int_A g Y \, dA \quad ; \quad k_Z = \frac{1}{I_Y} \int_A h Z \, dA$$

où g et h les fonctions de gauchissement associées aux efforts tranchants  $T_Y$  et  $T_Z$ .

## Repère local lié à une poutre

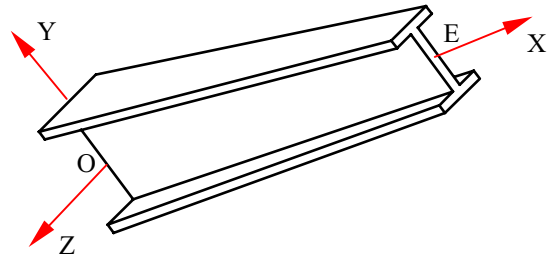
Le repère local  $\{ O, X Y Z \}$  lié à une poutre droite est défini comme suit :

- O et E sont les centre de gravité des sections droites situées aux extrémités de la poutre.

- l'axe X est porté par la ligne moyenne et dirigé de O vers E. Le point O est l'**origine** de la poutre et le point E son **extrémité**.

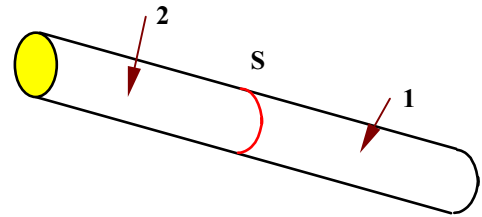
- les axes Y et Z sont les axes centraux principaux de la section droite à l'origine.

- le repère  $\{ O, X Y Z \}$  forme un trièdre direct.



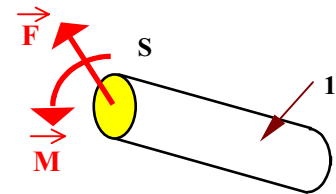
## Efforts sur une section droite

Soit (S) une section droite. (S) divise la poutre en deux parties (1) et (2). Isolons la partie (1). Cette opération s'appelle **coupure**. Soit G le centre de gravité de (S).



L'équilibre de la partie (1) n'est pas modifié si on remplace l'action de la partie (2) par un torseur équivalent en G aux efforts qui s'exercent sur la partie (2).

Ce torseur a une résultante  $\vec{F}$  et un moment  $\vec{M}$ . Il est appelé **force intérieure dans la section droite (S)**.



Décomposons  $\vec{F}$  en deux forces,  $\vec{N}$  normale à la section (S) et  $\vec{T}$  située dans le plan de (S) :

$\vec{N}$  est l'**effort normal** dans la section.

$\vec{T}$  est l'**effort tranchant** dans la section.

De même, décomposons  $\vec{M}$  en deux couples,  $\vec{M}_t$  normal à la section (S) et  $\vec{M}_f$  situé dans le plan de la section (S) :

$\vec{M}_t$  est le **moment de torsion** dans la section.

$\vec{M}_f$  est le **moment fléchissant** dans la section.

Dans le repère local lié à une poutre, la force élastique dans une section droite a pour composantes :

$$[ F_X \ F_Y \ F_Z \ M_X \ M_Y \ M_Z ]$$

d'où :

$$\vec{N} = \begin{bmatrix} F_X \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \vec{T} = \begin{bmatrix} 0 \\ F_Y \\ F_Z \end{bmatrix}, \quad \vec{M}_t = \begin{bmatrix} M_X \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \vec{M}_f = \begin{bmatrix} 0 \\ M_Y \\ M_Z \end{bmatrix}$$

## Loi de comportement

Soient Y et Z les axes centraux principaux de la section. L'axe X est l'axe neutre de la poutre. Le point O de coordonnées ( 0, 0 ) est le centre de gravité de la section.

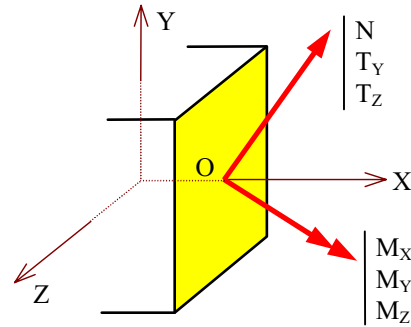
Le comportement d'une poutre tridimensionnelle résulte de la superposition des effets suivants :

◆ **traction/compression suivant X :**

déplacement  $u(X)$  du point O  
effort normal  $N(X)$

◆ **flexion autour de l'axe Y :**

déplacement  $w(X)$  du point O  
rotation  $\theta_Y(X)$  de la section droite autour de l'axe Y  
effort tranchant  $T_Z(X)$   
moment fléchissant  $M_Y(X)$



◆ **flexion autour de l'axe Z :**

déplacement  $v(X)$  du point O  
rotation  $\theta_Z(X)$  de la section droite autour de l'axe Z  
effort tranchant  $T_Y(X)$   
moment fléchissant  $M_Z(X)$

◆ **torsion autour de l'axe X :**

rotation  $\theta_X(X)$  de la section droite autour de l'axe X  
moment de torsion  $M_X(X)$

Ces quantités sont liées par les relations suivantes :

$$\left[ \begin{array}{l} N = E A \frac{\partial u}{\partial X} \\ T_Y = k_Y G A \left( \frac{\partial v}{\partial X} - \theta_Z \right) \\ T_Z = k_Z G A \left( \frac{\partial w}{\partial X} + \theta_Y \right) \\ M_X = G J \frac{\partial \theta_X}{\partial X} \\ M_Y = E I_Y \frac{\partial \theta_Y}{\partial X} \\ M_Z = E I_Z \frac{\partial \theta_Z}{\partial X} \end{array} \right.$$

avec

$E$  : module d'Young

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} : \text{module d'élasticité transversal}$$

$k_Y, k_Z$  : coefficients d'aire cisailée

$A$  : aire de la section

$J$  : constante de torsion de Saint Venant

$I_Y, I_Z$  : moments quadratiques de la section

$EA$  : rigidité de membrane

$E I_Y, E I_Z$  : rigidités de flexion

$G J$  : rigidité de torsion

$k_Y G A, k_Z G A$  : rigidités de cisaillement transversal

⇒ Les relations précédentes caractérisent le comportement d'une poutre en tenant compte du cisaillement transversal ( hypothèses de **Timoshenko/Mindlin** ). En particulier, sous l'effet de la flexion, les sections droites restent planes.

⇒ Si le cisaillement transversal est négligé ( hypothèse de **Bernoulli** ), les sections droites restent perpendiculaires à la fibre neutre sous l'effet de la flexion :

$$\frac{\partial v}{\partial X} - \theta_Z = 0 \quad \frac{\partial w}{\partial X} + \theta_Y = 0$$

⇒ L'énergie de déformation linéique est égale à :

$$\frac{dW}{dX} = \frac{1}{2} \left[ \frac{N^2}{EA} + \frac{M_Y^2}{EI_Y} + \frac{M_Z^2}{EI_Z} + \frac{T_Y^2}{G k_Y A} + \frac{T_Z^2}{G k_Z A} + \frac{M_X^2}{GJ} \right]$$

Si le cisaillement transversal est négligé, l'énergie due à l'effort tranchant est négligée.

**Bibliographie** : [B6] [L6]

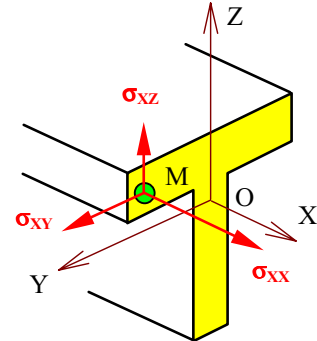
## Contraintes sur une section droite

Soient Y et Z les axes centraux principaux de la section. L'axe X est l'axe neutre de la poutre. Le point O de coordonnées (0, 0) est le centre de gravité de la section.

Soit [ N T<sub>Y</sub> T<sub>Z</sub> Mt Mf<sub>Y</sub> Mf<sub>Z</sub> ] la **force intérieure** qui s'exerce sur la section.

Au point M(Y,Z), le **tenseur des contraintes** a pour expression :

$$[\Sigma(M)] = \begin{bmatrix} \sigma_{XX} & \sigma_{XY} & \sigma_{XZ} \\ \sigma_{XY} & 0 & 0 \\ \sigma_{XZ} & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



où la **contrainte normale** est égale à :

$$\sigma_{XX} = \frac{N}{A} + Z \frac{Mf_Y}{I_Y} - Y \frac{Mf_Z}{I_Z}$$

et les **contraintes de cisaillement** sont égales à :

$$\sigma_{XY} = \frac{Mt}{J} \left( \frac{\partial \omega}{\partial Y} - Z \right) + \frac{T_Y}{A} \frac{\partial g}{\partial Y} + \frac{T_Z}{A} \frac{\partial h}{\partial Y}$$

$$\sigma_{XZ} = \frac{Mt}{J} \left( \frac{\partial \omega}{\partial Z} + Y \right) + \frac{T_Y}{A} \frac{\partial g}{\partial Z} + \frac{T_Z}{A} \frac{\partial h}{\partial Z}$$

où  $\omega$ ,  $g$  et  $h$  sont respectivement les fonctions de gauchissement associées à  $Mt$ ,  $T_Y$  et  $T_Z$  (voir caractéristiques d'une section droite).

On en déduit :

- les **contraintes principales** :

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{XX}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{\sigma_{XX}^2 + 4 \tau^2} \quad \text{avec} \quad \tau^2 = \sigma_{XY}^2 + \sigma_{XZ}^2$$

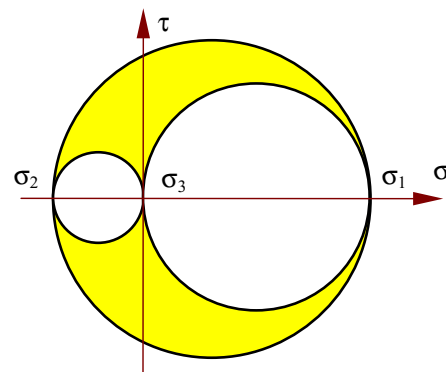
$$\sigma_3 = 0$$

- la **contrainte équivalente de Von Mises** :

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\sigma_{XX}^2 + 3 \tau^2}$$

- la **contrainte équivalente de Tresca** :

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_{XX}^2 + 4 \tau^2}$$



Cercles de Mohr en M

**Bibliographie :**

[G4] [B5] [B6] [H2] [L6] [L4] [P1] [SEC 1] ... [SEC...]

## Ossature

Une ossature est un **assemblage de poutres**.

### Ossature spatiale

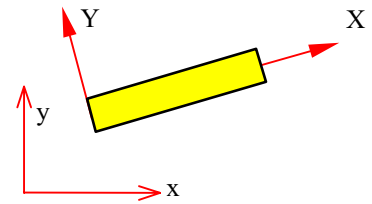
Chaque noeud possède 6 degrés de liberté :  $[ u \ v \ w \ \theta_x \ \theta_y \ \theta_z ]$ .

Dans le repère local lié à une poutre, la force élastique dans une section droite a pour composantes :

$$[ F_X \ F_Y \ F_Z \ M_X \ M_Y \ M_Z ]$$

### Ossature plane

Une ossature est dite plane si elle possède un plan de symétrie (pour la géométrie et les déplacements). Ce plan contient l'une des directions principales de chaque section droite.



Conventions :

- le plan de symétrie est le plan  $\{ O, x y \}$ .
- les axes X et Y du repère local lié à une poutre sont dans le plan  $\{ O, x y \}$ .

La direction principale Z est alors perpendiculaire au plan de la structure.

Chaque noeud possède 3 degrés de liberté :  $[ u \ v \ \theta_z ]$ .

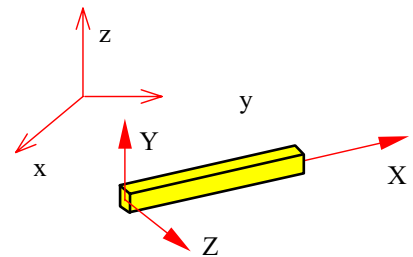
Dans le repère local lié à une poutre, la force élastique dans une section droite se réduit à :

$$[ F_X \ F_Y \ F_Z=0 \ M_X=0 \ M_Y=0 \ M_Z ]$$

### Ossature plancher

Une ossature est appelée plancher ( ou grillage plan ) si :

- elle possède un plan de symétrie ( pour la géométrie ). Ce plan contient l'une des directions principales de chaque section droite.



Conventions :

- le plan de symétrie est le plan  $\{ O, x y \}$ .
- les axes X et Z du repère local lié à une poutre sont dans le plan  $\{ O, x y \}$ .

La direction principale Y est alors perpendiculaire au plan de la structure.

- elle est soumise à des forces perpendiculaires au plan  $\{ O, x y \}$  et à des couples contenus dans ce plan.

Chaque noeud possède 3 degrés de liberté :  $[ w \ \theta_x \ \theta_y ]$ .

Dans le repère local lié à une poutre, la force élastique dans une section droite se réduit à :

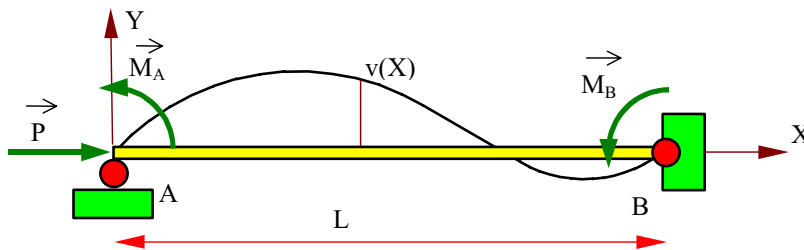
$$[ F_X=0 \ F_Y=0 \ F_Z \ M_X \ M_Y=0 \ M_Z ]$$

## Instabilité élastique : flambement

Il y a **flambement** ou **instabilité élastique** d'une structure soumise à un système de charges lorsque pour une valeur particulière de ce système, les déplacements deviennent considérables, les forces extérieures conservant des intensités finies.

Dans l'étude de ces problèmes, on doit prendre en compte les déplacements dans l'écriture des équations d'équilibre. Les déplacements ne sont donc plus des fonctions linéaires des forces appliquées et le principe de superposition ne s'applique pas.

Considérons, par exemple, la poutre AB de longueur L et de module d'Young E. Elle est articulée en B et repose sur un appui simple en A. Cette poutre est soumise à une force  $\vec{P}$  ( P , 0 ) en A et à deux couples de flexion  $\vec{M}_A$  et  $\vec{M}_B$ . Soit  $I_Z$  le moment quadratique de la section par rapport à Z.



L'effort normal dans la poutre (-P) introduit dans la section d'abscisse X un moment fléchissant additionnel  $-P v(X)$ .

Les couples  $M_{AZ}$  et  $M_{BZ}$  appliqués aux extrémités A et B de la poutre sont liés aux rotations correspondantes  $\theta_{AZ}$  et  $\theta_{BZ}$  par la relation :

$$\begin{bmatrix} M_{AZ} \\ M_{BZ} \end{bmatrix} = \frac{EI_Z}{L} \begin{bmatrix} S & CS \\ CS & S \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_{AZ} \\ \theta_{BZ} \end{bmatrix} \text{ soit } [M] = [K] [\theta]$$

$$\text{avec : } S = \frac{\alpha(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)}{2 - 2 \cos \alpha - \alpha \sin \alpha} \quad C = \frac{\alpha - \sin \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cos \alpha} \quad \alpha = L \sqrt{\frac{P}{EI_Z}}$$

Quand  $\alpha$  tend vers zéro, C et S tendent respectivement vers 0.5 et 4. Quand  $\alpha$  tend vers  $\pi$ , le déterminant de la matrice de rigidité [K] tend vers zéro : les rotations  $\theta_{AZ}$  et  $\theta_{BZ}$  tendent vers l'infini. On retrouve ici la charge critique d'Euler :

$$P_C = \frac{\pi^2 EI_Z}{L^2}$$

Plus généralement, pour une structure quelconque, les équations d'équilibre s'écrivent :

$$[ F ] = ( [ K_0 ] + [ K_{NL} ] ) [ U ]$$

où  $[ K_0 ]$  est la matrice de rigidité ordinaire calculée dans sa configuration non déformée.

### Flambement eulérien

Le flambement est dit eulérien quand la structure a un **comportement élastique et linéaire** avant de devenir instable.

Supposons résolu le problème statique :

$$[ F_0 ] = [ K_0 ] [ U_0 ]$$

Multiplions l'ensemble des charges appliquées par un coefficient  $\lambda$ . Les équations d'équilibre s'écrivent :

$$\lambda [ F_0 ] = ( [ K_0 ] + \lambda [ K_\sigma ] ) [ U ]$$

où  $[ K_\sigma ]$  est la **matrice de rigidité géométrique**.

Les valeurs de  $\lambda$  qui rendent la matrice  $[ K_0 ] + \lambda [ K_\sigma ]$  singulière et donc la structure instable sont les solutions du problème aux valeurs propres :

$$[ K_0 ] [ U ] = - \lambda [ K_\sigma ] [ U ]$$

La **plus petite valeur propre positive**  $\lambda_c$  est appelée **coefficient de charge critique** :  $\lambda_c [ F_0 ]$  est la charge critique.

Le résultat dépend de plusieurs paramètres :

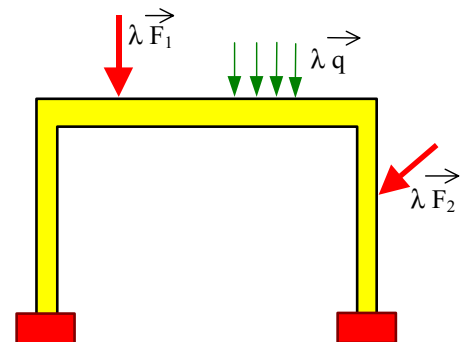
- maillage de l'ossature ( nombre d'éléments ).
- choix du champ de déplacement pour calculer la matrice de rigidité géométrique ( petites rotations / rotations modérées ).

### Bibliographie :

[T3] [T4] [B9] [C4] [F4] [G1] [M2] [P7] [T8] [T9] [Z2]

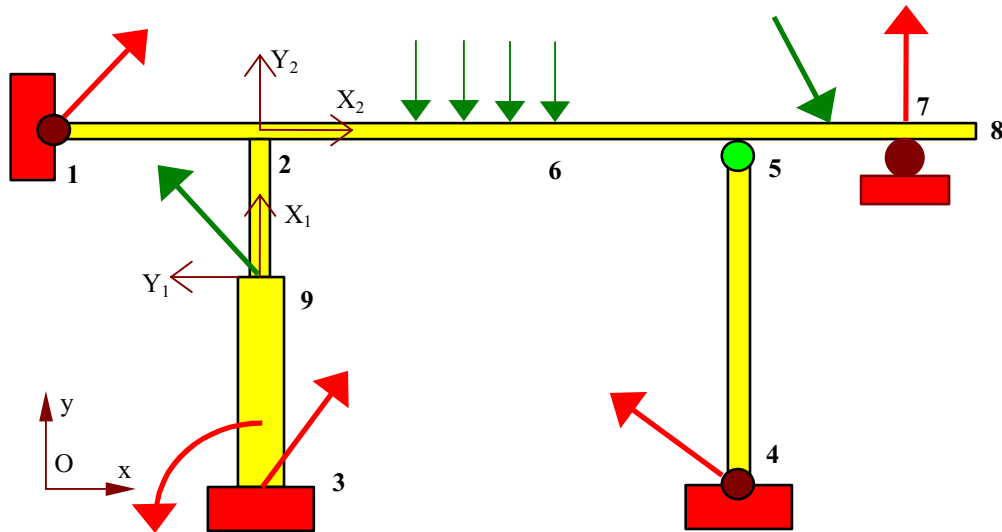
[CTICM 83] [CETIM 1995]

[FLA 1] ... [FLA ...]



## Modélisation des ossatures

Considérons la structure plane suivante :



### Noeud

Un noeud peut être :

- le point de jonction de plusieurs poutres ( 2 , 5 ).
- l'extrémité d'une poutre ( 8 ).
- un point correspondant à un changement de section droite ( 9 ).
- le point d'application d'une charge ponctuelle ( 9 ).
- un point d'appui ( 1 , 3 , 4 , 7 ).
- l'origine ou l'extrémité d'une charge répartie ( 6 ).

Les noeuds sont définis par leurs coordonnées dans un repère  $\{ O , x y z \}$  appelé **repère global**.

On appelle nombre de **degrés de liberté d'un noeud** le nombre de paramètres nécessaires pour définir le déplacement du noeud.

### Poutre

Une poutre est un morceau de structure limité par deux noeuds. Une poutre sera caractérisée par ses noeuds extrémités.

Sur notre exemple, il y a 8 poutres :

$$(1 - 2) (2 - 6) (6 - 5) (5 - 7) (7 - 8) (5 - 4) (9 - 2) (3 - 9)$$

**Remarque : l'ensemble ( 1 - 8 ) ne constitue pas une seule poutre.**

On appelle nombre de **degrés de liberté d'une poutre** le nombre de paramètres nécessaires pour définir les déplacements des noeuds de la poutre.

Repère local lié à un poutre : Exemples :  $\{ 9, X_1 Y_1 Z_1 \}$  lié à la poutre ( 9 - 2 ) et  $\{ 2, X_2 Y_2 Z_2 \}$  lié à la poutre ( 2 - 6 ).

## **Liaisons**

### **- Liaisons intérieures ( relaxations ).**

- Les poutres ( 1 - 2 ), ( 2 - 6 ) sont reliées au noeud 2 de manière rigide.
- Les poutres ( 9 - 2 ) et ( 3 - 9 ) sont reliées au noeud 9 de manière rigide.
- Le noeud 5 est pour la poutre ( 5 - 4 ) une rotule. Une liaison intérieure par rotule ne transmet pas les couples ( relaxation ).

### **- Liaisons de la structure avec l'extérieur ( appuis ).**

L'ossature est liée à l'extérieur :

- au noeud 7 par un appui simple : l'action de liaison se réduit à une force perpendiculaire au plan d'appui.
- aux noeuds 1 et 4 par une rotule : l'action de liaison se réduit à une force passant par le centre de la rotule.
- au noeud 3 par un encastrement : l'action de liaison est composée d'une force et d'un couple.

## **Charges**

- le noeud 9 porte une charge nodale.
- la poutre ( 5 - 7 ) porte une charge ponctuelle en travée.
- la poutre ( 2 - 6 ) porte une charge répartie.

...



# Commandes utilitaires

## Ressources disponibles

- Sélectionner la commande **Ressources disponibles**.

## Quitter une procédure modale

- Pointer dans la zone des menus, presser la touche **Echap** du clavier ou le **bouton droit de la souris**.

## Consulter la dimension des tableaux

Cette commande fournit la dimension des tableaux : noeuds, liaisons, charges...

- Sélectionner la commande **Dimension des tables**.

## Gestion de l'écran graphique

- Activer le menu **Afficher**.

### Zoom

- Sélectionner la commande **Zoom**.
- Désigner les deux extrémités de l'une des diagonales de la nouvelle fenêtre de travail.

### Zoom plus/moins

- Sélectionner la commande **Zoom plus** ou **Zoom moins**.

Cette commande permet de diminuer/agrandir la partie du dessin visible dans la fenêtre. Le facteur d'échelle utilisé est le coefficient de loupe ( voir **configurer RDM** ).

### Centrer la fenêtre de travail sur un point

- Sélectionner la commande **Centrer**.
- Désigner le centre de la nouvelle fenêtre de travail.

### Afficher tout le dessin

- Sélectionner la commande **Echelle maximale**.

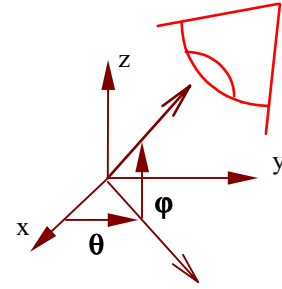
### Réafficher le dessin

- Sélectionner la commande **Mise au net**.

### Définir le point de vue de l'opérateur

- Sélectionner la commande **Repère**.

L'angle de vision est défini par les deux angles  $\theta$  et  $\varphi$ .



### Exporter un dessin

- Sélectionner la commande **Exporter** du menu **Fichier**.
- Désigner le **format** du fichier :

**HPGL , HPGL 2**  
**POSTSCRIPT**  
**EMF** ( Metafichier étendu )  
**WMF** ( Metafichier )

- Entrer la longueur du dessin ( en cm ).
- Entrer le nom du fichier.

### Imprimer le dessin

- Sélectionner la commande **Imprimer** du menu **Fichier**.
- Entrer la dimension du dessin ( en cm ).

### Afficher les attributs une entité

Cette commande permet d'afficher les attributs d'une entité : noeud, poutre, charge...

- Désigner une entité à l'aide du **Bouton droit de la souris**.

## Modélisation

### Modifier les unités « utilisateur »

- Sélectionner la commande **Unités**.

Les principales unités « utilisateur » ( entrées/sorties ) disponibles sont :

*longueur* :     **mètre , centimètre , millimètre**

*force* :         **Newton , décaNewton , kiloNewton**

*contrainte* :   **Pascal , mégaPascal ...**

*angle* :         **radian , degré**

*température* : **Kelvin , degré Celcius**

### Créer une nouvelle ossature

- Sélectionner la commande **Nouvelle étude** du menu **Fichier**.
- Définir le type de l'ossature : **spatiale, plane, plancher**.
- Entrer les coordonnées des noeuds qui serviront de support aux premières constructions.

### Rappeler une ossature

- Sélectionner la commande **Ouvrir** du menu **Fichier**.
- Entrer le nom du fichier.

### Enregistrer les données

- Sélectionner la commande **Enregistrer** du menu **Fichier**.
- Entrer le nom du fichier.

Les données sont sauvegardées dans un fichier dont l'**extension** est **.POR** . Le programme effectue une sauvegarde dans le fichier \$\$\$**.POR**.

### Rappeler une ossature paramétrée

- Sélectionner la commande **Bibliothèque** du menu **Fichier**.
- Définir le type de l'ossature : **spatiale, plane, plancher**.
- Entrer le numéro de l'ossature.
- Entrer les dimensions de l'ossature.

### Importer une géométrie

Cette commande permet d'importer la géométrie d'une ossature modélisée avec un autre logiciel :

- ◆ Format **IGES**<sup>1</sup> : Le fichier doit avoir l'extension .IGS.
- ◆ Format **DXF** ( AUTOCAD<sup>2</sup> ) : Le fichier doit avoir l'extension .DXF.

- Définir le type de l'ossature : **spatiale, plane, plancher**.
- Sélectionner la commande .IGS ou .DXF du menu **Importer** ( menu **Fichier** ).
- Entrer le nom du fichier ( sans extension ).
- Préciser l'unité utilisée pour créer le dessin : mètre / millimètre.
- Entrer la précision avec laquelle seront effectués les calculs ( voir **compacter les données** ) lors du transfert des données.

### Compacter les données

- Sélectionner la commande **Compacter les données** du menu **Modéliser**.

Les données sont compactées :

- La table des données est reconstruite poutre par poutre.
- Les poutres dupliquées sont supprimées.
- Les noeuds isolés et les attributs associés ( liaisons, charges... ) sont supprimés.

*Remarques :*

- cette opération est effectuée automatiquement au lancement du calcul.
- au cours de cette opération, les numéros des noeuds sont changés.

---

<sup>1</sup> IGES : Initial Graphics Exchange Specification.

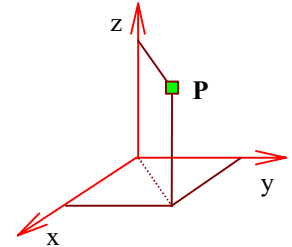
<sup>2</sup> DXF et AUTOCAD sont des marques déposées d'Autodesk.

## Géométrie

- Activer le menu **Noeuds/Poutres** du menu **Modéliser**.

### Noeud défini par ses coordonnées cartésiennes

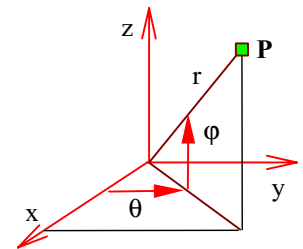
- Entrer les coordonnées cartésiennes du noeud (  $x, y, z$  ).



### Noeud défini par ses coordonnées sphériques

Cette commande est active si l'ossature est spatiale.

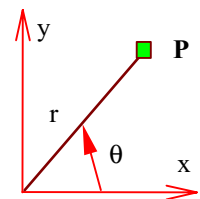
- Entrer les coordonnées sphériques du noeud (  $r, \theta, \varphi$  ).



### Noeud défini par ses coordonnées polaires

Cette commande n'est pas active si l'ossature est spatiale.

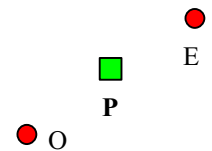
- Entrer les coordonnées polaires du noeud (  $r, \theta$  ).



### Noeud milieu

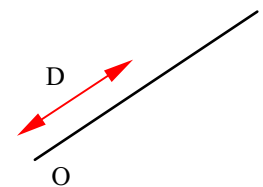
Cette fonction permet la création d'un noeud situé à égale distance de deux noeuds.

- Désigner deux noeuds ( O et E ).



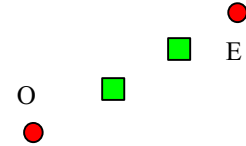
### Noeud sur poutre

- Désigner une poutre.
- Désigner le noeud de référence (O).
- Entrer la distance (D) du noeud à créer au noeud de référence.



### Noeuds équidistants

Cette fonction permet la création d'une série de noeuds entre deux noeuds donnés. Les noeuds créés sont équidistants les uns des autres.



- Désigner deux noeuds ( O et E ).
- Entrer le nombre de noeuds à créer.

### Projeter un noeud sur une droite

Cette commande permet de créer un point sur la droite support d'une poutre. Si le point créé est sur la poutre, celle-ci est coupée en 2.

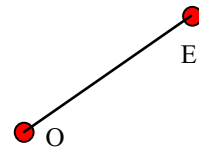
- Désigner un noeud.
- Désigner une poutre.

### Déplacer un noeud

- Désigner un noeud.
- Entrer les nouvelles coordonnées du noeud.

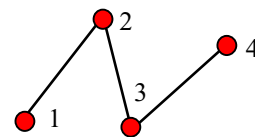
### Poutre définie par deux noeuds

- Désigner le noeud origine (O).
- Désigner le noeud extrémité (E).



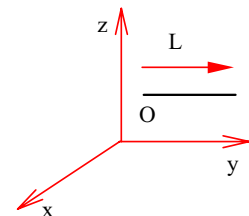
### Poutres définies par une série de noeuds

- Désigner les noeuds [ 1 .. N ].



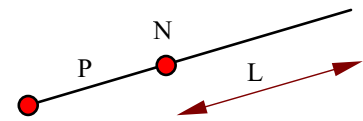
### Poutre parallèle à l'un des axes ( x , y ou z )

- Désigner le noeud origine de la poutre (O).
- Entrer la longueur (L) de la poutre. Cette longueur peut être positive ou négative.



**Prolonger une poutre**

- Désigner une poutre (P).
- Désigner l'une des extrémités de la poutre (N).
- Entrer la longueur (L).

**Discrétiser une poutre**

- Désigner une poutre.
- Entrer le coefficient de discrétisation.

**Détruire une poutre**

- Désigner une poutre.

**Détruire les poutres contenues dans une fenêtre graphique**

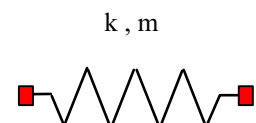
- Désigner les deux extrémités de l'une des diagonales de la fenêtre.

**Détruire un groupe de poutres**

- Désigner un élément du groupe.

**Ajouter un ressort**

- Entrer sa raideur et sa masse.
- Désigner le noeud origine et le noeud extrémité.

**Détruire un ressort**

- Désigner un ressort.

## Transformations géométriques

Les transformations géométriques permettent de **déplacer** ou **dupliquer** une poutre, les poutres contenues dans une fenêtre ou un groupe de poutres.

- Sélectionner la commande **Transformer** du menu **Modéliser**.

### ◆ Translation

#### **Vecteur translation défini par deux noeuds**

- Désigner l'origine du vecteur translation.
- Désigner l'extrémité du vecteur translation.

#### **Vecteur translation défini par composantes**

- Entrer les composantes du vecteur du vecteur translation.

#### **Translation parallèle à l'axe x, y ou z**

- Entrer la composante du vecteur translation.

### ◆ Rotation autour d'un axe

#### **Axe de rotation défini par deux noeuds**

- Désigner deux noeuds.
- Entrer l'angle de rotation.

#### **Axe de rotation parallèle à l'axe x, y ou z**

- Désigner un noeud.
- Entrer l'angle de la rotation.

### ◆ Symétrie par rapport à un plan

#### **Plan de symétrie défini par trois noeuds**

Cette commande est active si l'ossature est spatiale.

- Désigner trois noeuds.

#### **Plan de symétrie parallèle au plan { x y }, { x z } ou { y z }**

- Désigner un noeud du plan.

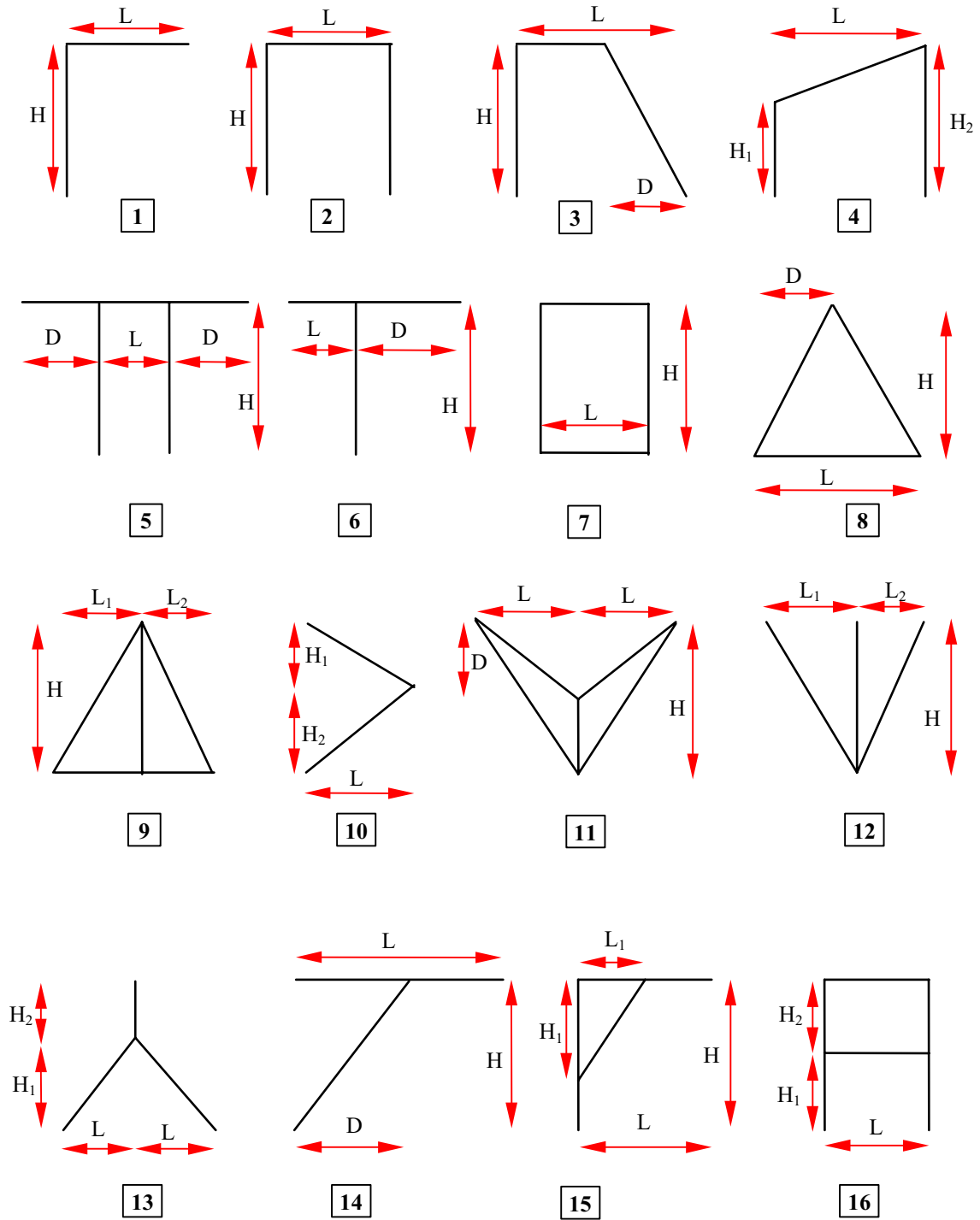
#### **Plan de symétrie défini par deux noeuds**

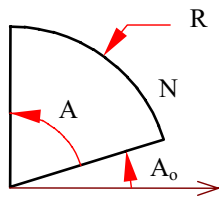
Cette commande n'est pas active si l'ossature est spatiale.

- Désigner deux noeuds.

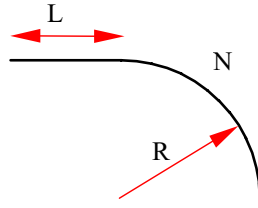
## Bibliothèque d'ossatures

**Remarque :** si l'ossature est spatiale, une ossature paramétrée plane sera placée dans le plan  $\{ y z \}$

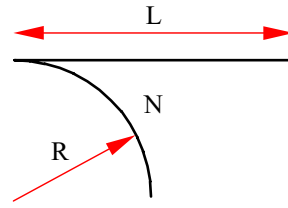




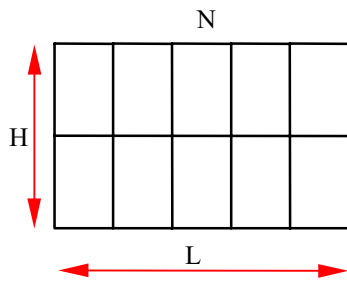
30



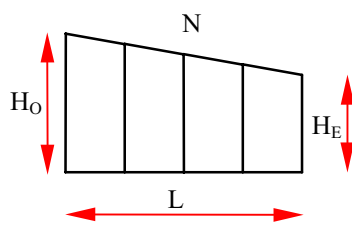
31



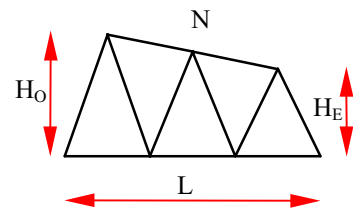
32



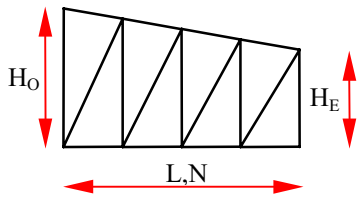
50



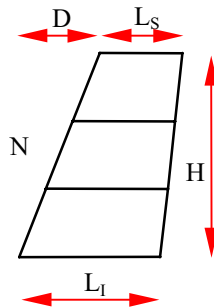
51



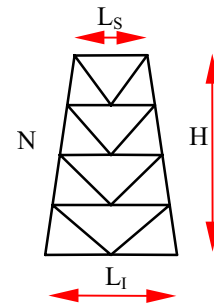
52



53



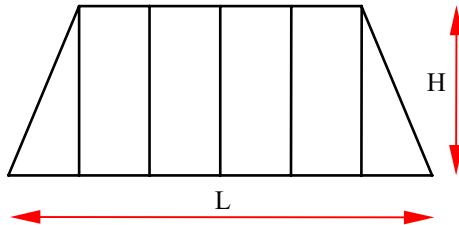
54



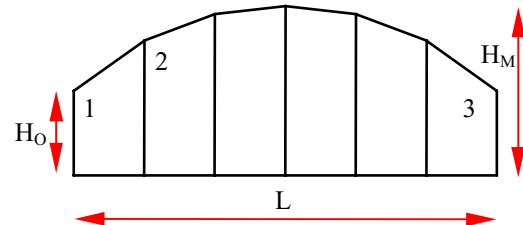
55

**Treillis plans :***paramètres :*

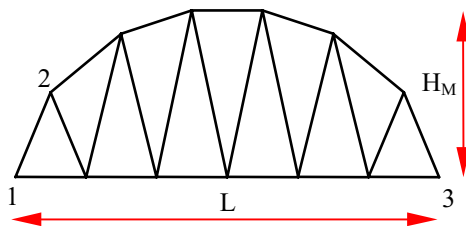
longueur [L], hauteur [H]  
 ordonnée du sommet de l'arc de cercle ( 1 2 3 ) [ $H_M$ ]  
 hauteur à l'origine [ $H_O$ ]  
 nombre de tronçons [N]



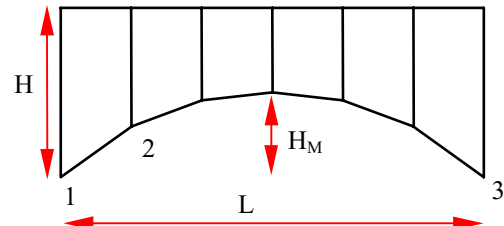
56



57



58



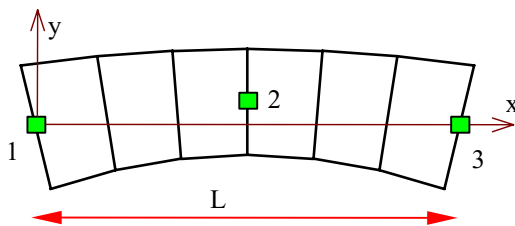
59

**Treillis en arc de cercle :**

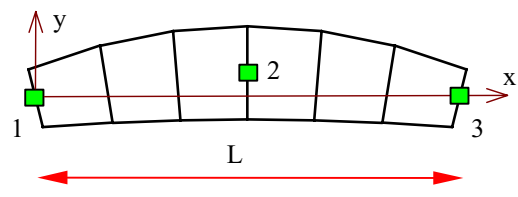
les poutres transversales sont, en leur milieu, perpendiculaires à l'arc ( 1 2 3 ).

*Paramètres :*

longueur de la corde de l'arc ( 1 2 3 ) [ L ]  
 ordonnée du point 2 [  $Y_2$  ]  
 longueur des poutres transversales situées aux extrémités 1 et 3 du treillis [  $L_1$   $L_3$  ]  
 longueur de la poutre située au milieu 2 du treillis [  $L_2$  ]  
 nombre de tronçons [ N ]

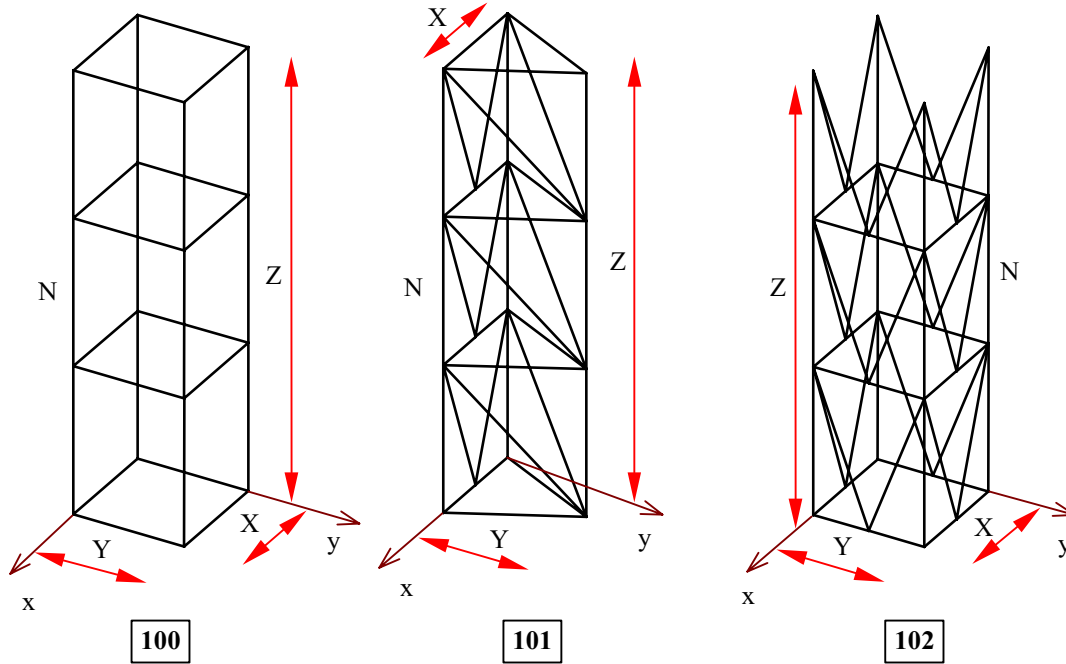


60



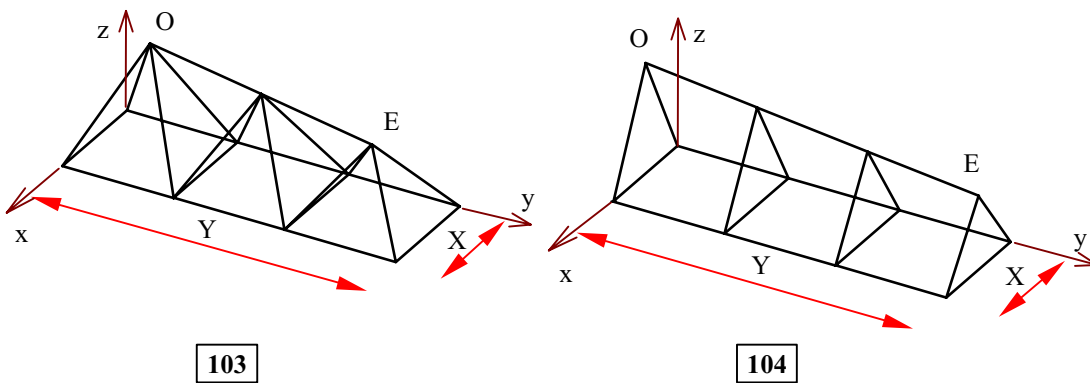
60

**Ossatures spatiales :**



**Ossatures spatiales :**

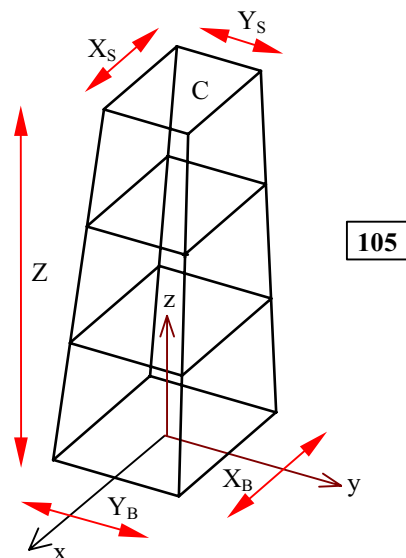
*paramètres* : longueur [ Y ], largeur [ X ], hauteur du point O [  $Z_O$  ], hauteur du point E [  $Z_E$  ], nombre de tronçons [ N ].



**Ossature spatiale :**

*paramètres* :

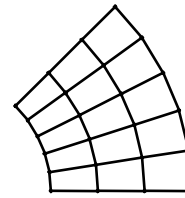
- hauteur [ Z ],
- centre du sommet [  $X_C Y_C$  ] ( le centre de la base est 0,0 ),
- dimensions de la base [  $X_B Y_B$  ],
- dimensions du sommet [  $X_S Y_S$  ],
- nombre de tronçons [ N ].



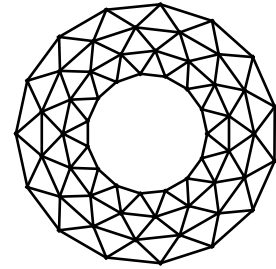
**Grille plane circulaire :**

paramètres :

- rayon intérieur
- rayon extérieur
- angle de l'arc ( ossature 120 )
- nombre de tronçons sur l'arc
- nombre de tronçons sur le rayon



120

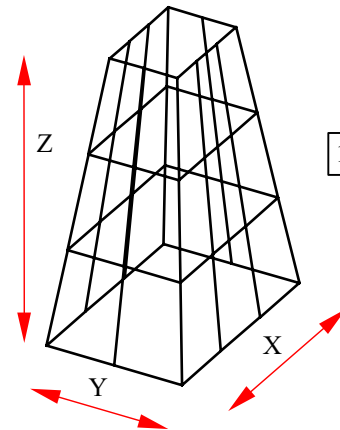


121

**Tronc de pyramide d'axe z :**

paramètres :

- hauteur ( Z )
- dimensions de la base ( XB, YB )
- dimensions du sommet ( XS, YS )
- nombre de tronçons ( NX, NY, NZ )

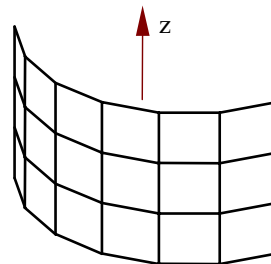


128

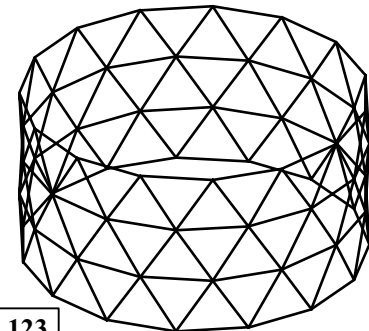
**Cylindre d'axe z :**

paramètres :

- hauteur du cylindre
- rayon du cylindre
- angle ( ossature 122 )
- nombre de tronçons sur l'angle
- nombre de tronçons sur le rayon



122

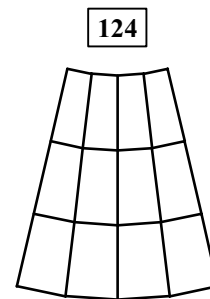


123

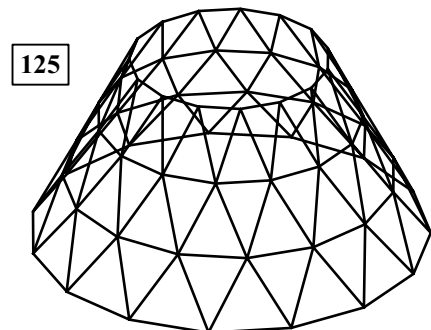
**Tronc de cône :**

paramètres :

- hauteur
- rayon de la base
- rayon du sommet
- angle ( ossature 124 )
- nombre de tronçons sur l'angle
- nombre de tronçons sur la hauteur



124

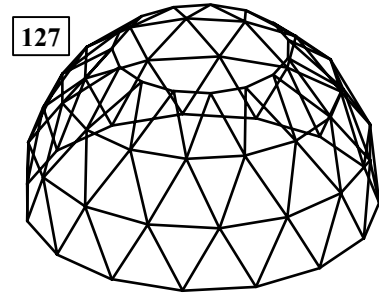
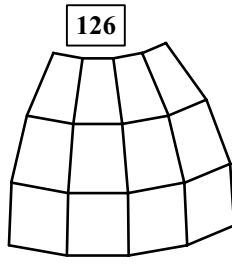


125

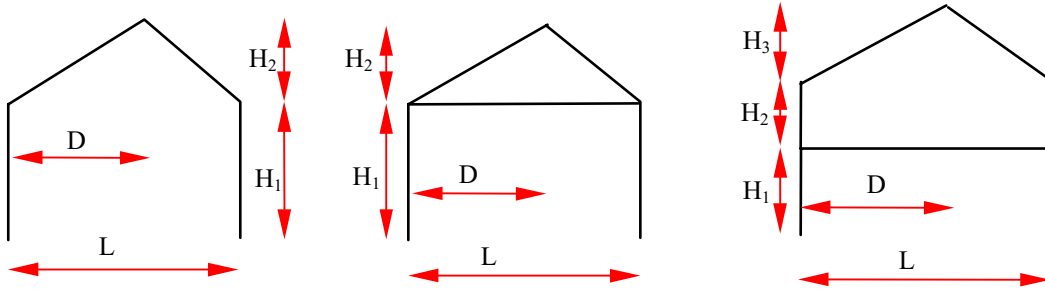
**Coupoles d'axe z :**

paramètres :

- hauteur
- rayon de la base
- rayon du sommet
- angle ( ossature 126 )
- nombre de tronçons sur l'angle
- nombre de tronçons sur la hauteur



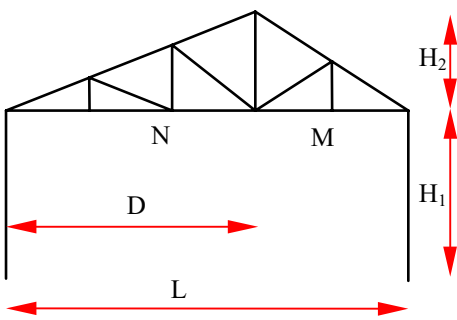
**Fermes :**



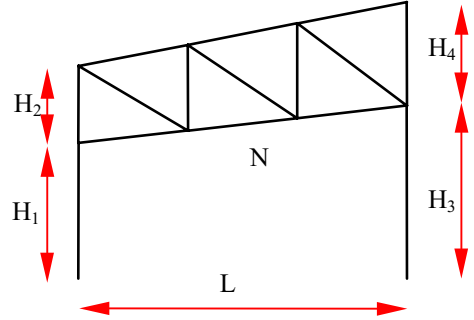
200

201

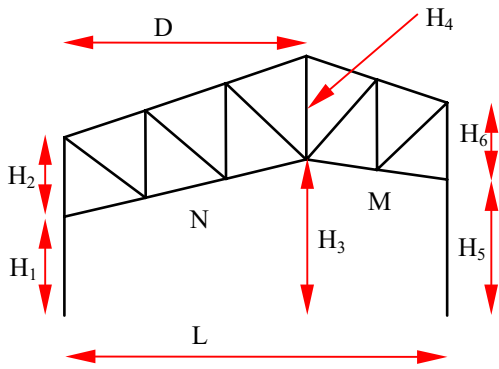
202



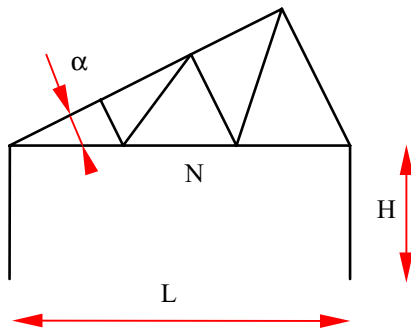
203



204



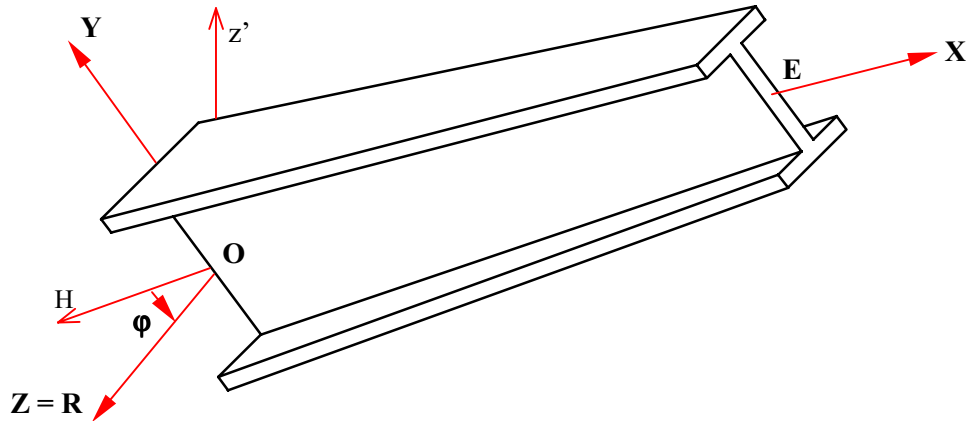
205



206

## Repère local lié à une poutre

### Définition



Soit une poutre d'origine O et d'extrémité E.

Le repère local  $\{ O, X Y Z \}$  lié à cette poutre est défini de la manière suivante :

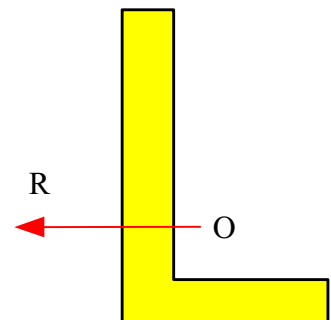
- l'axe X est porté par la fibre moyenne de la poutre et dirigé de l'origine vers l'extrémité.
- les axes Y et Z sont les axes centraux principaux de la section droite à l'origine.

Si l'axe X est défini sans ambiguïté par la donnée des noeuds origine et extrémité, la position des axes Y et Z dans le repère global  $\{ x y z \}$  doit être précisée. En fait, il suffit de définir l'un de ces deux axes, Z par exemple.

De plus, pour certaines sections droites, le logiciel introduit un axe  $\overrightarrow{OR}$  :

- sections droites définies par leur géométrie (.GEO ou .IGS) : l'axe R est l'un des axes qui ont permis la construction de la géométrie.
- certaines sections droites paramétrées : voir **Dimensions des sections droites**.

Dans ce cas, c'est l'axe R qui doit être défini.



**Dans ce qui suit l'axe R désigne l'axe R quand il existe ou l'axe Z dans le cas contraire.**

Soit  $\overrightarrow{Oz'}$  l'axe passant par l'origine O de la poutre et parallèle à l'axe z.  $\overrightarrow{OH}$  est l'axe perpendiculaire au plan  $\{ O, X z' \}$  et tel que le trièdre  $\{ X z' H \}$  soit un trièdre direct.

L'axe  $\overrightarrow{OR}$  est obtenu à partir de l'axe  $\overrightarrow{OH}$  par une rotation d'angle  $\varphi$  autour de l'axe X.

*Remarque* : si l'axe X est parallèle à l'axe z, le plan  $\{ O, X z' \}$  n'est pas défini. L'axe  $\overrightarrow{OH}$  est alors parallèle à l'axe x.

### Modifier l'orientation angulaire d'une poutre

- Sélectionner la commande **Orienter une poutre** du menu **Modéliser**.

La position angulaire d'une poutre peut être définie par :

- l'angle  $\varphi$ .
- un noeud du plan  $\{ O, X R \}$ .
- un point de composantes  $(x, y, z)$  du plan  $\{ O, X R \}$ .
- $\varphi = 90^\circ$ .
- $\varphi = 45^\circ$ .
- $\varphi = 180^\circ$ .

- Désigner une poutre.

## Sections droites

Les poutres sont groupées par section.

### Groupes de section

A chaque groupe est associé un **trait : couleur et type**.

- Activer le menu **Sections droites** du menu **Modéliser**.

#### Changer la couleur courante

- Désigner une couleur dans la palette des couleurs.

#### Changer le type de trait courant

- Désigner un type de trait.

#### Changer le trait d'une poutre

Cette commande permet d'attribuer à une poutre le trait courant.

- Pointer sur le bouton **Poutre**.

- Désigner une poutre.

#### Changer le trait d'un groupe de poutres

Cette commande permet d'attribuer le trait courant à un groupe de poutres.

- Pointer sur le bouton **Groupe**.

- Désigner une poutre du groupe.

#### Changer le trait des poutres contenues dans une fenêtre graphique

Cette commande permet d'attribuer le trait courant aux poutres contenues dans une fenêtre.

- Pointer sur le bouton **Fenêtre**.

- Désigner les deux extrémités de l'une des diagonales de la fenêtre.

## Définir une section droite

- Activer le menu **Sections droites** du menu **Modéliser**.

- Désigner le **type de section** puis éventuellement une poutre du groupe (s'il existe plusieurs groupes).

◆ **section quelconque** : la section droite est définie par ses caractéristiques.

\* Entrer les attributs de la section :

*nom de la section* : rond plein, IPN... ( facultatif )

*désignation* : 100 pour un IPN, d=50 t=3 pour un rond creux... ( facultatif )

*caractéristiques de la section* : aire, moments quadratiques...

◆ **section paramétrée** : la section droite est définie par ses dimensions.

\* Entrer les dimensions de la section : hauteur...

◆ **section variable** : la section droite est définie par ses dimensions à l'origine et à l'extrémité.

\* Entrer les dimensions de la section à l'origine et à l'extrémité.

◆ **bibliothèque de profilés** : les caractéristiques sont lues dans un fichier de profilés.

\* Désigner le type de section : IPN, rond creux... (fichier profils.bib).

\* Désigner une section dans la table.

◆ **fichier IGES** : la section droite est définie par sa géométrie ( segment(s), cercle(s), arc(s) ).

\* Entrer le nom du fichier ( sans extension [ .IGS ] ).

◆ **fichier .GEO** : la section droite est définie par sa géométrie ( segment(s), cercle(s), arc(s) ). Elle a été modélisée avec le module RDM - Dessin.

\* Entrer le nom du fichier ( sans extension [ .GEO ] ).

## Afficher les attributs d'une poutre

- Désigner une poutre à l'aide du bouton droit de la souris.

## Activer / Désactiver la prise en compte de l'effort tranchant

- Pointer **Cisaillement négligé** dans le menu **Modéliser**.

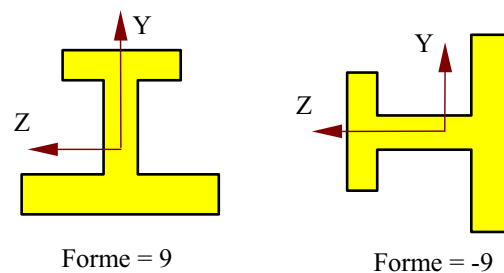
## Modifier les attributs d'un groupe de section droite

- Pointer sur le bouton **Modifier** du menu **Sections droites**.
- Désigner éventuellement une poutre du groupe ( s'il existe plusieurs groupes ).
- Entrer les nouveaux attributs.

## Echanger les axes Y et Z

- Pointer sur le bouton **Echanger Y et Z** du menu **Sections droites**.
- Désigner éventuellement une poutre du groupe ( s'il existe plusieurs groupes ).

La géométrie de la section est tournée d'un angle égal à  $+90^\circ$  si l'identificateur de la forme de la section est positif et d'un angle égal à  $-90^\circ$  si l'identificateur est négatif.



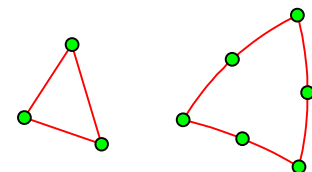
## Calculer les caractéristiques d'un groupe de section droite

Cette commande permet le calcul des caractéristiques liées au cisaillement : constante de torsion de Saint Venant, coefficients d'aire cisillée...

*Remarque* : si la section est un profilé de la bibliothèque, il est inutile d'utiliser cette commande.

- Activer le menu **Calculer section droite** du menu **Modéliser**.
- Désigner éventuellement une poutre du groupe ( s'il existe plusieurs groupes ).
- Entrer les paramètres du maillage de la section puis lancer le calcul. Si le calcul s'est effectué correctement, les caractéristiques de la sections sont mises à jour. Les paramètres du maillage sont :

- le **type d'élément** à générer : triangle à 3 ou 6 noeuds.
- **nombre d'éléments** à générer.



- Editer éventuellement les caractéristiques ( commande **Caractéristiques** du menu **Fichier** ).

## Bibliothèque de profilés

Les données relatives à un profilé sont lues dans un fichier texte dont l'extension est **.PRO**

La partie utile du fichier est comprise entre les **mots clés \$DEBUT** et **\$FIN** :

### **\$DEBUT DU FICHIER**

**\$VERSION** : version du fichier

**\$NOM DU PROFIL** ( facultatif )

**\$FORME** : identificateur de la forme ( voir dimensions des sections droites )

**\$DIMENSIONS** : nombre de dimensions qui définissent la géométrie de la section

**\$ATTRIBUTS** ou **\$CARACTERISTIQUES** : liste des caractéristiques à lire pour chaque section

les caractéristiques à lire sont désignées par un **mot clé** :

<b>PERIMETRE</b>	périmètre extérieur ( cm )
<b>AIRE</b>	aire ( cm <sup>2</sup> )
<b>TORSION</b>	constante de torsion de Saint-Venant ( cm <sup>4</sup> )
<b>IYY</b>	moment quadratique par rapport à l'axe Y ( cm <sup>4</sup> )
<b>IZZ</b>	moment quadratique par rapport à l'axe Z ( cm <sup>4</sup> )
<b>YSUPERIEUR</b>	( cm )
<b>YINFERIEUR</b>	( cm )
<b>ZSUPERIEUR</b>	( cm )
<b>ZINFERIEUR</b>	( cm )
<b>ALPHA</b>	orientation angulaire : [ voir : logos 13, 14 et 106 ] ( radians )
<b>WPY</b>	module plastique par rapport à l'axe Y ( cm <sup>3</sup> )
<b>WPZ</b>	module plastique par rapport à l'axe Z ( cm <sup>3</sup> )
<b>YCISAILLEMENT</b>	( cm )
<b>ZCISAILLEMENT</b>	( cm )
<b>IWW</b>	constante de gauchissement ( cm <sup>6</sup> )
<b>KYY</b>	coefficient d'aire cisailée suivant Y
<b>KZZ</b>	coefficient d'aire cisailée suivant Z
<b>BTY</b>	BETA Y ( cm <sup>5</sup> )
<b>BTZ</b>	BETA Z ( cm <sup>5</sup> )
<b>BTW</b>	BETA W ( cm <sup>6</sup> )
<b>///</b>	fin de la liste des caractéristiques

**Remarque** : un fichier de profils peut contenir plusieurs tables de caractéristiques. Chacune de ces tables correspond à une ligne de données.

### **\$SECTION** :

**Ligne 1** : Dimensions et désignation de la section. La désignation de la section est placée en fin de ligne et précédée du caractère " \* " .

**Ligne 2 et 3** : Caractéristiques de la section. Le contenu de chaque ligne est défini par les rubriques **caractéristiques** du fichier.

Les lignes qui suivent contiennent des informations sur la modélisation ( maillage ) et le calcul ( écart avec des solutions de référence )

**Remarque** : la table des sections termine toujours le fichier.

## SFIN DU FICHIER

### Exemple : IPE.PRO

```

RDM - Ossatures [ Version 6 ]

Yves DEBARD - Institut Universitaire de Technologie du Mans

Date : 26 Septembre 1997

$debut du fichier
$version
1
$nom
IPE
$forme
102
$dimensions [ mm ]
5
$attributs
perimètre extérieur [ cm ]
aire [ cm2 ]
torsion Saint Venant [ cm4 ]
iyy [ cm4 ]
izz [ cm4 ]
y supérieur [ cm ]
y inférieur [ cm ]
z supérieur [ cm ]
z inférieur [ cm ]
alpha [ rad ]
///
$attributs
wpz module plastique par rapport à z [ cm3 ]
kyy coefficient d'aire cisailée sur y
kzz coefficient d'aire cisailée sur z
iww constante de gauchissement [ cm6 ]
btz betaz [ cm5 ]
btw betaw [ cm6 ]
y cisaillement [ cm ]
z cisaillement [ cm ]
///
$section 1
80.000 46.000 3.800 5.200 5.000 *80
32.7816 7.6434 0.67268 8.4890 80.1377 4.0000 -4.0000 2.3000 -2.3000 0.0
5.8176 23.2170 0.38038 0.57710 115.1426 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
Maillage : 2176 Noeuds 985 Eléments
DIY = -0.106376 % - DIZ = -0.0470057 %
$section 2
100.000 55.000 4.100 5.700 7.000 *100
39.9782 10.3232 1.1532 15.9187 171.0121 5.0000 -5.0000 2.7500 -2.7500 0.0
9.1456 39.4068 0.38532 0.57209 342.1158 0.0 0.0 0.0 0.0 0.0
Maillage : 2561 Noeuds 1172 Eléments
DIY = -0.0545410 % - DIZ = -0.00709262 %

...

$fin du fichier

```

La liste des fichiers de profilés disponibles est contenue dans le fichier : **PROFILES.BIB** :

**\$debut du fichier**

```

$Poutrelles IPN // contenu du fichier
ipn 101 // nom du fichier (sans extension) + forme de la section
$Poutrelles IPE
ipe 102
$Poutrelles IPE-R
ipe-r 102
$Poutrelles IPE-A
ipe-a 102
$Poutrelles IPE-O
ipe-o 102
$Poutrelles HEA
hea 102
$Poutrelles HEA-A
hea-a 102
$Poutrelles HEB
heb 102
$Poutrelles HEM
hem 102
$Poutrelles UAP
uap 104
$Poutrelles UAP-A
uap-a 104
$Poutrelles UPN
upn 103
$Poutrelles UPN-A
upn-a 103
$Demi poutrelles IPE
demi_ipe 108
$Demi poutrelles IPE-R
demi_ipe-r 108
$Demi poutrelles IPE-A
demi_ipe-a 108
$Demi poutrelles IPE-O
demi_ipe-o 108
$Demi poutrelles HEA
demi_hea 108
$Demi poutrelles HEA-A
demi_hea-a 108
$Demi poutrelles HEB
demi_heb 108
$Demi poutrelles HEM
demi_hem 108
$Carrés creux
carres_creux 109
$Rectangles creux
rect_creux 110
$Ronds creux
ronds_creux 2
$Cornières à ailes égales
corega 105
$Cornières à ailes inégales
corin 106
$Tés à ailes égales
teega 107
$Petits fers U
fers_u 103
$fin du fichier

```

## Créer / modifier un fichier de profilés

- Activer le menu **Bibliothèque de profilés** du menu **Outils** ( **menu initial** ).
- Sélectionner la commande **Nouveau / Ouvrir** du menu **Fichier**.
- Editer le fichier.

Les données relatives à un fichier de profilés sont lues dans un fichier texte dont l'extension est **.SEC**.

La partie utile du fichier est comprise entre les **mots clés \$DEBUT** et **\$FIN** :

### **\$DEBUT DU FICHIER**

**\$NOM DU PROFIL** ( facultatif ).

**\$REFERENCE** ( facultatif ).

**\$FORME** identificateur de la forme.

**\$MAILLAGE** nombre d'éléments du maillage ( facultatif ).

**\$CONTROLE SUR IY et IZ** ( facultatif )

pour chaque section, les dimensions seront suivies des caractéristiques  $I_Y$  et  $I_Z$  fournies par la référence.

### **\$DIMENSIONS DES PROFILS**

Remarque : La **désignation** ( facultative ) d'un profil est placée en fin de ligne et précédée du caractère " \* ".

### **\$FIN DU FICHIER**

*Exemple* : IPE.SEC

Yves DEBARD - 25 Septembre 1997

**\$debut du fichier**

**\$nom du profil**

IPE

**\$reference**

OTUA - Produits sidérurgiques, caractéristiques dimensionnelles, page 24

**\$forme**

102

**\$maillage**

1200

**\$controle sur IY et IZ**

**\$dimensions**

80	46	3.8	5.2	5	8.48	80.1
----	----	-----	-----	---	------	------

100	55	4.1	5.7	7	15.91	171
-----	----	-----	-----	---	-------	-----

...

**\$fin du fichier**

- Enregistrer le fichier.
- Sélectionner la commande **Calculer**.
- S'il s'agit d'une création, éditer le fichier Profiles.bib ( case menu **Profiles.bib** du menu **Fichier** ) pour ajouter le fichier .PRO à la bibliothèque.

## Dimensions des sections droites

Par défaut, l'axe Y est vertical et dirigé de bas en haut ; l'axe Z est dirigé de la droite vers la gauche.

Les dimensions d'une section droite sont utilisées pour :

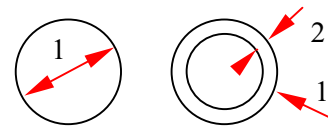
- le calcul des caractéristiques de la section : section paramétrée constante ou variable, géométrie importée, bibliothèque ( menu **Calculer section droite** ).
- l'évaluation des contraintes après maillage de la section ( menu **Contraintes sur section droite** ).

### Rond plein [ Forme 1 ]

### Rond creux [ Forme 2 ]

1 - diamètre extérieur [  $d$  ]

2 - épaisseur [  $t$  ]

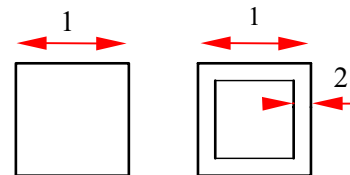


### Carré plein [ Forme 3 ]

### Carré creux d'épaisseur constante [ Forme 4 ]

1 - longueur du côté [  $h$  ]

2 - épaisseur [  $t$  ]



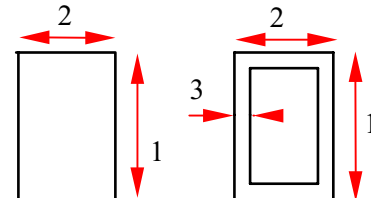
### Rectangle plein [ Forme 5 ]

### Rectangle creux d'épaisseur constante [ Forme 7 ]

1 - longueur du côté parallèle à Y [  $h_Y$  ]

2 - longueur du côté parallèle à Z [  $h_Z$  ]

3 - épaisseur [  $t$  ]



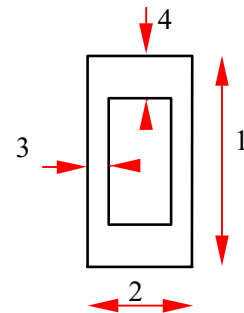
### Caisson [ Forme 6 ]

1 - longueur du côté parallèle à Y [  $h_Y$  ]

2 - longueur du côté parallèle à Z [  $h_Z$  ]

3 - épaisseur du côté parallèle à Y [  $t_Y$  ]

4 - épaisseur du côté parallèle à Z [  $t_Z$  ]



### Caisson [ Forme 46 ]

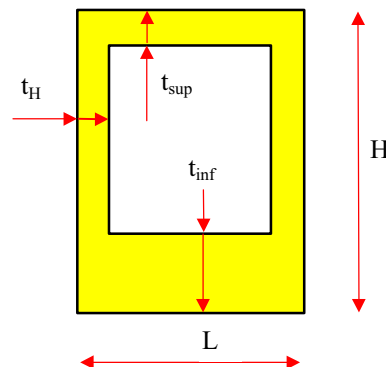
1 - Hauteur [  $H$  ]

2 - Largeur [  $L$  ]

3 - Epaisseur [  $t_H$  ]

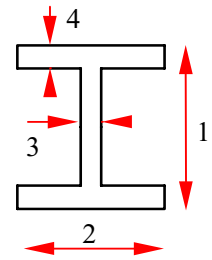
4 - Epaisseur [  $t_{sup}$  ]

5 - Epaisseur [  $t_{inf}$  ]

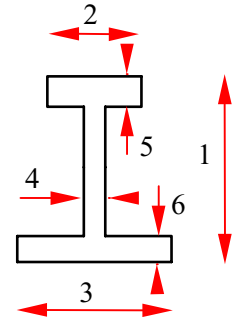


**I à semelles égales [ Forme 8 ]**

- 1 - hauteur du I [  $h$  ]
- 2 - longueur des semelles [  $b$  ]
- 3 - épaisseur de l'âme [  $t_w$  ]
- 4 - épaisseur des semelles [  $t_f$  ]

**I à semelles inégales [ Forme 9 ]**

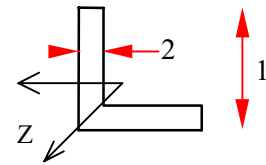
- 1 - hauteur du I [  $h$  ]
- 2 - longueur de la semelle supérieure [  $b_{fs}$  ]
- 3 - longueur de la semelle inférieure [  $b_{fi}$  ]
- 4 - épaisseur de l'âme [  $t_w$  ]
- 5 - épaisseur de la semelle supérieure [  $t_{fs}$  ]
- 6 - épaisseur de la semelle inférieure [  $t_{fi}$  ]



la semelle supérieure est située à  $Y > 0$  ( Forme 9 ) ou  $Z > 0$  ( Forme -9 ).

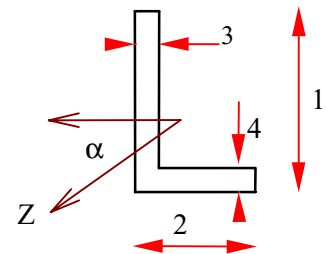
**Cornière à ailes égales [ Forme 10 ]**

- 1 - longueur des ailes
- 2 - épaisseur des ailes

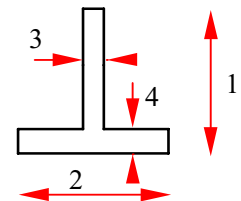
**Cornière à ailes inégales [ Forme 13 ]**

- 1 - longueur de la grande aile
- 2 - longueur de la petite aile
- 3 - épaisseur de la grande aile
- 4 - épaisseur de la petite aile

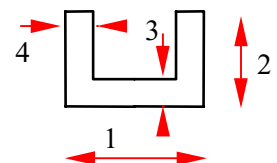
*remarque* : l'angle  $\alpha$  est calculé par le logiciel.

**Té à ailes égales [ Forme 11 ]**

- 1 - hauteur
- 2 - longueur de la semelle
- 3 - épaisseur de l'âme
- 4 - épaisseur des ailes

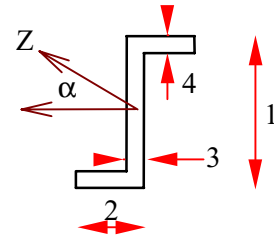
**U à ailes égales [ Forme 12 ]**

- 1 - longueur [  $h$  ]
- 2 - hauteur [  $b$  ]
- 3 - épaisseur de l'âme [  $t_w$  ]
- 4 - épaisseur des ailes [  $t_f$  ]



**Z à ailes égales [ Forme 14 ]**

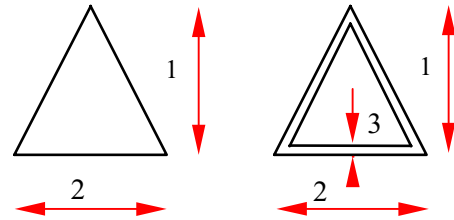
- 1 - hauteur
- 2 - longueur des ailes
- 3 - épaisseur de l'âme
- 4 - épaisseur des ailes



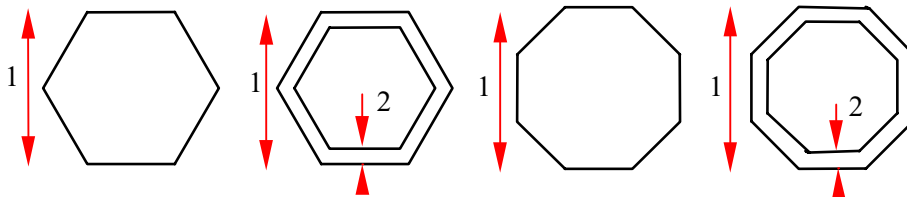
remarque : l'angle  $\alpha$  est calculé par le logiciel.

**Triangle isocèle plein [ Forme 17 ]**  
**Triangle isocèle creux [ Forme 18 ]**

- 1 - hauteur [ h ]
- 2 - base [ b ]
- 3 - épaisseur [ t ]



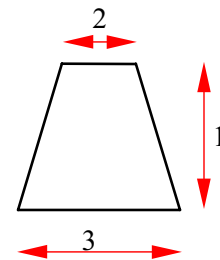
**Hexagone plein [ Forme 15 ]**  
**Hexagone creux [ Forme 16 ]**  
**Octogone plein [ Forme 34 ]**  
**Octogone creux [ Forme 21 ]**



- 1 - côté sur plat
- 2 - épaisseur

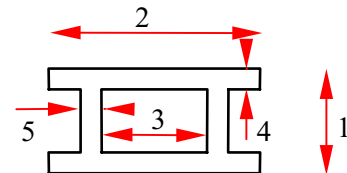
**[ Forme 19 ]**

3 dimensions



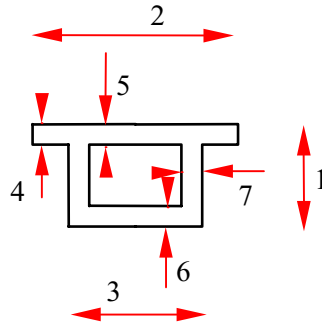
**Double I symétrique [ Forme 22 ]**

- 1 - hauteur
- 2 - longueur
- 3 - largeur du trou intérieur
- 4 - épaisseur des semelles
- 5 - épaisseur des âmes



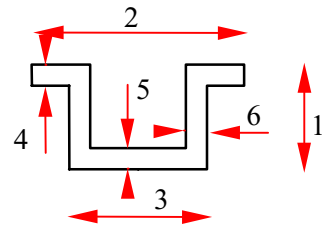
**Caisson [ Forme 23 ]**

7 dimensions



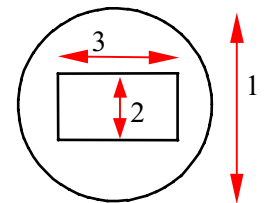
**[ Forme 26 ]**

6 dimensions



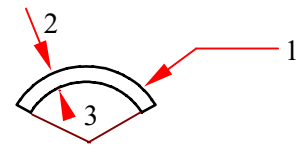
**Arbre circulaire avec trou rectangulaire [ Forme 35 ]**

- 1 - diamètre de l'arbre
- 2 - longueur du côté parallèle à Y
- 3 - longueur du côté parallèle à Z



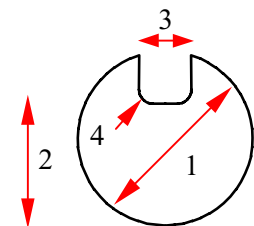
**Arc de cercle [ Forme 32 ]**

- 1 - rayon de l'arc extérieur
- 2 - épaisseur de l'arc
- 3 - angle de l'arc ( en degré )



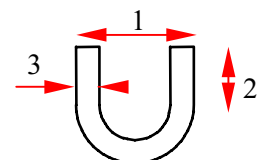
**Arbre circulaire avec rainure de clavette [ Forme 33 ]**

- 1 - diamètre de l'arbre
- 2 - hauteur
- 3 - largeur de la rainure
- 4 - rayon du raccordement



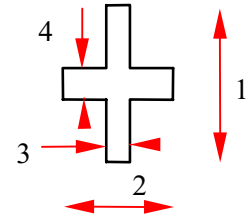
**Fer à cheval [ Forme 36 ]**

3 dimensions



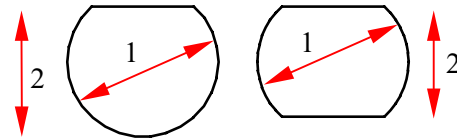
**Croix à ailes inégales [ Forme 37 ]**

- 1 - longueur du côté parallèle à Y [  $h_Y$  ]
- 2 - longueur du côté parallèle à Z [  $h_Z$  ]
- 3 - épaisseur du côté parallèle à Y [  $t_Y$  ]
- 4 - épaisseur du côté parallèle à Z [  $t_Z$  ]



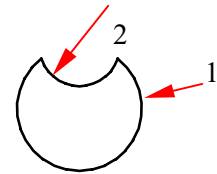
**Arbre circulaire avec plat(s) [ Forme 38, Forme 39 ]**

- 1 - diamètre de l'arbre
- 2 - hauteur



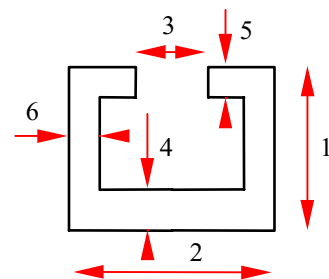
**Arbre circulaire avec rainure circulaire [ Forme 40 ]**

- 1 - diamètre de l'arbre
- 2 - diamètre de la rainure



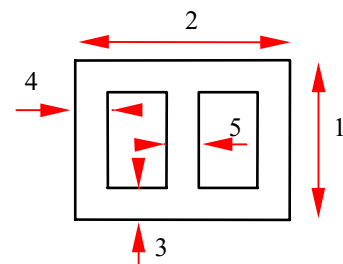
**[ Forme 41 ]**

6 dimensions



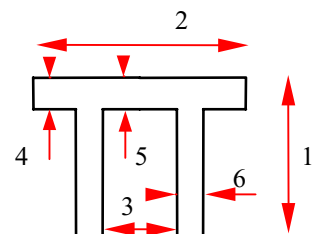
**Bi-caisson [ Forme 42 ]**

5 dimensions



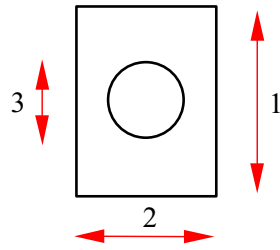
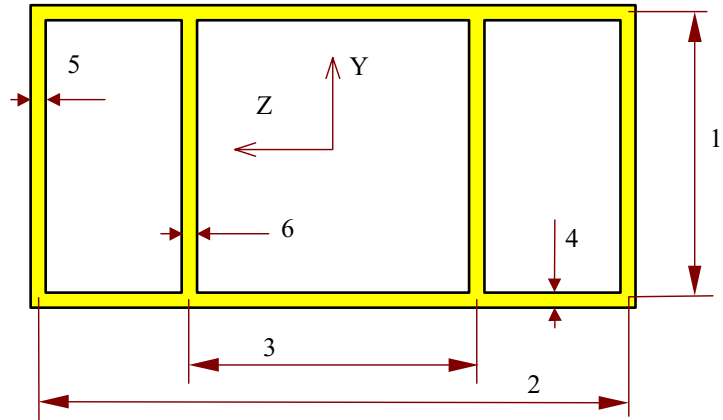
**[ Forme 43 ]**

6 dimensions



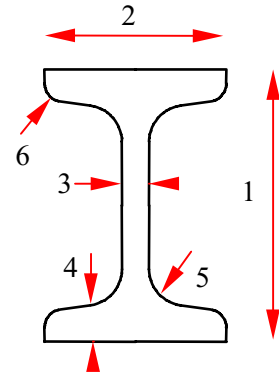
**[ Forme 44 ]**

3 dimensions

**[ Forme 45 ] 6 dimensions**

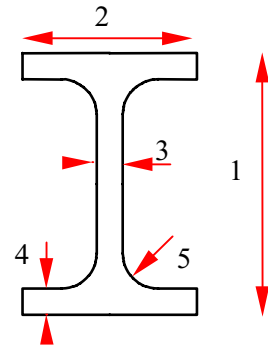
**Poutrelle IPN [ Forme 101 ]**

- 1 - hauteur [ h ]
- 2 - largeur [ b ]
- 3 - épaisseur de l'âme [  $t_w$  ]
- 4 - épaisseur de la semelle à  $b/4$  [  $t_f$  ]
- 5 - rayon du raccordement [ r ]
- 6 - rayon du raccordement [  $r_1$  ]



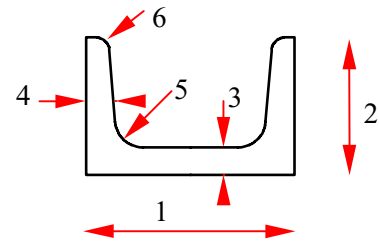
**Poutrelle HEA, HEB... [ Forme 102 ]**

- 1 - hauteur [ h ]
- 2 - largeur [ b ]
- 3 - épaisseur de l'âme [  $t_w$  ]
- 4 - épaisseur de la semelle [  $t_f$  ]
- 5 - rayon du raccordement [ r ]



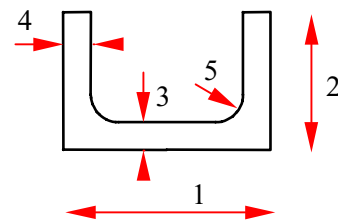
**Poutrelle UPN [ Forme 103 ]**

- 1 - hauteur [ h ]
- 2 - largeur [ b ]
- 3 - épaisseur de l'âme [  $t_w$  ]
- 4 - épaisseur de la semelle à  $b/2$  [  $t_f$  ]
- 5 - rayon du raccordement [ r ]
- 6 - rayon du raccordement [  $r_1$  ]



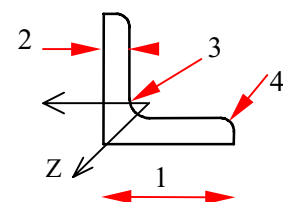
**Poutrelle UAP [ Forme 104 ]**

- 1 - hauteur [ h ]
- 2 - largeur [ b ]
- 3 - épaisseur de l'âme [  $t_w$  ]
- 4 - épaisseur de la semelle [  $t_f$  ]
- 5 - rayon du raccordement [ r ]



**Cornière à ailes égales et à coins arrondis [ Forme 105 ]**

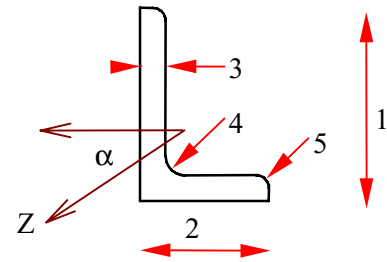
- 1 - longueur des ailes [ a ]
- 2 - épaisseur des ailes [ e ]
- 3 - rayon du raccordement [ r ]
- 4 - rayon du raccordement [  $r_1$  ]



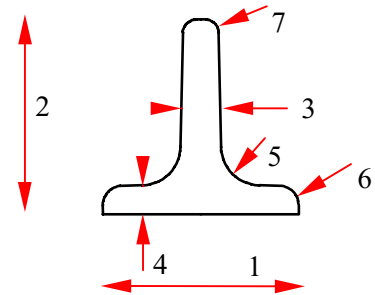
**Cornière à ailes inégales et à coins arrondis [ Forme 106 ]**

- 1 - longueur de la grande aile [  $a$  ]
- 2 - longueur de la petite aile [  $b$  ]
- 3 - épaisseur des ailes [  $e$  ]
- 4 - rayon du raccordement [  $r$  ]
- 5 - rayon du raccordement [  $r_1$  ]

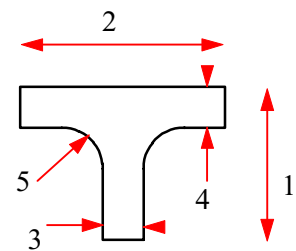
remarque : l'angle  $\alpha$  est calculé par le logiciel.

**Té à ailes égales et à coins arrondis [ Forme 107 ]**

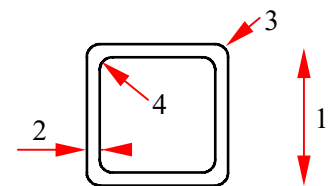
- 1 - largeur [  $b$  ]
- 2 - hauteur [  $h$  ]
- 3 - épaisseur de l'âme à  $h/2$  [  $e$  ]
- 4 - épaisseur des ailes à  $b/4$  [  $e'$  ]
- 5 - rayon de raccordement [  $r_1$  ]
- 6 - rayon du raccordement [  $r_2$  ]
- 7 - rayon du raccordement [  $r_3$  ]

**Demi poutrelle HEA, HEB... [ Forme 108 ]**

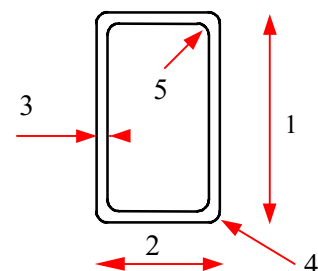
- 1 - hauteur [  $h$  ]
- 2 - largeur [  $b$  ]
- 3 - épaisseur de l'âme [  $t_w$  ]
- 4 - épaisseur de la semelle [  $t_f$  ]
- 5 - rayon du raccordement [  $r$  ]

**Carré creux et à coins arrondis [ Forme 109 ]**

- 1 - côté du carré
- 2 - épaisseur
- 3 - rayon du raccordement extérieur
- 4 - rayon du raccordement intérieur

**Rectangle creux et à coins arrondis [ Forme 110 ]**

- 1 - hauteur
- 2 - longueur
- 3 - épaisseur
- 4 - rayon du raccordement extérieur
- 5 - rayon du raccordement intérieur



## Matériaux

Par défaut, l'ossature est en acier.

- Activer le menu **Matériau(x)** du menu **Modéliser**.

Les poutres sont groupées par matériau. A chaque groupe est associé une couleur.

### Groupes de matériaux

#### Changer la couleur courante

- Désigner une couleur dans la palette des couleurs.

#### Changer la couleur d'une poutre

Cette commande permet d'attribuer la couleur courante à une poutre.

- Désigner une poutre.

#### Changer la couleur d'un groupe de poutres

Cette commande permet d'attribuer la couleur courante à un groupe de poutres.

- Désigner une poutre du groupe.

#### Changer la couleur des poutres contenues dans une fenêtre graphique

Cette commande permet d'attribuer la couleur courante aux poutres contenues dans une fenêtre.

- Désigner les deux extrémités de l'une des diagonales de la fenêtre.

### Modifier les caractéristiques d'un matériau

- Sélectionner la commande **Modifier** dans le menu **Matériau(x)**.

- Désigner une poutre du groupe.

- Entrer les caractéristiques du matériau :

- \* nom.
- \* module de Young ( en MPa ).
- \* coefficient de Poisson.
- \* masse volumique ( en kg/m<sup>3</sup> ).
- \* coefficient de dilatation ( en degré<sup>-1</sup> ).

*Remarque* : le module d'élasticité transversal du matériau est égal à  $\frac{E}{2(1+\nu)}$  où E et  $\nu$  sont respectivement le module d'Young et le coefficient de Poisson.

## Lire un matériau dans la bibliothèque

- Sélectionner la commande **Bibliothèque** dans le menu **Matériau(x)** .
- Désigner une poutre du groupe.
- Désigner un matériau.

La bibliothèque de matériaux est contenue dans le fichier texte : **materiau.dat** :

### \$DEBUT DU FICHIER

#### \$REFERENCE

S. LAROZE, J.J. BARRAU, *Mécanique des structures*, tome 1, page 69, Eyrolles/Masson 1988

**\$ATTRIBUTS** \* liste des attributs à lire pour chaque matériau

MODULE - module de Young en MPa  
 POISSON - coefficient de Poisson  
 MASSE VOLUMIQUE - masse volumique en kg/dm3  
 DILATATION - coefficient de dilatation ( x 10<sup>6</sup> ) en K<sup>-1</sup>  
 CONDUCTIVITE - conductivité thermique en W/(m.K)  
 CAPACITE - capacité calorifique volumique en J/(m<sup>3</sup>.K)  
 LIMITE ELASTIQUE - limite élastique en MPa  
 /// - fin de la liste des attributs

**\$MATERIAUX** \* liste des matériaux

210000	0.285	7850	12.5	71.1	3.65	200	*Fer
220000	0.285	7850	13	50	3.58	1450	*Acier 45 SCD 6
203000	0.29	7850	15	35	3.74	200	*Acier Inox
100000	0.29	7100	11	58	3.83	200	*Fonte
110000	0.33	4500	8.5	16.7	2.35	260	*Titane
105000	0.34	4400	8	7.2	2.30	870	*TA 6 V
67500	0.34	2700	24	209	2.39	30	*Aluminium
74000	0.33	2800	22.6	159	2.69	240	*AU 4 G
73000	0.34	2750	22	159	2.64	400	*AU 2 GN
72000	0.35	2800	23.5	135	2.7	210	*Zicral AZ8GU
100000	0.34	8930	16.5	393	3.43	40	*Cuivre
92000	0.33	8400	20.8	121	3.16	180	*Laiton UZ40
106000	0.35	8800	17.5	47	3.10	126	*Bronze
130000	0.34	8250	17	47	3.45	175	*Bronze Béryllium
294000	0.05	1850	12.3	160	1.88	60	*Béryllium
45000	0.34	1740	27	160	1.88	60	*Magnésium
16700	0.44	11350	29.1	33	1.42	1.4	*Plomb
2900	0.4	1800	81	0.18	1.62	80	*Plexiglas
6000	0.25	2600	6	0.98	2.18	50	*Verre

**\$FIN DU FICHIER**

**Remarque** : le nom du matériau doit être placé en fin de ligne et précédé du caractère « \* ».

## Changement de repère nodal

Il est possible de définir un changement de repère nodal. Cette opération est nécessaire pour introduire un **appui incliné** ( déplacement nul, déplacement imposé non nul ou appui élastique ).

**Ossature spatiale** : le repère local est défini par la donnée de deux directions  $\vec{1}$  et  $\vec{2}$ . Chacune de ces directions est définie par deux nœuds ou par ses paramètres directeurs. Le repère local est alors construit de la manière suivante :

- l'axe local x est porté par la direction  $\vec{1}$ .
- l'axe local z est égal à :  $\vec{z} = \vec{1} \wedge \vec{2}$  ,  $\vec{z} = \frac{\vec{z}}{\|\vec{z}\|}$
- le repère local { x y z } est orthonormé et direct.

**Ossature plane ou ossature plancher** : le repère local est défini par la donnée d'une direction  $\vec{1}$ . Cette direction est définie par deux nœuds, ses paramètres directeurs ou sa position angulaire par rapport à l'axe global x. Le repère local est alors construit de la manière suivante :

- l'axe local x est porté par la direction  $\vec{1}$ .
- l'axe local z est l'axe global z.
- le repère local { x y z } est orthonormé et direct.

## Liaisons extérieures - symétries

- Activer le menu **Liaisons extérieures/Symétries** du menu **Modéliser**.

Soit  $(u, v, w, \theta_x, \theta_y, \theta_z)$  les composantes du vecteur déplacement d'un noeud.

Les **types de liaisons** possibles sont :

**Degré de liberté supprimé** :  $u = 0$  ,  $v = 0$  ,  $w = 0$  ,  $\theta_x = 0$  ,  $\theta_y = 0$  ou  $\theta_z = 0$

**Déplacement imposé** :  $u = d$  ,  $v = d$  ou  $w = d$  ,  $\theta_x = \varphi$  ,  $\theta_y = \varphi$  ou  $\theta_z = \varphi$

**Appui élastique** :  $F_x = -k u$  ,  $F_y = -k v$  ,  $F_z = -k w$  ,  $M_x = -k \theta_x$  ,  $M_y = -k \theta_y$  ou  $M_z = -k \theta_z$

où  $(F_x, F_y, F_z, M_x, M_y, M_z)$  est la force extérieure subie par le noeud lié.

**Rotule** :  $u = v = w = 0$

**Encastrement** :  $u = v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$

**Appui incliné** : définir un changement de repère au noeud concerné, puis définir l'appui dans ce repère.

Si le problème présente une **symétrie** par rapport à un plan, il suffit de modéliser la moitié de la structure.

- Désigner le type de plan.

Les plans de symétrie possibles sont :

\* **Plan parallèle au plan  $\{ x z \}$ .**

Tous les noeuds situés dans ce plan sont tels que :  $u = 0$  ,  $\theta_x = 0$  ,  $\theta_z = 0$ .

\* **Plan parallèle au plan  $\{ x y \}$ .**

Tous les noeuds situés dans ce plan sont tels que :  $w = 0$  ,  $\theta_x = 0$  ,  $\theta_y = 0$ .

\* **Plan parallèle au plan  $\{ y z \}$ .**

Tous les noeuds situés dans ce plan sont tels que :  $u = 0$  ,  $\theta_y = 0$  ,  $\theta_z = 0$ .

- Désigner un noeud du plan.

## Liaisons intérieures : relaxations

Les liaisons intérieures définissent les efforts transmis par une poutre aux autres entités de la structure. Ce sont des attributs des poutres.

### Définitions

Soit  $\{ X Y Z \}$  le repère local lié à une poutre. La force intérieure dans une section droite est de la forme :

$$[ F_X F_Y F_Z M_X M_Y M_Z ]$$

Les liaisons entre poutres prises en compte sont du type :

- **Rigide** : l'effort transmis est de la forme :  $[ F_X, F_Y, F_Z, M_X, M_Y, M_Z ]$ .
- **Pivot d'axe Y** : l'effort transmis est de la forme :  $[ F_X, F_Y, F_Z, M_X, M_Y = 0, M_Z ]$ .
- **Pivot d'axe Z** : l'effort transmis est de la forme :  $[ F_X, F_Y, F_Z, M_X, M_Y, M_Z = 0 ]$ .
- **Rotule** : l'effort transmis est de la forme :  $[ F_X, F_Y, F_Z, M_X = 0, M_Y = 0, M_Z = 0 ]$ .

### Définir une liaison intérieure

**Remarque** : par défaut, les poutres sont encastées les unes avec les autres. Les liaisons intérieures sont alors du type rigide.

- Activer le menu **Relaxations** du menu **Modéliser**.
- Désigner le type de poutre :
  - \* rigide - rigide
  - \* rigide - rotule
  - \* rotule - rotule
  - \* rigide - pivot d'axe Y
  - \* rigide - pivot d'axe Z
  - \* pivot d'axe Z - pivot d'axe Z
  - \* pivot d'axe Y - pivot d'axe Y
- Désigner une poutre.
- Désigner éventuellement le noeud "Rotule" ou le noeud "Pivot".

## Définition des cas de charges

Le logiciel permet la définition de plusieurs cas de charges (sans compter les combinaisons).

*Remarque* : les déplacements imposés non nuls sont définis avec les liaisons extérieures.

### Ajouter un cas de charges

- Sélectionner la commande **Ajouter un cas de charges** ( menu **Modéliser** ).
- Désigner le type de charge.

### Détruire un cas de charges

- Désigner le cas de charges ( menu **Modéliser** ).
- Détruire toutes les charges puis sélectionner la commande **Compacter les données** du menu **Modéliser**.

### Ajouter une charge à un cas de charge

- Désigner le cas de charges ( menu **Modéliser** ).
- Désigner le **type de charge**.

Les sollicitations disponibles sont :

#### ◆ Charge nodale ( force ou couple )

- Entrer les composantes de la charge dans le repère global.
- Désigner un noeud.

#### ◆ Charge ponctuelle en travée ( force ou couple )

- Désigner une poutre.
- Entrer :
  - \* le repère de référence ( local / global ).
  - \* la distance du point d'application de la charge à l'origine de la poutre.
  - \* les composantes de la charge.

◆ **Force uniformément répartie le long d'une poutre**

- Entrer :

- \* le repère de référence ( local / global ).
- \* les composantes de la force par unité de longueur.

- Désigner une poutre.

◆ **Force répartie linéairement le long d'une poutre**

- Désigner une poutre.

- Entrer :

- \* le repère de référence ( local / global ).
- \* les composantes de la force par unité de longueur.

◆ **Force répartie linéairement sur une partie d'une poutre**

- Désigner une poutre.

- Entrer :

- \* le repère de référence ( local / global ).
- \* la distance de l'origine et de l'extrémité de la charge à l'origine de la poutre.
- \* les composantes de la force par unité de longueur.

◆ **Force verticale uniformément répartie le long d'une poutre**

- Entrer la composante verticale de la force par unité de longueur projetée.

- Désigner une poutre.

◆ **Couple réparti uniformément sur une partie d'une poutre**

- Désigner une poutre.

- Entrer :

- \* le repère de référence ( local / global ).
- \* la distance de l'origine et de l'extrémité de la charge à l'origine de la poutre.
- \* les composantes du couple par unité de longueur.

◆ **Couple réparti linéairement sur une partie d'une poutre**

- Désigner une poutre.

- Entrer :

- \* le repère de référence ( local / global ).
- \* la distance de l'origine et de l'extrémité de la charge à l'origine de la poutre.
- \* les composantes du couple par unité de longueur.

- ◆ **Poids propre**
- ◆ **Variation de température ( structure )**
  - Entrer la variation de température.
- ◆ **Variation de température ( poutre )**
  - Entrer la variation de température.
  - Désigner une poutre.

### **Créer / modifier une combinaison de cas de charges**

- Sélectionner la commande **Combinaisons** du menu **Modéliser**.
- Désigner une combinaison ( modification ).
- Entrer les numéros des cas de charge et les coefficients correspondants.

*Exemples :*

combinaison 1 : ( cas 1 \* 1.33 ) + ( cas 3 \* 1 )

combinaison 2 : ( cas 1 \* 1.33 ) + ( cas 3 \* - 1 )

...

## **Ajouter / Détruire une masse**

- Sélectionner la commande **Masses** du menu **Modéliser**.

Le logiciel prend en compte :

- les **masses ponctuelles et nodales** ( unité kg ).
- les **masses uniformément réparties** le long des barres ( unité : kg par unité de longueur ).

*Remarque :* la **masse propre** de la structure est toujours prise en compte.

## Fichier de sauvegarde

Les données sont enregistrées dans un fichier texte dont l'extension est **.POR**.

### Sauvegarder les données

- Sélectionner la commande **Enregistrer**.
- Entrer le nom du fichier.

*Remarque* : le programme effectue une sauvegarde de sécurité dans le fichier \$\$\$**.POR**.

### Rappeler une ossature sauvegardée sur le disque

- Sélectionner la commande **Ouvrir**.
- Entrer le nom du fichier.

### Contenu et format du fichier de sauvegarde ( version 6 )

<b>Les unités utilisées sont le mètre, le kilogramme, la seconde et le radian ( SI ).</b>
---

La partie utile du fichier est comprise entre les **mots clés \$DEBUT DU FICHIER** et **\$FIN DU FICHIER**

**\$DEBUT DU FICHIER**

**\$VERSION**

numéro de la version du logiciel

**\$DATE**

date de création du fichier

**\$HEURE**

heure de création du fichier

**\$NOM**

nom du fichier

**\$OSSATURE**

type de l'ossature :

**PLANE**  
**SPATIALE**  
**PLANCHER**

**\$NOEUDS**

pour chaque noeud : numéro du noeud, coordonnées : x,y,z

la table est terminée le « noeud **0** ».

**\$POUTRES**

pour chaque poutre :

numéro de la poutre

type de la poutre :

**RIRI** ( rigide - rigide )  
**RORI** ( rotule - rigide )  
**RIRO** ( rigide - rotule )  
**PYRI** ( pivot d'axe Y - rigide )  
**RIPY** ( rigide - pivot d'axe Y )  
**RORO** ( rotule - rotule )  
**PYPY** ( pivot d'axe Y - pivot d'axe Y )  
**PZPZ** ( pivot d'axe Z - pivot d'axe Z )  
**NULL** ( nulle )

numéro du noeud origine

numéro du noeud extrémité

orientation angulaire ( composantes du vecteur unitaire porté par l'axe local R )

numéro du groupe de section

numéro du groupe de matériau

la table est terminée par la « poutre **0** ».

**\$MATERIAUX**

pour chaque groupe de matériau :

numéro du groupe

**NOM** : nom du matériau précédé du caractère « \* »

**MODULE** : module d'Young

**POISSON** : coefficient de Poisson

**MASSE\_VOLUMIQUE** : masse volumique

**DILATATION** : coefficient de dilatation

**LIMITE\_ELASTIQUE** : limite élastique

**///** : fin des attributs du matériau

la table se termine par le « groupe **0** »

**\$SECTIONS**

pour chaque groupe de section :

numéro du groupe

**TYPE** : type de la section

**QUELCONQUE**

**PARAMETREE**

**VARIABLE**

**BIBLIOTHEQUE**

**GEOMETRIE**

**NOM** : nom de la section précédé du caractère « \* »

**DESIGNATION** : désignation de la section précédé du caractère « \* »

**LOGO** : numéro du logo

**DIMENSIONS** : dimensions de la sections

nombre de dimensions

table des dimensions [1 ou 2 valeurs]

**GEOMETRIE** : ( si la section est définie par sa géométrie )

liste des entités de la géométrie :

**POINT** : y , z

**SEGMENT** : origine, extrémité

**ARC** : origine, extrémité, coordonnées du centre

**CERCLE** : origine, coordonnées du centre

**///** : fin de la géométrie

**AIRE** : aire de la section [1 ou 5 valeurs]

**TORSION** : constante de torsion de Saint Venant [1 ou 5 valeurs]

**IYY** : moment quadratique par rapport à Y [1 ou 5 valeurs]

**IZZ** : moment quadratique par rapport à Z [1 ou 5 valeurs]

**ALPHA** : position angulaire de l'axe Z [1 ou 5 valeurs]

**REPERE\_NATUREL** : position angulaire le l'axe R par rapport à l'axe Z

**IWW** : constante de gauchissement [1 ou 5 valeurs]

**KYY** : coefficient d'aire cisailée suivant Y [1 ou 5 valeurs]

**KZZ** : coefficient d'aire cisailée suivant Z [1 ou 5 valeurs]

**YCISAILLEMENT** : [1 ou 5 valeurs]

**ZCISAILLEMENT** : [1 ou 5 valeurs]

**BTY** :  $\beta_Y$  [1 ou 5 valeurs]

**BTZ** :  $\beta_Z$  [1 ou 5 valeurs]

**BTW** :  $\beta_W$  [1 ou 5 valeurs]

**WPY** : module plastique par rapport à Y [1 ou 5 valeurs]

**WPZ** : module plastique par rapport à Z [1 ou 5 valeurs]

**///** : fin des attributs de la section

la table se termine par le « groupe **0** »

**\$LIAISONS**

pour chaque liaison :

type et paramètres de la liaison, numéro du noeud lié :

**SUP** : déplacement nul suivant l'un des axes

degré de liberté [1..6] concerné

**IMP** : déplacement imposé non nul suivant l'un des axes

degré de liberté [1..6] concerné

valeur du déplacement imposé

**ELA** : appui élastique suivant l'un des axes  
degré de liberté [1..6] concerné  
raideur de l'appui  
**AIN** : appui simple incliné  
paramètres directeurs de l'axe qui porte la réaction d'appui ( px py pz )  
**RIN** : rotation nulle suivant un axe incliné  
paramètres directeurs de l'axe ( px py pz )  
**ROTULE** : rotule ( dx = dy = dz = 0 )  
**ENCASTREMENT** : encastrement ( tous les déplacements sont nuls )  
/// : fin de la table des liaisons

## SSYMETRIE

**XYS** : symétrie par rapport au plan  $z = A$   
**XZS** : symétrie par rapport au plan  $y = A$   
**YZS** : symétrie par rapport au plan  $x = A$   
/// : fin de la table des symétries

## SCAS DE CHARGES

numéro du cas de charge

table des charges :

**FNOD** : force nodale  
composantes dans le repère **global** : (  $F_x F_y F_z$  )  
numéro du noeud chargé  
**CNOD** : couple nodal  
composantes dans le repère **global** : (  $M_x M_y M_z$  )  
numéro du noeud chargé  
**FUNI / FUNL** : force uniformément répartie  
composantes dans le repère **global / local** : (  $q_x q_y q_z / q_x q_y q_z$  )  
numéro de la poutre chargée  
**FLIN / FLIL** : force linéairement répartie  
composantes dans le repère **global / local** : (  $q_{x0} q_{y0} q_{z0} q_{xe} q_{ye} q_{ze} / q_{x0} q_{y0} q_{z0} q_{xe} q_{ye} q_{ze}$  )  
numéro de la poutre chargée  
**FTRA / FTRL** : force en travée  
position de la charge par rapport à l'origine de la poutre  
composantes dans le repère **global / local** : (  $F_x F_y F_z / F_x F_y F_z$  )  
numéro de la poutre chargée  
**CTRA / CTRL** : couple en travée  
position de la charge par rapport à l'origine de la poutre  
composantes dans le repère **global / local** : (  $M_x M_y M_z / M_x M_y M_z$  )  
numéro de la poutre chargée  
**FPAR / FPAL** : force linéairement répartie sur une portion de la poutre  
positions de l'origine et de l'extrémité de la charge  
composantes dans le repère **global / local** : (  $q_{x0} q_{y0} q_{z0} q_{xe} q_{ye} q_{ze} / q_{x0} q_{y0} q_{z0} q_{xe} q_{ye} q_{ze}$  )  
numéro de la poutre chargée  
**FVER** : force verticale  
composante par unité de longueur projetée : (  $q$  )  
numéro de la poutre chargée  
**POIDS** : le poids propre est pris en compte  
**TEMP** : charge thermique  
variation de température  
**THPO** : variation de température sur une poutre  
variation de température , numéro de la poutre

//// : fin du cas charge

**SCISAILLEMENT TRANSVERSAL** : le cisaillement transversal est pris en compte

### **\$MASSES**

pour chaque masse :

**NODALE** : masse nodale

numéro du noeud, valeur de la masse

**UNIFORME** : masse uniformément répartie

numéro de la poutre, valeur de la masse linéique

//// : fin de la table des masses

### **\$MODES**

paramètres de l'analyse modale :

**NOMBRE** : nombre de modes propres demandés

**METHODE** : itération inverse / sous espace

**PRECISION** : précision du calcul

**ENERGIE** : les énergies élémentaires ( déformation et cinétique ) sont calculées

//// fin des paramètres

### **\$FIN DU FICHIER**

# Calculs et résultats

## Analyse statique

Les déplacements nodaux sont les solutions du système d'équations linéaires :

$$[K][U] = [F] \text{ où}$$

- [ K ] est la matrice de rigidité de la structure
- [ F ] le vecteur chargement
- [ U ] le vecteur déplacement

### Mode opératoire

- Sélectionner la commande **Analyse statique** du menu **Calculer**.

## Analyse dynamique : modes propres

Les modes propres de la structure sont les solutions du problème aux valeurs propres :

$$[K][U] = \omega^2 [M][U] \text{ où}$$

- [ K ] est la matrice de rigidité de la structure
- [ M ] la matrice masse de la structure
- $\omega$  une pulsation propre et [ U ] le vecteur propre associé

Le résultat dépend de plusieurs **paramètres** : maillage de l'ossature ( nombre d'éléments )...

*Remarque* : **la matrice masse est consistante.**

### Mode opératoire

- Sélectionner la commande **Analyse dynamique** du menu **Calculer**.
  - ◆ entrer le **nombre de modes propres** à étudier.
  - ◆ entrer le nombre d'éléments : maillage de l'ossature.
  - ◆ sélectionner la **méthode de calcul** : itération inverse ou itération sur sous espace.
  - ◆ entrer la **précision** avec laquelle les fréquences propres seront calculées : soient  $\omega$  l'une des pulsations propres,  $\omega_{i-1}$  et  $\omega_i$  les valeurs de  $\omega$  obtenues lors de deux itérations successives. L'itération s'arrête quand la quantité  $|\omega_{i-1} - \omega_i| / \omega_i$  est plus petite que la précision choisie.
  - ◆ indiquer si les **énergies élémentaires** doivent être calculées.

## Résultats

### Analyse statique

Les principales commandes disponibles sont :

- ◆ **Editer les résultats**
- ◆ **Editer le fichier .RES**
- ◆ **Editer les efforts dans les poutres**
- ◆ **Afficher la déformée**

Les déplacements sont amplifiés de telle manière que le déplacement maximal soit représenté par un vecteur de longueur donnée ( commande paramètres ).

- ◆ **Représenter les efforts sur la structure**

- Désigner la grandeur à représenter : effort normal, effort tranchant sur Y...

*Remarque* : la contrainte normale due au moment fléchissant n'est définie que si les dimensions de la poutre sont définies. Dans ce cas, le logiciel trace deux courbes :  $\sigma_{\min}(X)$  et  $\sigma_{\max}(X)$

- ◆ **Représenter les efforts et les déplacements dans une poutre**

- Sélectionner la commande Poutre.

- Désigner une Poutre.

- Désigner la grandeur à représenter : effort normal, effort tranchant sur Y...

*Remarque* : la contrainte normale due au moment fléchissant n'est définie que si les dimensions de la poutre sont définies. Dans ce cas, le logiciel trace deux courbes :  $\sigma_{\min}(X)$  et  $\sigma_{\max}(X)$

- ◆ **Contraintes sur une section droite**

- Désigner une Poutre.

- Désigner la grandeur à représenter.

- Modifier les paramètres : abscisse de la section...

### ◆ Flambement linéaire

- Sélectionner la commande **Flambement** du menu **Résultats** :

\* entrer le **nombre de modes de flambement** à calculer.

\* entrer le nombre d'éléments : maillage de l'ossature.

\* sélectionner l'hypothèse de calcul ( petites rotations / rotations modérées ).

\* entrer la **précision** avec laquelle les valeurs propres seront calculées : soient  $\lambda$  l'une des valeurs propres,  $\lambda_{i-1}$  et  $\lambda_i$  les valeurs de  $\lambda$  obtenues lors de deux itérations successives. L'itération s'arrête quand la quantité  $|\lambda_{i-1} - \lambda_i| / \lambda_i$  est plus petite que la précision choisie.

- Afficher un mode de flambement.

## Analyse dynamique

Les commandes disponibles sont :

### ◆ Editer les résultats

### ◆ Afficher la déformée animée

### ◆ Afficher la déformée modale

Les déplacements sont amplifiés de telle manière que le déplacement maximal soit représenté par un vecteur de longueur donnée ( commande paramètres ).

### ◆ Afficher l'énergie de déformation par unité de longueur

### ◆ Afficher l'énergie cinétique par unité de longueur



## Exemples

### Exemple 1 - Portique plan - Etude statique

**Référence :** A. GIET, L. GEMINARD - *Résistance des matériaux*, tome 2, pages 148-156

#### Problème :

La structure plane représentée sur la figure est constituée de deux poutres de même section droite. Soient  $A$  l'aire des sections droites et  $I_Z$  leur moment quadratique par rapport à l'axe  $Z$ . L'ossature est encastree en 1 et articulée en 4. Les poutres sont en acier de module d'Young  $E$ .

Le noeud 2 porte une force  $\vec{P} ( P , 0 , 0 )$ .

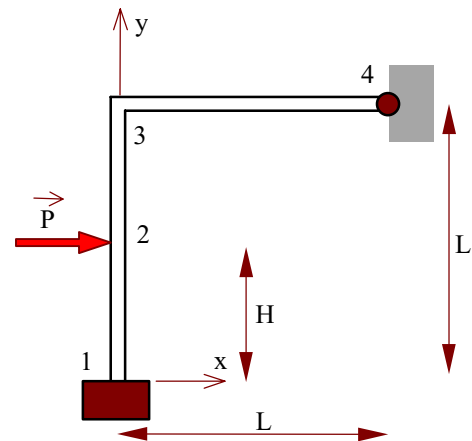
On donne :

$$L = 2 \text{ m} , H = 1 \text{ m}$$

$$A = 16 \text{ cm}^2 , I_Z = 135 \text{ cm}^4$$

$$P = 1000 \text{ daN}$$

$$\text{module d'Young } E = 200000 \text{ MPa}$$



#### Modélisation et calcul :

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>Nouvelle étude</b>   | * définir le type de l'ossature : <b>Plane</b><br>* entrer les coordonnées des 4 noeuds : (0,0) , (0,1) , (0,2) , (2,2). |
| <b>Poutres</b>          | * créer des poutres définies par leurs noeuds extrémités : (1-2) (2-3) (3-4).  |
| <b>Sections droites</b> | * section droite <b>quelconque</b> : aire = 16 cm <sup>2</sup> I <sub>Z</sub> = 135 cm <sup>4</sup>                      |
| <b>Liaisons</b>         | * l'ossature est encastree en 1 et articulée en 4  |
| <b>Cas de charges</b>   | * le noeud 2 porte une charge de composantes ( 1000 daN , 0 , 0 ).   |
| <b>Matériaux</b>        | * module d'Young = 200000 MPa ( bouton <b>Définir</b> )  |
| <b>Calculer</b>         | * lancer le calcul ( et enregistrer les données )  |
| <b>Résultats</b>        | * exploiter les résultats du calcul  |

**Résultats :**

noeud 2 :  $u = 2.214 \text{ mm}$  ,  $\theta_z = -0.00068 \text{ rad}$

noeud 3 :  $\theta_z = 0.00264 \text{ rad}$

noeud 1 :  $R_x = -607.74 \text{ daN}$  ,  $R_y = 53.34 \text{ daN}$  ,  $M_z = 322.16 \text{ daN.m}$

noeud 4 :  $R_x = -392.26 \text{ daN}$  ,  $R_y = -53.34 \text{ daN}$

## Exemple 2 - Treillis plan à noeuds articulés - Etude statique

Référence : A. GIET, L. GEMINARD, *Problèmes de résistance des matériaux*, tome 1, page 52

### Problème :

La structure représentée sur la figure est composée de trois barres articulées entre elles. L'ensemble est relié à l'extérieur par trois rotules en 2, 3 et 4.

On donne :  $L = 0.6 \text{ m}$ ,  $H = 0.8 \text{ m}$ .

Les trois barres ont la même section droite : carré plein de côté  $a = 10 \text{ mm}$ .

Les barres (1-2) et (1-4) sont en acier :

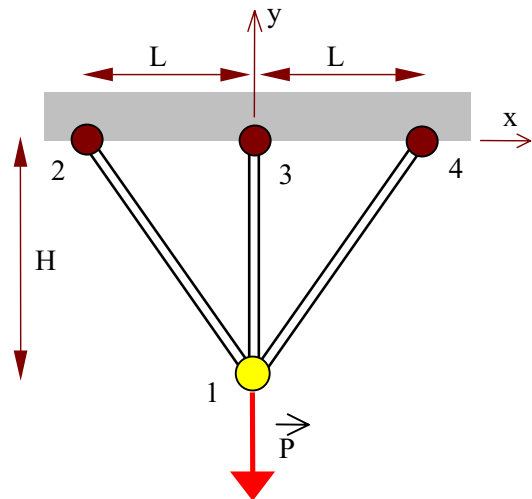
- module d'Young = 200000 MPa
- coefficient de dilatation =  $11\text{E-}6 \text{ degré}^{-1}$

La barre (1-3) est en laiton :

- module d'Young = 100000 MPa
- coefficient de dilatation =  $18\text{E-}6 \text{ degré}^{-1}$

Le noeud 1 porte une charge  $\vec{P}$  de composantes  $(0, -1000, 0) \text{ daN}$ .

Pendant le chargement, la température augmente de 50 degrés.



### Modélisation :

<b>Nouvelle étude</b>	* définir le type de l'ossature : <b>Plane</b> * entrer les coordonnées des noeuds : $(0, -0.8) (-0.6, 0) (0, 0) (0.6, 0)$
<b>Poutres</b>	* créer des poutres définies par leur noeud origine et leur noeud extrémité
<b>Relaxations</b>	* les trois poutres sont du type <b>rotule-rotule</b> ( liaisons intérieures )
<b>Sections droites</b>	* section droite <b>paramétrée</b> : carré plein de côté 10 mm
<b>Matériaux</b>	* Modifier la couleur courante ( bouton <b>Définir</b> ) * changer la poutre ( 1-3 ) de groupe ( bouton <b>Elément</b> ) * entrer les caractéristiques de la poutre en laiton ( bouton <b>Définir</b> ) * entrer les caractéristiques des poutres en acier ( bouton <b>Définir</b> )
<b>Liaisons</b>	* l'ossature est articulée en 2 , 3 et 4
<b>Cas de charges</b>	* le noeud 1 porte une force de composantes $(0, -1000, 0) \text{ daN}$ * variation de température = 50 degrés
<b>Calculer</b>	* lancer le calcul ( et enregistrer les données )

**Résultats :**

déplacement vertical du noeud 1 :  $v_1 = -0.96$  mm

effort normal dans la poutre ( 1-2 ) :  $N_{12} = 437$  daN

effort normal dans la poutre ( 1-3 ) :  $N_{13} = 300.8$  daN

### Exemple 3 - Anneau plan - Etude statique

**Référence** : Solution analytique - théorie des poutres - effort normal négligé

#### Problème :

Soit un anneau de plan moyen  $\{ O, x, y \}$  et de section droite constante ( carré plein de côté  $a$  ). Il est réalisé en acier de module d'Young  $E$ .

La poutre B'B porte une charge uniformément répartie  $\vec{p}$  de composantes  $( 0, p, 0 )$  par unité de longueur.

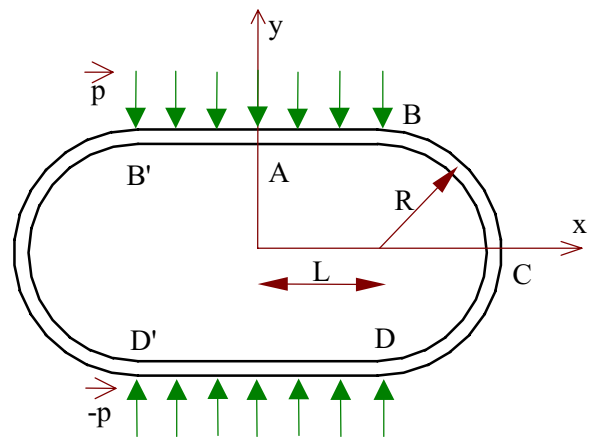
La poutre D'D porte une charge uniformément répartie  $-\vec{p}$ .

Données numériques :

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

$$a = 10 \text{ mm}, R = 10 \text{ cm}$$

$$p = -1000 \text{ daN/m}$$



#### Modélisation :

Le problème présente une symétrie par rapport aux axes  $x$  et  $y$ . Il suffit de modéliser le quart ABC de l'anneau.

<b>Bibliothèque</b>	* la géométrie existe dans la bibliothèque d'ossatures paramétrées :  <b>ossature plane</b> numéro 31 : $R = 0.1 \text{ m}$ , $L = 0.1 \text{ m}$ , l'arc est discrétisé en 10 éléments
<b>Matériau</b>	* le module d'Young est égal à 200000 MPa ( bouton <b>Définir</b> )
<b>Sections droites</b>	* section droite <b>paramétrée</b> : carré plein de côté $a = 10 \text{ mm}$
<b>Liaisons/Symétries</b>	* la structure est symétrique par rapport au plan $x = 0$ : désigner le noeud A * la structure est symétrique par rapport au plan $y = 0$ : désigner le noeud C
<b>Cas de charges</b>	* la poutre AB une force uniformément répartie d'intensité $(0, -1000, 0)$ daN/m
<b>Calculer</b>	* lancer le calcul ( et enregistrer les données )

**Résultats :**

Le tableau suivant donne les résultats obtenus par la résistance des matériaux ( en négligeant l'énergie de déformation due à effort normal ) et par RDM - Ossatures.

$$\text{Théorie : } v_A = 0.86 \frac{pR^4}{EI_z} \quad , \quad Mf_{zA} = 0.759pR^2 \quad , \quad Mf_{zB} = 0.259pR^2 \quad , \quad Mf_{zC} = 0.741pR^2$$

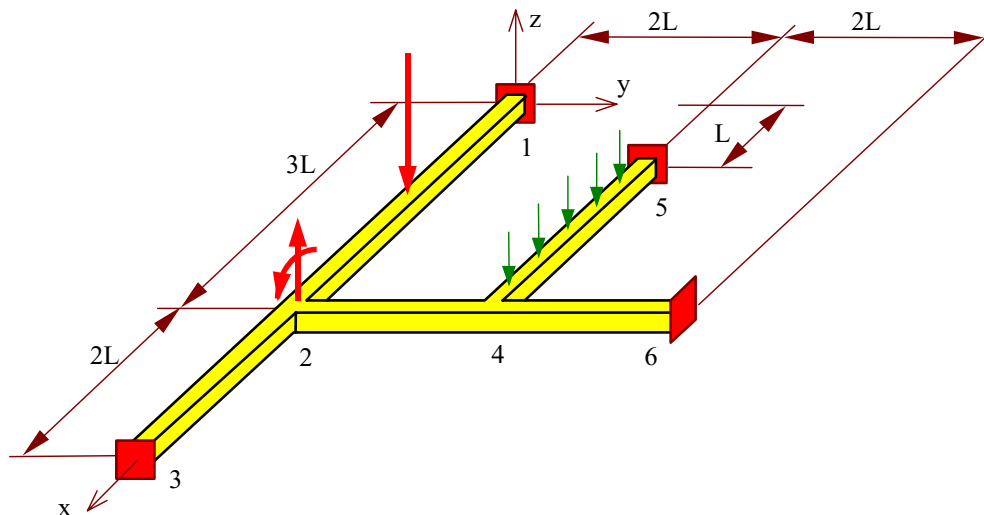
	<b>théorie des poutres</b>	<b>RDM - Ossatures</b>
v en A	-5.16 mm	-5.172 mm
moment fléchissant en A	7.59 daN.m	7.58 daN.m
moment fléchissant en B	2.59 daN.m	2.58 daN.m
moment fléchissant en C	-7.41 daN.m	-7.42 daN.m

## Exemple 4 - Plancher - Etude statique

**Référence :** W. WEAWER, J. GERE, *Matrix analysis of framed structures*, Van Nostrand Reinhold, 1990, pages 342-345.

### Problème :

L'ossature plancher représentée sur la figure est constituée de cinq poutres de même section droite.



Elle est encastrée en 1 , 3 , 5 et 6.

Le noeud 2 porte une force  $( 0 , 0 , P )$  et un couple  $( 0 , PL , 0 )$ .

La poutre (1-2) porte en son milieu une force ponctuelle  $( 0 , 0 , -3P )$ .

La poutre (5-4) porte sur toute sa longueur une charge uniformément répartie  $( 0 , 0 , -3P/L )$ .

On donne :

$$L = 2 \text{ m}$$

module d'Young = 200000 MPa , coefficient de Poisson = 0.25

aire =  $10^2 \text{ cm}^2$  , constante de torsion de Saint Venant =  $2 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$  ,  $I_z = 10^5 \text{ cm}^4$

$$P = 5000 \text{ daN}$$

### Modélisation :

#### Nouvelle étude

- \* définir le type de l'ossature : **Plancher**
- \* entrer les coordonnées des noeuds

#### Poutres

- \* créer des poutres définies par leur noeud origine et leur noeud extrémité

**Sections droites** \* section quelconque : aire = 100 cm<sup>2</sup>  
\* constante de torsion de Saint Venant = 2E5 cm<sup>4</sup> , I<sub>z</sub> = 1E5 cm<sup>4</sup>

**Liaisons** \* l'ossature est encastrée en 1 , 3 , 5 et 6

**Cas de charges**

- \* le noeud 2 porte une force  $F_z = 5000$  daN
- \* le noeud 2 porte un couple  $M_y = 10000$  daN.m
- \* la barre 1-2 porte une force ponctuelle  $F_z = - 15000$  daN située à 3 m du noeud

origine

- \* la barre 5-4 porte une force uniformément répartie  $f_z = - 7500$  daN/m

**Matériau** \* module d'Young = 200000 MPa , coefficient de Poisson = 0.25 ( bouton **Définir** )

**Calculer** \* lancer le calcul ( et enregistrer les données )

**Résultats :**

noeud 2 :  $w = -1.218$  mm ,  $\theta_x = -0.020$  degrés ,  $\theta_y = -0.009$  degrés

noeud 4 :  $w = -2.099$  mm ,  $\theta_x = 0.017$  degrés ,  $\theta_y = 0.011$  degrés

noeud 1 :  $F_z = 9352.8$  daN ,  $M_x = 949.3$  daN.m ,  $M_y = -16309.2$  daN.m

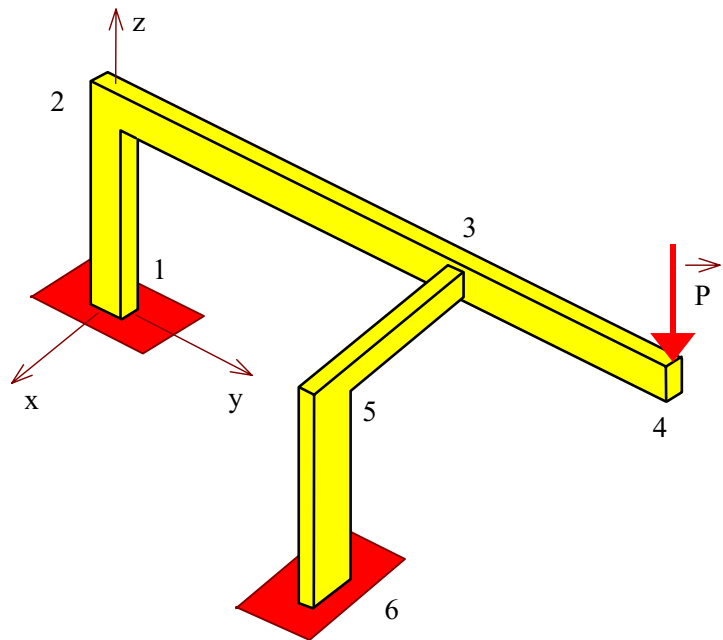
## Exemple 5 - Ossature spatiale - Etude statique

Référence : J.J. BARRAU, S. LAROZE, *Calcul de structures par éléments finis*, ENSAE, 1984.

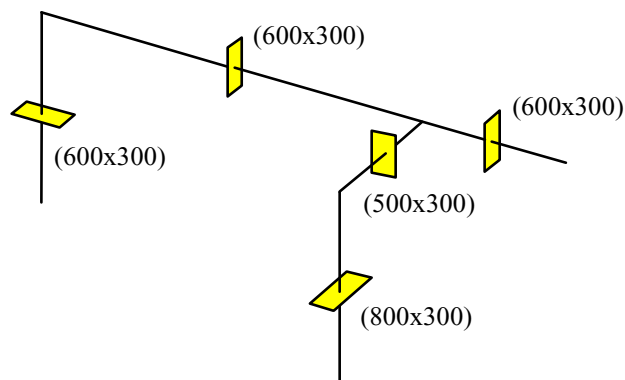
### Problème :

Soit l'ossature spatiale :

noeud	x (m)	y (m)	z (m)
1	0	0	0
2	0	0	4
3	0	8	4
4	0	11	4
5	3	8	4
6	3	8	0



Les barres ont une section droite rectangulaire ( unité : mm ) :



Les caractéristiques élastiques du matériau sont :  $E = 100000$  MPa et  $\nu = 0.2987$ .

L'énergie de déformation due à l'effort tranchant est prise en compte.

Les sections 1 et 6 sont encastées.

Le noeud 4 porte une force  $\vec{P}$  de composantes  $(0, 0, -1000)$  daN .

**Modélisation :**

- Nouvelle étude** \* entrer le type de l'ossature : **Spatiale**  
\* entrer les coordonnées des noeuds
- Poutres** \* les poutres sont définies par leur noeud origine et leur noeud extrémité
- Matériaux** \* module d'Young = 100000 MPa , coefficient de Poisson = 0.2987
- Sections droites** \* changer les poutres ( 3-5 ) et ( 5-6 ) de groupe
- Paramétrée** \* désigner la poutre ( 2-3 )  
\* entrer ses dimensions ( 600 x 300 )
- Paramétrée** \* désigner la poutre ( 3-5 )  
\* entrer ses dimensions ( 500 x 300 )
- Paramétrée** \* désigner la poutre ( 5-6 )  
\* entrer ses dimensions ( 800 x 300 )
- Repère local** \* modifier le repère local de la poutre ( 1-2 ) ( angle = 90° )
- Liaisons** \* l'ossature est encastree en 1 et 6
- Cas de charges** \* le noeud 4 porte une charge de composantes ( 0 , 0 , -1000 ) daN
- Cisaillement transversal** ( l'effort tranchant est pris en compte )
- Calculer** \* lancer le calcul ( et enregistrer les données )

**Résultats :****Moments exprimés en daN.m**

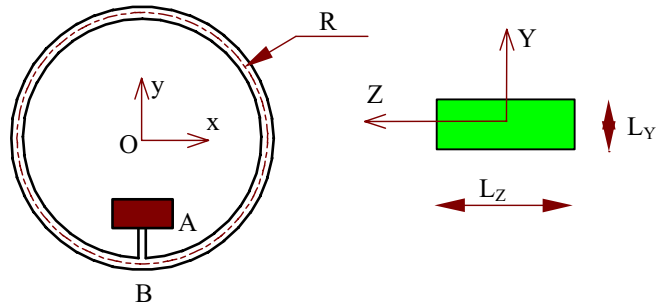
barre		$M_{Xo}$	$M_{Yo}$	$M_{Zo}$	$M_{Xe}$	$M_{Ye}$	$M_{Ze}$
1 - 2	Référence	-6	271.2	-389.6	-6	322	-104.7
	RDM - Ossatures	-5.6	271.5	-389.7	-5.64	322.8	-101.2
2 - 3	Référence	322.2	-6	-104.7	-322.2	96.6	-2513
	RDM - Ossatures	-322.8	-5.6	-101.2	-323.1	97.04	-2511
3 - 4	Référence	0	0	-3000	0	0	0
	RDM - Ossatures	0	0	-3000	0	0	0
3 - 5	Référence	487.2	322.2	-96.6	487.2	-3581	117.1
	RDM - Ossatures	488.6	322.8	-97.04	488.6	-3581	119.4
5 - 6	Référence	117.1	-3581	-487.2	117.1	-3632	-202
	RDM - Ossatures	119.4	-3581	-488.6	119.5	-3632	-200.1

## Exemple 6 - Ossature plane - Modes propres

**Référence :** AFNOR, *Guide de validation des progiciels de calcul de structures*, 1990, page 208

### Problème :

On considère l'ossature plane représentée sur la figure. Elle est formée d'un anneau (centre O, rayon moyen R) et d'une patte AB de longueur L. L'ensemble est encastré en B.



L'anneau et la patte ont des sections droites rectangulaires pleines ( $L_Y \times L_Z$ ) :

Soient E et  $\nu$  les caractéristiques élastiques du matériau et  $\rho$  sa masse volumique.

On recherche les **six premiers modes propres** de cet anneau.

On donne :

$$E = 72000 \text{ Mpa} \quad \nu = 0.3 \quad \rho = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$R = 0.1 \text{ m} \quad L = 0.0275 \text{ m}$$

$$\text{anneau : } L_Y = 5 \text{ mm} \quad L_Z = 10 \text{ mm}$$

$$\text{patte : } L_Y = 3 \text{ mm} \quad L_Z = 10 \text{ mm}$$

### Modélisation :

**Bibliothèque** ( une partie de la géométrie existe dans la bibliothèque d'ossatures paramétrées )

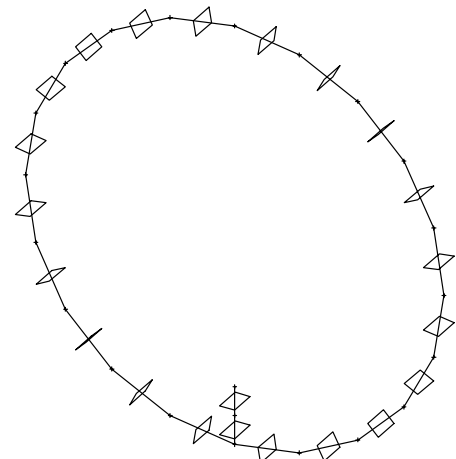
- \* définir le type d'ossature : **Plane**
- \* entrer le numéro de l'ossature paramétrée : 30
- \* rayon = 0.1 m , angles : 0 et 360 degrés , le cercle est discrétisé en 60 éléments

**Matériau**

- \* module d'Young = 72000 Mpa
- \* coefficient de Poisson = 0.3
- \* masse volumique = 2700 kg/m<sup>3</sup>

**Poutres**

- \* création de la patte :
- ajouter une poutre verticale :
- origine = B , longueur = 0.0275 m



**Sections droites**

\* changer la patte de groupe de section

**Paramétrée** \* désigner l'anneau  
\* rectangle plein ( 5 x 10 ) mm

**Paramétrée** \* désigner la patte  
\* rectangle plein ( 3 x 10 ) mm

**Liaisons** \* la patte est encastrée en A

**Poutres** \* discrétiser la patte en 6 éléments

**Dynamique** \* on désire étudier les 6 premiers modes propres

**Calculer** \* lancer le calcul ( et enregistrer les données )

**Résultats : fréquences en Hz**

mode	référence	RDM - Ossatures
1	28.8	28.81
2	189.3	189.30
3	268.8	268.60
4	641.0	640.52
5	682.0	681.65
6	1063.0	1062.70

## Exemple 7 - Ossature plane - Etude statique

**Référence :** W. WEAWER, J. GERE, *Matrix analysis of framed structures*, Van Nostrand Reinhold, 1990, page 283

### Problème :

L'ossature plane représentée sur la figure est constituée de cinq poutres droites identiques articulées entre elles. Les caractéristiques de ces poutres sont :

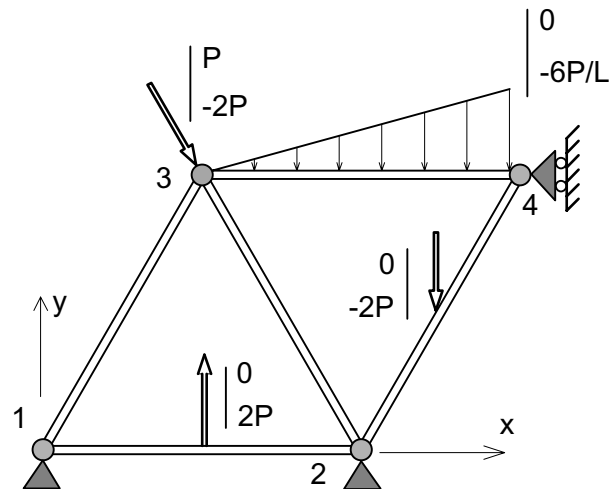
- module d'Young :  $E$ .
- longueur :  $L$ .
- aire de la section droite  $A$ .

Les noeuds 1 et 2 sont articulés et le noeud 4 repose sur un appui simple ( $dx = 0$ ).

Le noeud 3 porte une force  $(P, -2P)$ .

La poutre 1-2 porte en son milieu une force de composantes  $(0, 2P)$ .

La poutre 2-4 porte en son milieu une force de composantes  $(0, -2P)$ .



La poutre 3-4 porte sur toute sa longueur une charge triangulaire dont l'intensité à l'extrémité 4 a pour composantes  $(0, -6P/L)$ .

On donne :

$$L = 1.5 \text{ m}$$

$$\text{module d'Young} = 200000 \text{ MPa}$$

section droite : carré creux  $c = 100 \text{ mm}$ ,  $e = 5 \text{ mm}$  (bibliothèque)

$$P = 1000 \text{ daN}$$

### Modélisation :

#### Nouvelle étude

- \* définir le type de l'ossature : **Plane**
- \* entrer les coordonnées des noeuds 1 et 2 :  $(0, 0)$ ,  $(1.5, 0)$

#### Noeuds polaires :

- \* créer un noeud défini par un noeud de référence et ses **coordonnées**
- noeud 3 : noeud de référence = 1, coordonnées =  $(60^\circ, 1.5 \text{ m})$
- noeud 4 : noeud de référence = 2, coordonnées =  $(60^\circ, 1.5 \text{ m})$

#### Poutres

- \* créer des poutres définies par leur noeud origine et leur noeud extrémité

- Relaxations** \* toutes les poutres sont du type **rotule-rotule**
- Sections droites** \* **bibliothèque** : carré creux de côté 100 mm et d'épaisseur 5 mm
- Liaisons** \* l'ossature est articulée en 1 et 2  
\* l'ossature repose sur un appui simple (  $dx = 0$  ) en 4
- Charges** \* le noeud 3 porte une force de composantes ( 1000 , -2000 ) daN  
\* la poutre 1-2 porte en son milieu une force de composantes ( 0 , 2000 ) daN  
\* la poutre 3-4 porte sur toute sa longueur une charge triangulaire dont l'intensité en 4 est égale à ( 0 -4000 ) daN/m  
\* la poutre 2-4 porte en son milieu une force de composantes ( 0 , -2000 ) daN
- Matériau** \* module d'Young = 200000 MPa ( bouton **Définir** )
- Calculer** \* lancer le calcul ( et enregistrer les données )

**Résultats :**

$$u_3 = 0.02632 \text{ mm} , v_3 = -0.07895 \text{ mm}$$

$$v_4 = -0.15789 \text{ mm}$$

$$R_{1x} = 699 \text{ daN} , R_{1y} = 211 \text{ daN}$$

$$R_{2x} = 699 \text{ daN} , R_{2y} = 4789 \text{ daN}$$

$$R_{4x} = -2398 \text{ daN}$$

$$\text{sur la poutre ( 3-4 ) : } N_3 = N_4 = -667 \text{ daN} , T_{3Y} = -1000 \text{ daN} , T_{4Y} = 2000 \text{ daN}$$