

RDM – Ossatures

Manuel d'utilisation

Yves Debard

Institut Universitaire de Technologie du Mans
Département Génie Mécanique et Productique

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

26 juin 2006 – 29 mars 2011

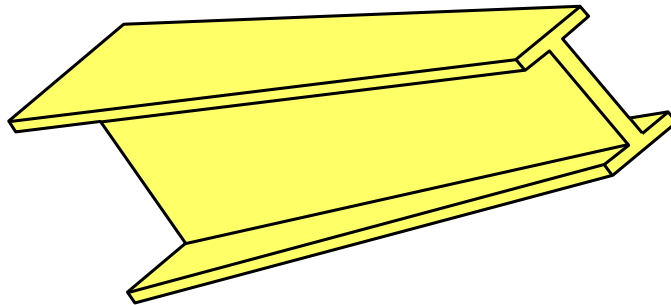


Table des matières

Présentation	1
1 Rappels	2
1.1 Poutre	2
1.2 Caractéristiques d'une section droite	2
1.3 Repère local lié à une poutre	2
1.4 Efforts sur une section droite	3
1.5 Loi de comportement	4
1.6 Ossature	5
1.6.1 Ossature spatiale	5
1.6.2 Ossature plane	6
1.6.3 Ossature plancher	6
1.7 Instabilité élastique : flambement	7
1.8 Modélisation des ossatures	9
1.8.1 Noeud	9
1.8.2 Poutre	9
1.8.3 Liaisons intérieures (relaxations)	10
1.8.4 Liaisons de la structure avec l'extérieur	10
1.8.5 Charges	10
2 Commandes utilitaires	11
2.1 Modifier la configuration du logiciel	11
2.2 Ressources disponibles	11
2.3 Quitter une procédure modale	11
2.4 Consulter la dimension des tableaux	11
2.5 Gestion de l'écran graphique	11
2.5.1 Zoom	12
2.5.2 Zoom plus et Zoom moins	12
2.5.3 Centrer la fenêtre de travail sur un point	12
2.5.4 Afficher tout le dessin	12
2.5.5 Réafficher le dessin	12
2.5.6 Définir le point de vue de l'opérateur	12
2.6 Exporter un dessin	12
2.7 Imprimer le dessin	12
2.8 Afficher les attributs une entité	13
3 Modélisation	14
3.1 Modifier les unités de l'utilisateur	14
3.2 Créer une nouvelle ossature	14
3.3 Rappeler une ossature : fichier .por	14
3.4 Enregistrer les données : fichier .por	14

3.5	Rappeler une ossature paramétrée	15
3.6	Importer une géométrie	15
3.7	Compacter les données	15
3.8	Géométrie	16
3.8.1	Noeud défini par ses coordonnées cartésiennes	16
3.8.2	Noeud défini par ses coordonnées sphériques (ossature spatiale)	16
3.8.3	Noeud défini par ses coordonnées polaires(ossature plane ou plancher)	16
3.8.4	Noeud milieu	16
3.8.5	Noeud sur poutre	17
3.8.6	Noeuds équidistants	17
3.8.7	Projeter un nœud sur une droite	17
3.8.8	Déplacer un nœud	17
3.8.9	Poutre définie par deux nœuds	17
3.8.10	Poutres définies par une série de nœuds	18
3.8.11	Poutre parallèle à l'un des axes (x, y ou z)	18
3.8.12	Prolonger une poutre	18
3.8.13	Discrétiser une poutre	18
3.8.14	Détruire une poutre	18
3.8.15	Détruire les poutres contenues dans une fenêtre graphique	18
3.8.16	Détruire un groupe de poutres	18
3.8.17	Ajouter un ressort	19
3.8.18	Détruire un ressort	19
3.9	Transformations géométriques	19
3.9.1	Translation	19
3.9.2	Rotation autour d'un axe	19
3.9.3	Symétrie par rapport à un plan	20
3.10	Bibliothèque d'ossatures	20
3.11	Repère local lié à une poutre	28
3.11.1	Définition	28
3.11.2	Modifier l'orientation angulaire d'une poutre	29
3.12	Sections droites	29
3.12.1	Groupes de section	29
3.12.2	Définir une section droite	30
3.12.3	Modifier les attributs d'un groupe de section droite	31
3.12.4	Échanger les axes Y et Z	31
3.13	Calculer les caractéristiques d'un groupe de section droite	31
3.14	Matériaux	33
3.14.1	Groupes de matériaux	33
3.14.2	Modifier les caractéristiques d'un matériau	33
3.14.3	Lire un matériau dans la bibliothèque	34
3.15	Changement de repère nodal	34
3.16	Liaisons extérieures et symétries	34
3.17	Liaisons intérieures : relaxations	35
3.17.1	Définitions	35
3.17.2	Définir une liaison intérieure	36
3.18	Définition des cas de charges	36
3.18.1	Ajouter un cas de charges	36
3.18.2	Détruire un cas de charges	36
3.18.3	Ajouter une charge à un cas de charge	36
3.18.4	Créer ou modifier une combinaison de cas de charges	38
3.19	Ajouter ou détruire une masse	38

4	Dimensions des sections droites paramétrées	39
5	Bibliothèque de l'utilisateur	49
5.1	Bibliothèque de matériaux	49
5.1.1	Contenu du fichier matériaux.bib	49
5.1.2	Exemple : matériaux.bib (bibliothèque du logiciel)	50
5.1.3	Caractéristiques utilisés par les modules de RDM	50
5.2	Bibliothèque de profilés	51
5.2.1	Principe	51
5.2.2	Les fichiers .SEC	51
5.2.3	Les fichiers .PRO	52
5.2.4	Le fichier PROFILES.BIB	54
6	Fichiers .gse	55
6.1	Contenu d'un fichier .gse (version 1)	55
6.2	Exemple	56
7	Fichier de sauvegarde	57
7.1	Sauvegarder les données	57
7.2	Rappeler une ossature sauvegardée sur le disque	57
7.3	Contenu et format du fichier de sauvegarde (version 6)	57
8	Calculs et résultats	63
8.1	Calculs	63
8.1.1	Méthodes de calcul, mémorisation des matrices,	63
8.1.2	Paramètres du calcul	63
8.1.3	Analyse statique	63
8.1.4	Analyse dynamique : modes propres	63
8.2	Résultats	64
8.2.1	Analyse statique	64
8.2.2	Analyse dynamique	65
	Références	67

Présentation

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

Les **hypothèses** retenues sont :

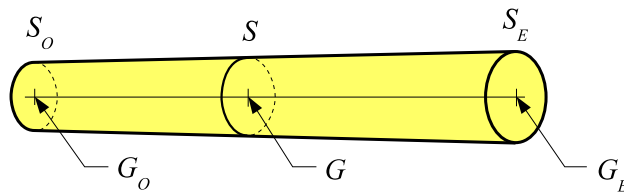
- Les ossatures sont constituées de poutres droites.
- Les déplacements sont petits.
- Les matériaux sont isotropes.
- Les relations entre les contraintes et les déformations sont linéaires.
- Le centre de gravité et le centre de cisaillement des sections droites sont confondus.
- Le cisaillement transversal est pris en compte (modèle de Timoshenko) ou négligé (modèle de Bernoulli).

Chapitre 1

Rappels

1.1 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 $G_O G_E$, le plan 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 $G_O G_E$.

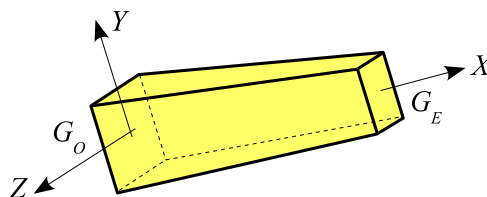
L'arc de courbe $G_O G_E$ est la **ligne moyenne** de la poutre.

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

1.2 Caractéristiques d'une section droite

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

1.3 Repère local lié à une poutre



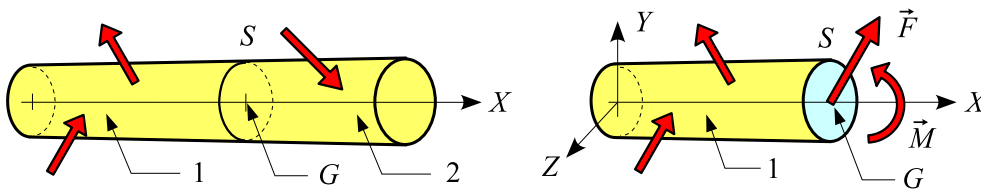
Le repère local $\{G_O; XYZ\}$ lié à une poutre droite est défini comme suit :

- G_O et G_E sont les centres 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 G_O est l'**origine** de la poutre et le point G_E son **extrémité**.
- Les axes Y et Z sont les axes centraux principaux de la section droite à l'origine.
- Le repère $\{G_O; XYZ\}$ forme un trièdre direct.

1.4 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 sa projection N sur l'axe X et \vec{T} situé dans le plan de S :

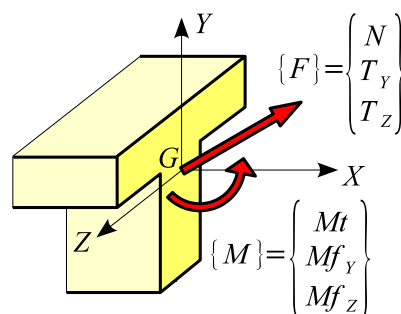
N est l'**effort normal** dans la section.

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

De même, décomposons \vec{M} en sa projection M_t sur l'axe X et \vec{M}_f situé dans le plan de la section S :

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 :

$$\begin{bmatrix} N & T_Y & T_Z & M_t & Mf_Y & Mf_Z \end{bmatrix}$$

1.5 Loi de comportement

Soient Y et Z les axes centraux principaux de la section. L'axe X est la fibre moyenne de la poutre. Le point G 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 ou compression suivant X :

Déplacement $u(X)$ du point G

Effort normal $N(X)$

Torsion autour de l'axe X :

Rotation $\theta_X(X)$ de la section droite autour de l'axe X

Moment de torsion $Mt(X)$

Flexion dans le plan XY :

Déplacement $v(X)$ du point G

Rotation $\theta_Z(X)$ de la section droite autour de l'axe Z

Effort tranchant $T_Y(X)$

Moment fléchissant $Mf_Z(X)$

Flexion dans le plan XZ :

Déplacement $w(X)$ du point G

Rotation $\theta_Y(X)$ de la section droite autour de l'axe Y

Effort tranchant $T_Z(X)$

Moment fléchissant $Mf_Y(X)$

Ces quantités sont liées par les **relations de comportement** :

$$\left\{ \begin{array}{l} N = EA \frac{\partial u}{\partial X} \\ T_Y = GAk_Y \left(\frac{\partial v}{\partial X} - \theta_Z \right) \\ T_Z = GAk_Z \left(\frac{\partial w}{\partial X} + \theta_Y \right) \\ Mt = GJ \frac{\partial \theta_X}{\partial X} \\ Mf_Y = EI_Y \frac{\partial \theta_Y}{\partial X} \\ Mf_Z = EI_Z \frac{\partial \theta_Z}{\partial X} \end{array} \right.$$

où :

E est le module de Young

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

ν est le coefficient de Poisson

A est l'aire de la section

k_Y et k_Z sont les coefficients d'aire cisailée

Ak_Y et Ak_Z sont les aires cisillées

J est la constante de torsion de Saint Venant

I_Y et I_Z sont moments quadratiques de la section

EA est la rigidité de membrane

EI_Y et EI_Z sont les rigidités de flexion

GJ est la rigidité de torsion

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

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

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

L'énergie de déformation linéique est égale à :

$$\frac{dE_{def}}{dX} = \frac{N^2}{2EA} + \frac{Mf_Y^2}{2EI_Y} + \frac{Mf_Z^2}{2EI_Z} + \frac{T_Y^2}{2GAk_Y} + \frac{T_Z^2}{2GAk_Z} + \frac{Mt^2}{2GJ}$$

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

Références :

[4, 5, 8, 1]

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

http://iut.univ-lemans.fr/ydlogi/cours/flex_xy.pdf

1.6 Ossature

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

1.6.1 Ossature spatiale

Chaque nœud possède 6 degrés de liberté :

$$[u \quad v \quad w \quad \theta_x \quad \theta_y \quad \theta_z]$$

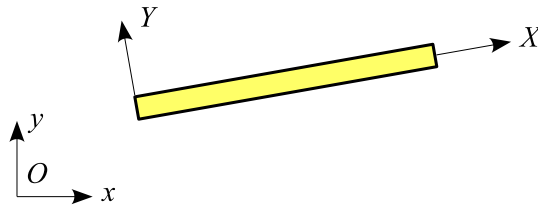
Dans le repère local lié à une poutre, la force élastique dans une section droite a pour composantes :

$$[N \quad T_Y \quad T_Z \quad Mt \quad Mf_Y \quad Mf_Z]$$

1.6.2 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 $\{O; xy\}$.
- Les axes X et Y du repère local lié à une poutre sont dans le plan $\{O; xy\}$.

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

- Elle est soumise à des forces contenues dans le plan $\{O; xy\}$ et à des couples suivant l'axe z .

Chaque nœud possède 3 degrés de liberté :

$$[u \quad v \quad \theta_z]$$

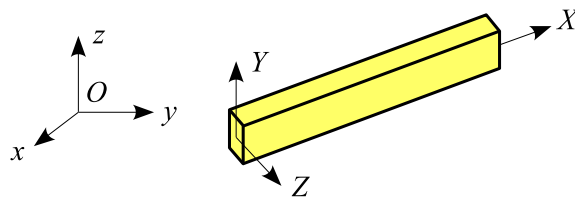
Dans le repère local lié à une poutre, la force élastique dans une section droite se réduit à :

$$[N \quad T_Y \quad T_Z = 0 \quad Mt = 0 \quad Mf_Y = 0 \quad Mf_Z]$$

1.6.3 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 $\{O; xy\}$.
- Les axes X et Z du repère local lié à une poutre sont dans le plan $\{O; xy\}$.

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

- Elle est soumise à des forces perpendiculaires au plan $\{O; xy\}$ et à des couples contenus dans ce plan.

Chaque nœud possède 3 degrés de liberté :

$$[w \quad \theta_x \quad \theta_y]$$

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

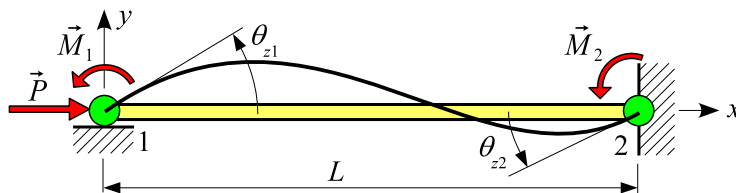
$$\begin{bmatrix} N = 0 & T_Y & T_Z = 0 & Mt & Mf_Y = 0 & Mf_Z \end{bmatrix}$$

1.7 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 1 – 2 de longueur L et de module de Young E . Elle est articulée en 2 et repose sur un appui simple en 1. Cette poutre est soumise à une force $\vec{P}(P, 0)$ en 1 et à deux couples de flexion \vec{M}_1 et \vec{M}_2 . 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 $-Pv(x)$.

Les couples M_{1z} et M_{2z} appliqués aux extrémités A et B de la poutre sont liés aux rotations correspondantes θ_{1z} et θ_{2z} par la relation :

$$\begin{Bmatrix} M_{1z} \\ M_{2z} \end{Bmatrix} = \frac{EI_z}{L} \begin{bmatrix} S & CS \\ CS & S \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_{1z} \\ \theta_{2z} \end{Bmatrix} \quad \text{soit} \quad \{M\} = [K]\{\theta\}$$

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 α tend vers zéro, C et S tendent respectivement vers 0.5 et 4. Quand α tend vers π , le déterminant de la matrice de rigidité $[K]$ tend vers zéro : les rotations θ_{1z} et θ_{2z} tendent vers l'infini. On retrouve ici la charge critique d'Euler :

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

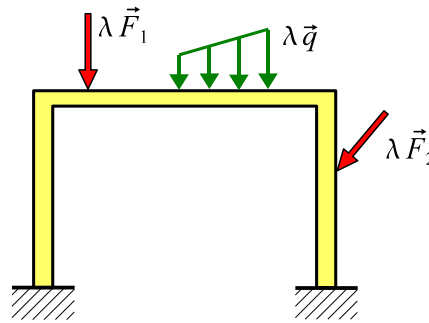
Plus généralement, pour une structure quelconque, les équations d'équilibre s'écrivent :

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

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 λ . 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 λ 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** λ_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 ou rotations modérées).

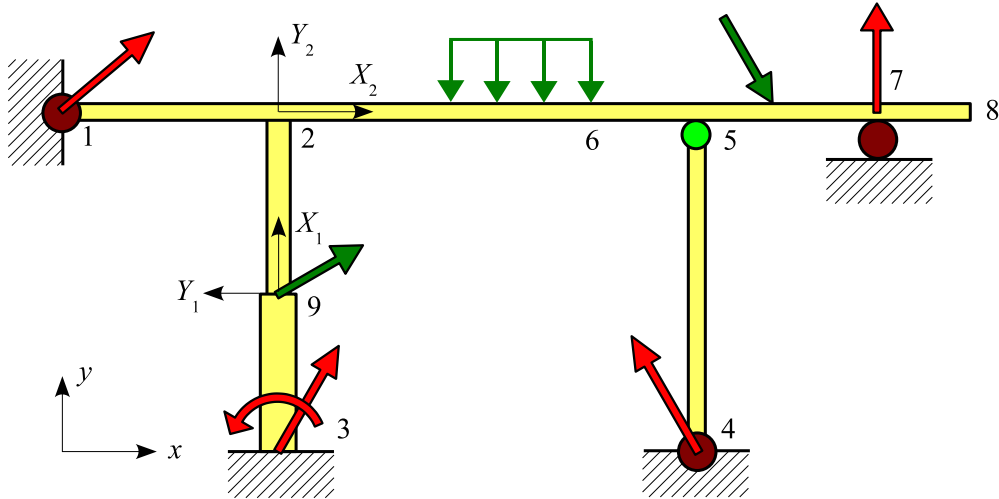
Bibliographie :

[10, 11, 2, 3, 6, 7, 9, 13, 12, 14]

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

1.8 Modélisation des ossatures

Considérons la structure plane suivante :



1.8.1 Nœud

Un nœud 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 nœuds sont définis par leurs coordonnées dans un repère $\{O, xyz\}$ appelé **repère global**.

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

1.8.2 Poutre

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

Sur notre exemple, il y a 8 poutres :

$$1-2 \quad , \quad 2-6 \quad , \quad 6-5 \quad , \quad 5-7 \quad , \quad 7-8 \quad , \quad 5-4 \quad , \quad 9-2 \quad , \quad 3-9$$

Remarque : l'ensemble 1 – 8 ne constitue pas une seule poutre (message d'erreur : la structure est en plusieurs morceaux).

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

Repère local lié à un poutre :

$$\begin{aligned} \text{poutre } 9 - 2 &: \{9, X_1 Y_1 Z_1\} \\ \text{poutre } 2 - 6 &: \{2, X_2 Y_2 Z_2\} \end{aligned}$$

1.8.3 Liaisons intérieures (relaxations)

Les poutres 1 – 2 et 2 – 6 sont reliées au nœud 2 de manière rigide.

Les poutres 9 – 2 et 3 – 9 sont reliées au nœud 9 de manière rigide.

Le nœud 5 est pour la poutre 5 – 4 une rotule. Une liaison intérieure par rotule ne transmet pas les couples (relaxation).

1.8.4 Liaisons de la structure avec l'extérieur

L'ossature est liée à l'extérieur par :

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

1.8.5 Charges

Le nœud 9 porte une charge nodale.

La poutre 5 – 7 porte une charge ponctuelle en travée.

La poutre 2 – 6 porte une charge répartie.

...

Chapitre 2

Commandes utilitaires

2.1 Modifier la configuration du logiciel

Activer la commande **Configurer RDM** du menu **Outils**.

Les principaux paramètres de l'installation sont :

- La dimensions de l'écran (**obligatoire**).
- La couleur du fond.
- La couleur des boutons.
- Le coefficient de loupe. Ce coefficient est utilisé par les commandes **Zoom plus** et **Zoom moins**.
- ...

2.2 Ressources disponibles

Sélectionner la commande **Ressources disponibles**.

2.3 Quitter une procédure modale

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

2.4 Consulter la dimension des tableaux

Cette commande fournit la dimension des tableaux : noeuds, liaisons, charges, ...
Sélectionner la commande **Dimension des tables**.

2.5 Gestion de l'écran graphique

Activer le menu **Afficher**.

2.5.1 Zoom

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

2.5.2 Zoom plus et Zoom 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 (§ **Configurer RDM**).

2.5.3 Centrer la fenêtre de travail sur un point

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

2.5.4 Afficher tout le dessin

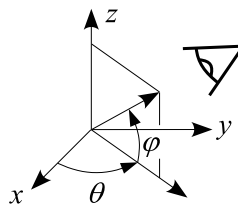
Sélectionner la commande **Échelle maximale**.

2.5.5 Réafficher le dessin

Sélectionner la commande **Mise au net**.

2.5.6 Définir le point de vue de l'opérateur

Sélectionner la commande **Repère**.



L'angle de vision est défini par les deux angles θ et φ .

2.6 Exporter un dessin

1. Sélectionner la commande **Exporter** du menu **Fichier**.
2. Désigner le format du fichier : **WMF** (Windows MetaFile) ou **EMF** (Enhanced MetaFile)
3. Entrer le nom du fichier sans extension.

2.7 Imprimer le dessin

1. Sélectionner la commande **Imprimer** du menu **Fichier**.
2. Entrer la dimension du dessin.

2.8 Afficher les attributs une entité

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

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

Chapitre 3

Modélisation

3.1 Modifier les unités de l'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

3.2 Créer une nouvelle ossature

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

3.3 Rappeler une ossature : fichier .por

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

3.4 Enregistrer les données : fichier .por

1. Sélectionner la commande **Enregistrer** du menu **Fichier**.
2. 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.

3.5 Rappel d'une ossature paramétrée

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

3.6 Importer une géométrie

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

Format IGES¹ : le fichier doit avoir l'extension **.igs**.

1. Définir le type de l'ossature : **spatiale**, **plane**, **plancher**.
2. Sélectionner la commande **.igs** du menu **Importer** (menu **Fichier**).
3. Entrer le nom du fichier (sans extension).
4. Entrer le nom de l'unité utilisée pour créer le dessin (mètre/millimètre).
5. Entrer la précision avec laquelle seront effectués les calculs (construction des tableaux) lors du transfert des données.

3.7 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 nœuds isolés et les attributs associés (liaisons, charges, ...) sont supprimés.

Remarques :

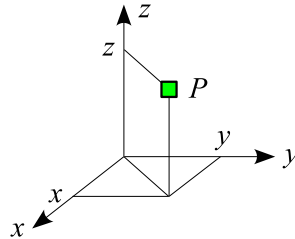
- cette opération est effectuée automatiquement au lancement du calcul.
- au cours de cette opération, les numéros des nœuds sont changés.

1. IGES : Initial Graphics Exchange Specification.

3.8 Géométrie

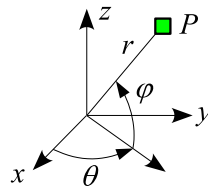
Activer le menu **Noeuds/Poutres** du menu **Modéliser**.

3.8.1 Noeud défini par ses coordonnées cartésiennes



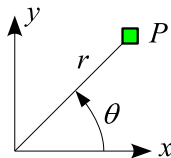
Entrer les coordonnées cartésiennes du nœud (x, y, z) .

3.8.2 Noeud défini par ses coordonnées sphériques (ossature spatiale)



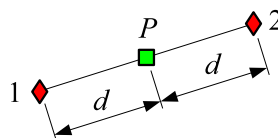
Entrer les coordonnées sphériques du nœud (r, θ, φ) .

3.8.3 Noeud défini par ses coordonnées polaires(ossature plane ou plancher)



Entrer les coordonnées polaires du nœud (r, θ) .

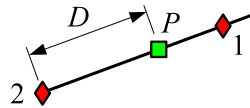
3.8.4 Noeud milieu



Cette fonction permet la création d'un nœud situé à égale distance de deux nœuds.

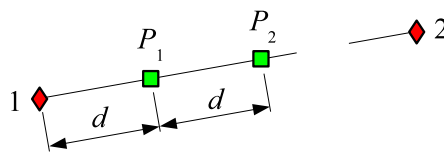
Désigner deux nœuds.

3.8.5 Noeud sur poutre



1. Désigner une poutre.
2. Désigner le nœud de référence (1).
3. Entrer la distance D du nœud à créer au nœud de référence.

3.8.6 Nœuds équidistants



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

1. Désigner deux nœuds.
2. Entrer le nombre de nœuds à créer.

3.8.7 Projeter un nœud 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.

1. Désigner un nœud.
2. Désigner une poutre.

3.8.8 Déplacer un nœud

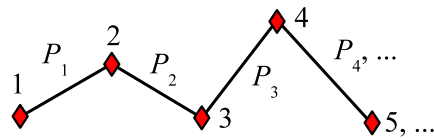
1. Désigner un nœud.
2. Entrer les nouvelles coordonnées du nœud.

3.8.9 Poutre définie par deux nœuds



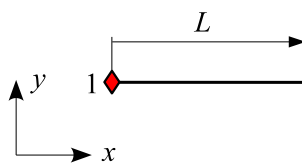
1. Désigner le nœud origine.
2. Désigner le nœud extrémité.

3.8.10 Poutres définies par une série de nœuds



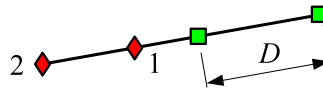
Désigner les nœuds.

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



1. Désigner le nœud origine de la poutre.
2. Entrer la longueur L de la poutre. Cette longueur peut être positive ou négative.

3.8.12 Prolonger une poutre



1. Désigner une poutre.
2. Désigner l'une des extrémités de la poutre.
3. Entrer la longueur L .

3.8.13 Discrétiser une poutre

1. Désigner une poutre.
2. Entrer le coefficient de discrétisation.

3.8.14 Détruire une poutre

Désigner une poutre.

3.8.15 Détruire les poutres contenues dans une fenêtre graphique

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

3.8.16 Détruire un groupe de poutres

Désigner un élément du groupe.

3.8.17 Ajouter un ressort



1. Entrer sa raideur et sa masse.
2. Désigner le nœud origine et le nœud extrémité.

3.8.18 Détruire un ressort

Désigner un ressort.

3.9 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**.

3.9.1 Translation

Vecteur translation défini par deux nœuds :

1. Désigner l'origine du vecteur translation.
2. 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.

3.9.2 Rotation autour d'un axe

Axe de rotation défini par deux nœuds :

1. Désigner deux nœuds.
2. Entrer l'angle de rotation.

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

1. Désigner un nœud.
2. Entrer l'angle de la rotation.

3.9.3 Symétrie par rapport à un plan

Plan de symétrie défini par trois nœuds :

Cette commande est active si l'ossature est spatiale.

Désigner trois nœuds.

Plan de symétrie parallèle au plan $\{xy\}$, $\{xz\}$ ou $\{yz\}$:

Désigner un nœud du plan.

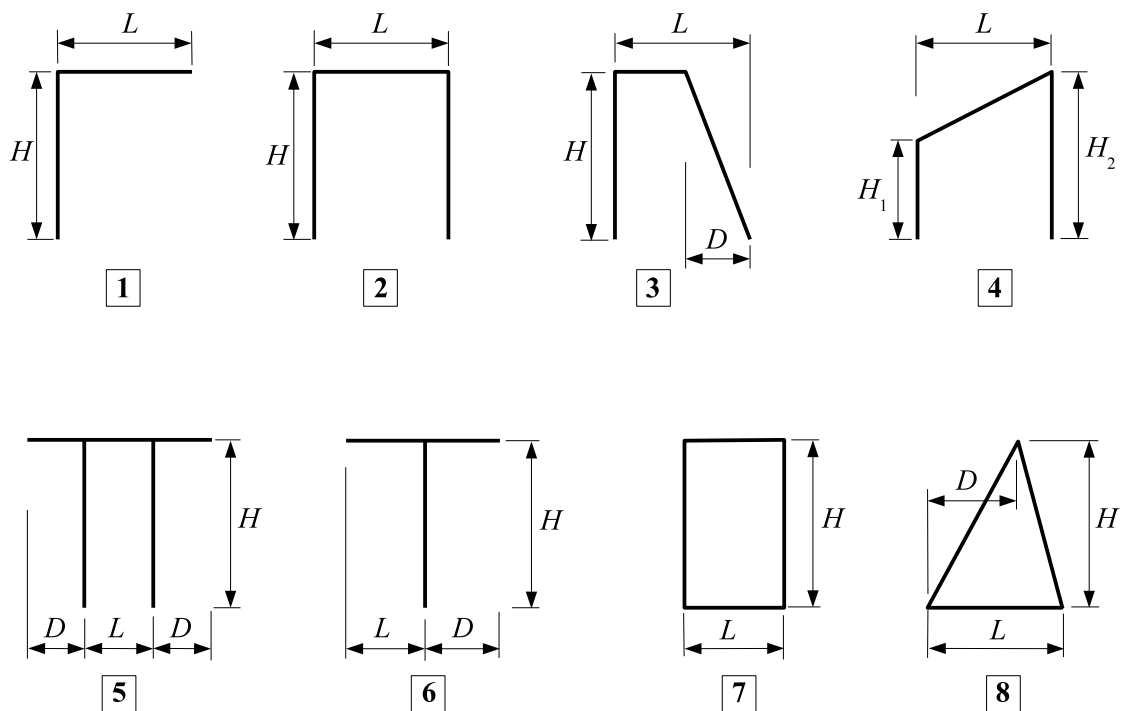
Plan de symétrie défini par deux nœuds :

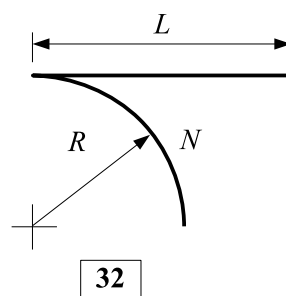
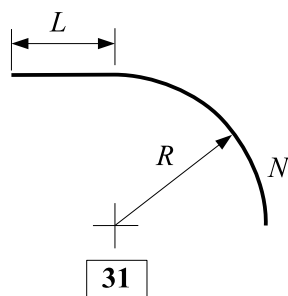
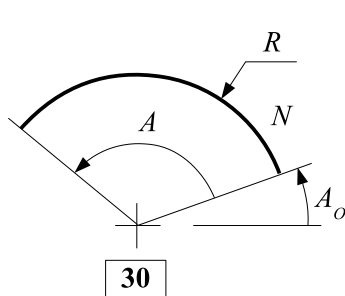
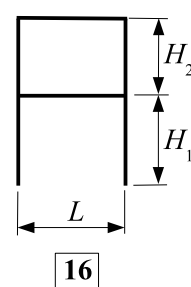
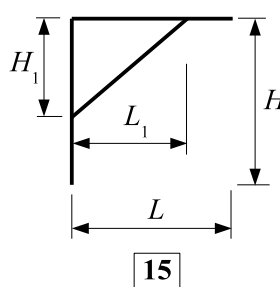
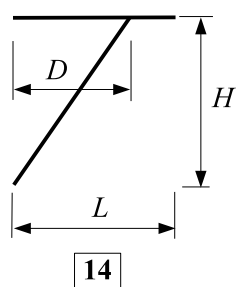
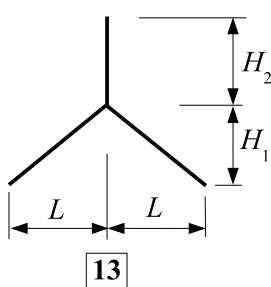
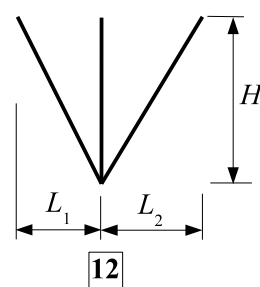
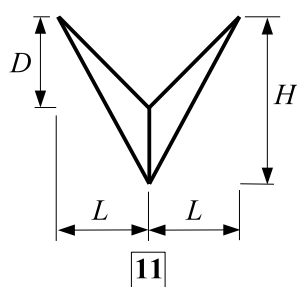
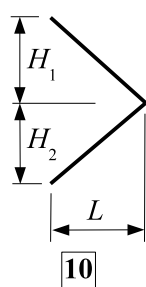
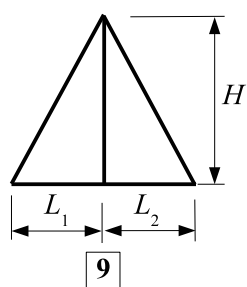
Cette commande n'est pas active si l'ossature est spatiale.

Désigner deux nœuds.

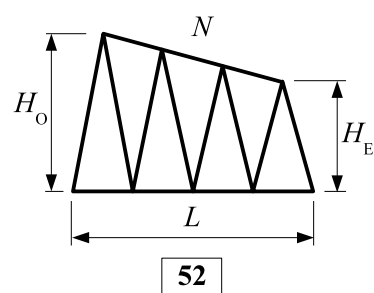
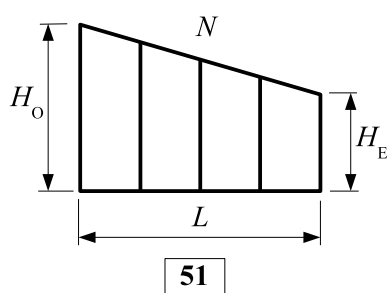
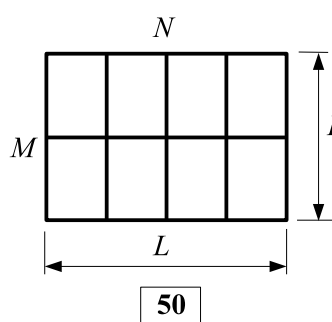
3.10 Bibliothèque d'ossatures

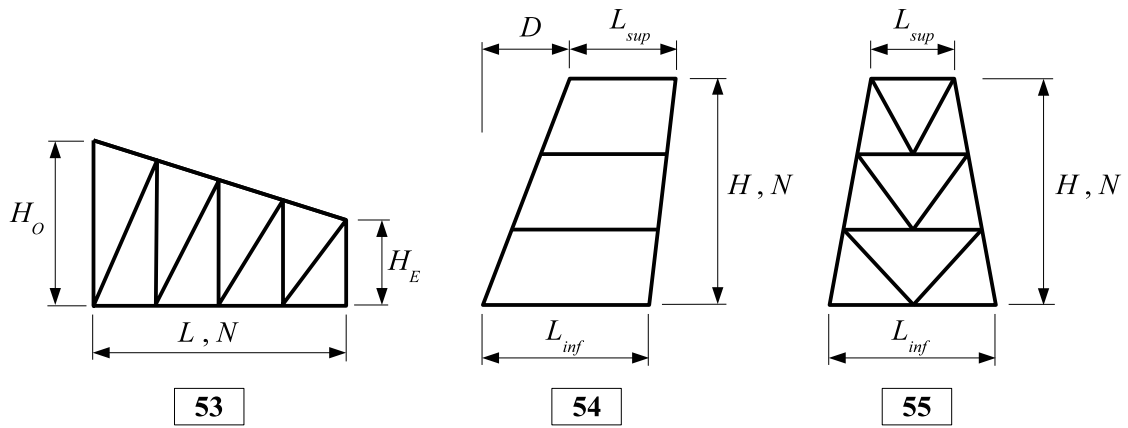
Remarque : si l'ossature est spatiale, une ossature paramétrée plane sera placée dans le plan $\{yz\}$.



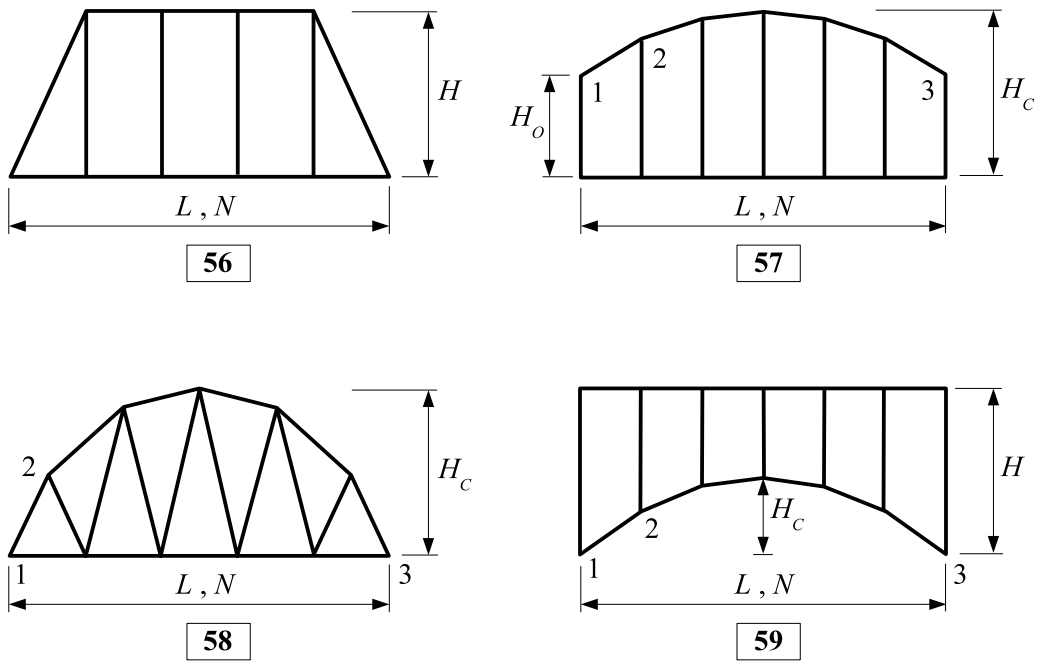


Treillis plans :





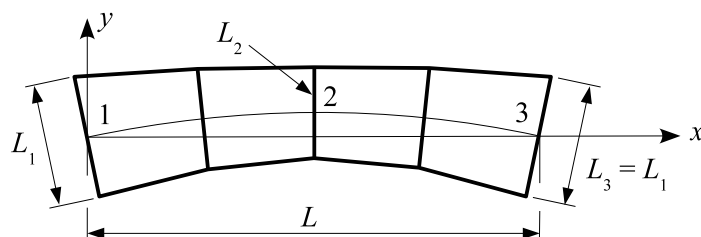
Treillis plans :



Paramètres :

- Longueur [L]
- Hauteur [H]
- Ordonnée du sommet de l'arc de cercle (1, 2, 3) [H_C]
- Hauteur à l'origine [H_O]
- Nombre de tronçons [N]

Treillis en arc de cercle :

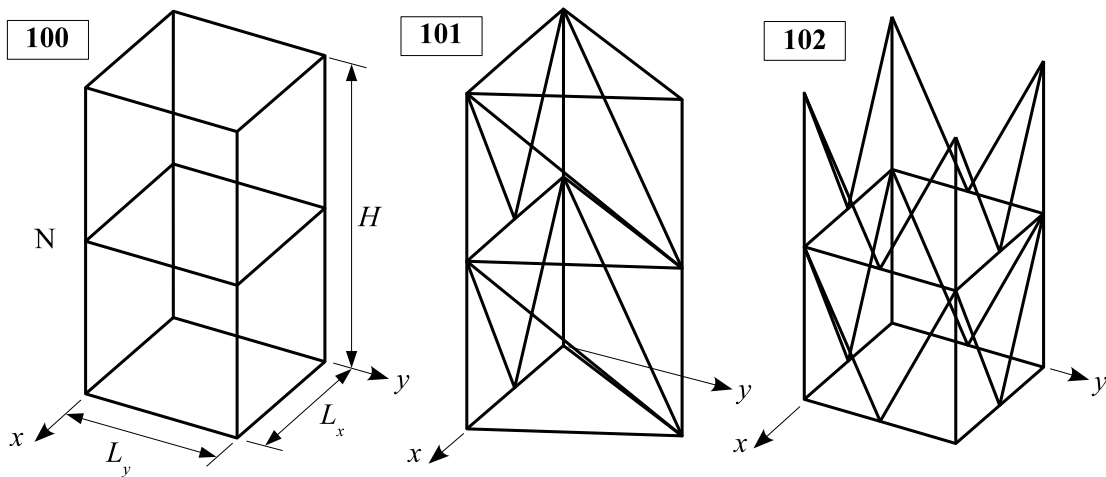


Les poutres transversales sont, en leur milieu, perpendiculaires à l'arc (1, 2, 3).

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]

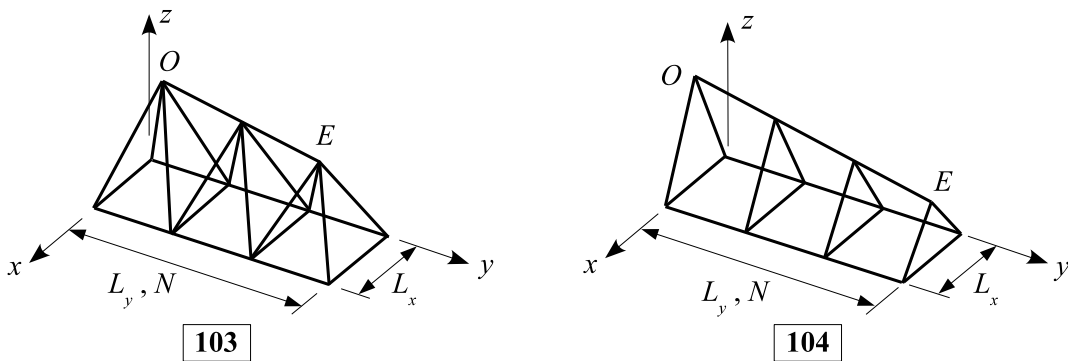
Ossatures spatiales :



Paramètres :

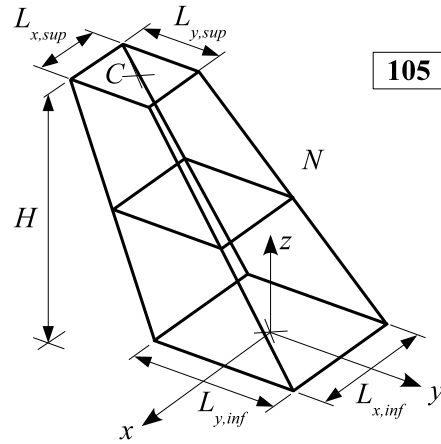
- Hauteur [H]
- Dimension suivant x [L_x]
- Dimension suivant y [L_y]
- Nombre de tronçons [N]

Ossatures spatiales :



Paramètres :

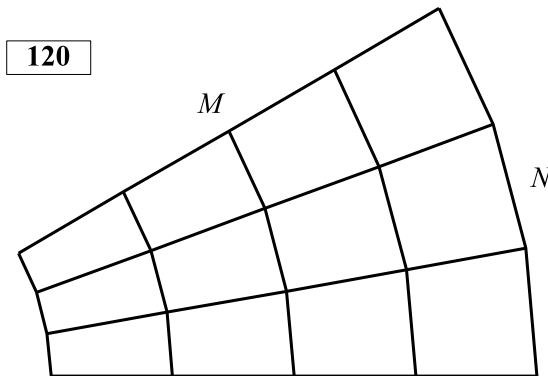
- Longueur [L_y]
- Largeur [L_x]
- Hauteur du point O [z_O]
- Hauteur du point E [z_E]
- Nombre de tronçons [N]

Ossature spatiale :

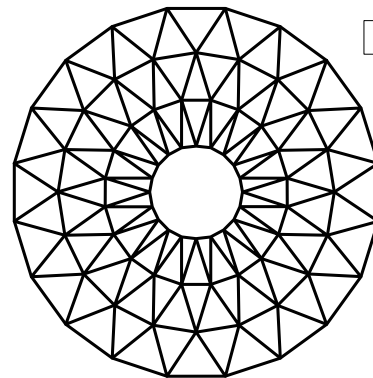
105

Paramètres :

- Hauteur [H]
- Centre du sommet [x_C , y_C] (le centre de la base est (0,0))
- Dimensions de la base [$L_{x,inf}$, $L_{y,inf}$]
- Dimensions du sommet [$L_{x,sup}$, $L_{y,sup}$]
- Nombre de tronçons [N].

Grille plane circulaire :

120

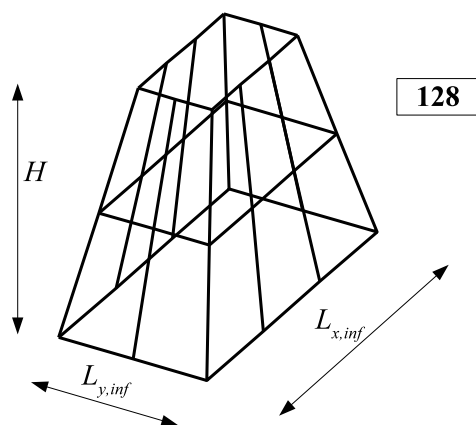


121

Paramètres :

- Rayon intérieur
- Rayon extérieur
- Angle de l'arc (ossature 120)
- Nombre de tronçons sur l'arc
- Nombre de tronçons sur le rayon

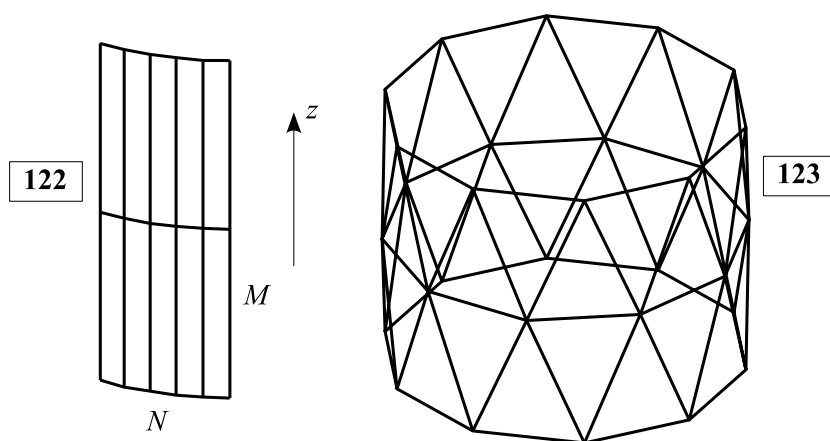
Tronc de pyramide d'axe z :



Paramètres :

- Hauteur [H]
- Dimensions de la base [$L_{x,inf}$, $L_{y,inf}$]
- Dimensions du sommet [$L_{x,sup}$, $L_{y,sup}$]
- Nombre de tronçons [N_x , N_y , N_z]

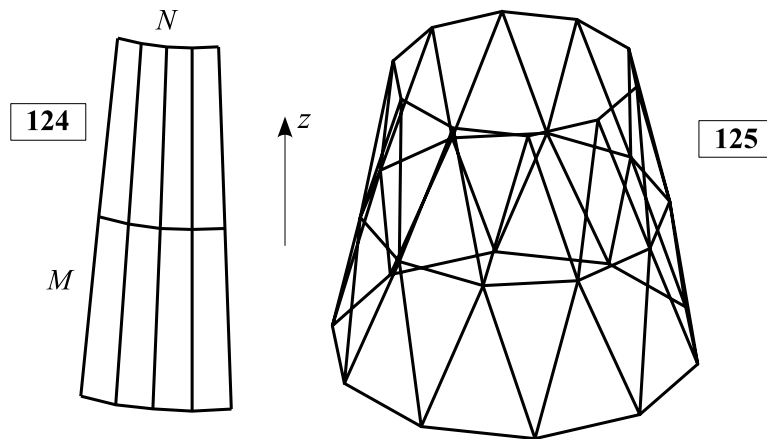
Cylindre d'axe z :



Paramètres :

- Nombre de tronçons sur l'angle [N]
- Nombre de tronçons sur la hauteur [M]
- Hauteur du cylindre
- Rayon du cylindre
- Angle (ossature 122)

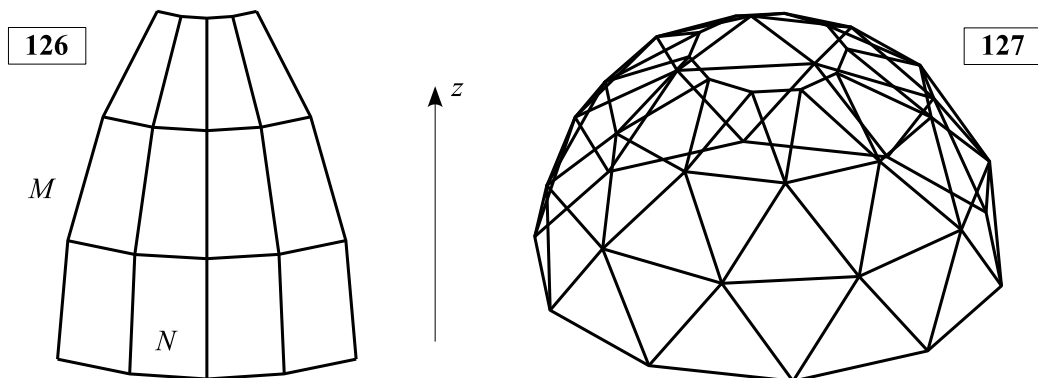
Tronc de cône [ossatures 124 et 125] :



Paramètres :

- Nombre de tronçons sur l'angle [N]
- Nombre de tronçons sur la hauteur [M]
- Hauteur
- Rayon de la base
- Rayon du sommet
- Angle (ossature 124)

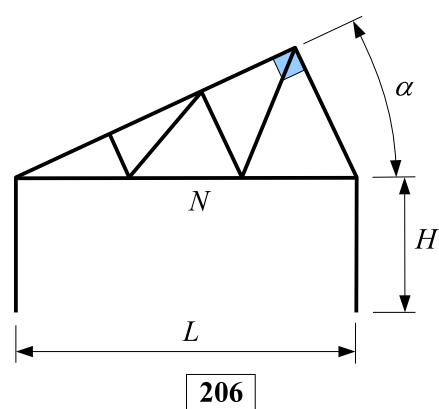
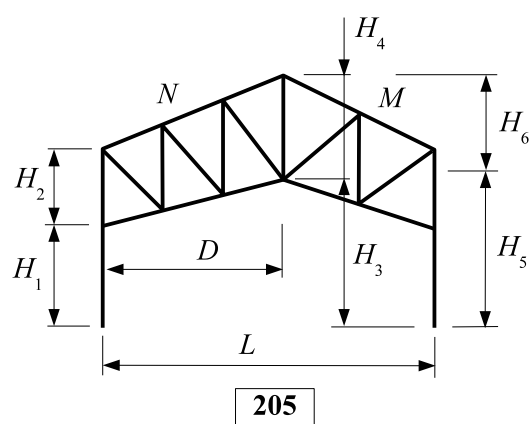
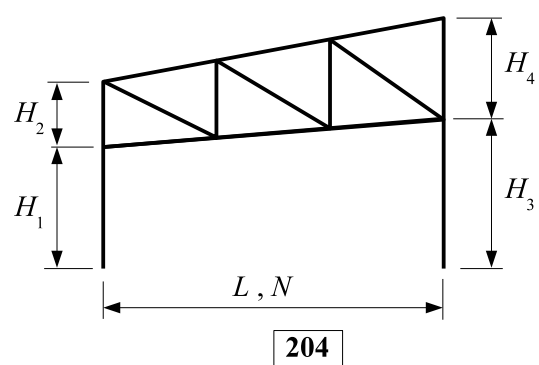
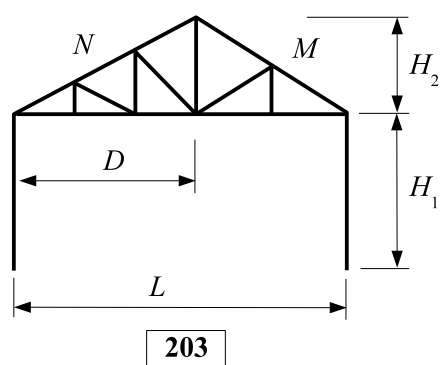
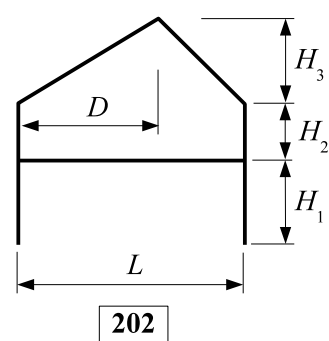
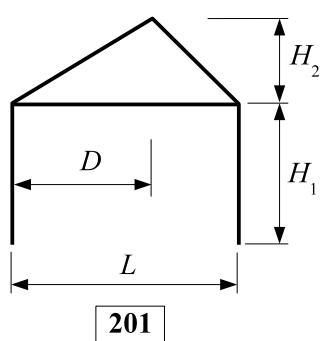
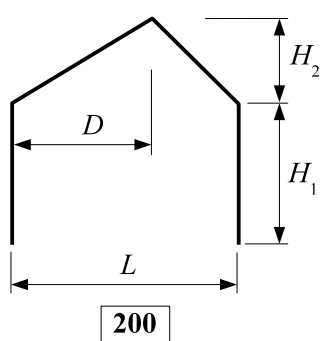
Coupole sphérique d'axe z :



Paramètres :

- Nombre de tronçons sur l'angle [N]
- Nombre de tronçons sur la hauteur [M]
- Hauteur
- Rayon de la base
- Rayon du sommet
- Angle (ossature 126)

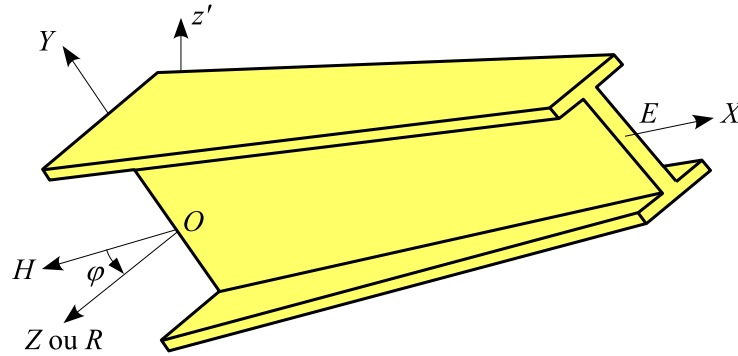
Fermes :



3.11 Repère local lié à une poutre

3.11.1 Définition

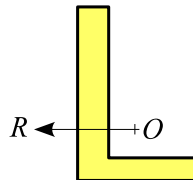
Soit une poutre d'origine O et d'extrémité E .



Le repère local $\{O; XYZ\}$ 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 nœuds origine et extrémité, la position des axes Y et Z dans le repère global $\{xyz\}$ 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 (§ **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 $\{O; Xz'\}$ et tel que le trièdre $\{Xz'H\}$ soit un trièdre direct.

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

Remarques :

- Par défaut, l'axe \overrightarrow{OH} est parallèle au plan $\{xz\}$ si l'ossature est plane et parallèle au plan $\{xy\}$ dans le cas contraire.
- Si l'axe X est parallèle à l'axe z , le plan $\{O; Xz'\}$ n'est pas défini. L'axe \overrightarrow{OH} est alors parallèle à l'axe x .

3.11.2 Modifier l'orientation angulaire d'une poutre

1. Sélectionner la commande **Orienter une poutre** du menu **Modéliser**.
2. La position angulaire d'une poutre peut être définie par :
 - L'angle φ .
 - Un nœud du plan $\{O; XR\}$.
 - Un point de composantes (x, y, z) du plan $\{O; XR\}$.
 - $\varphi = 90^\circ$.
 - $\varphi = 45^\circ$.
 - $\varphi = 180^\circ$.
3. Désigner une poutre.

3.12 Sections droites

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

Les poutres sont groupées par section. À chaque groupe est associé un **numéro** et un **trait : couleur et type**.

3.12.1 Groupes de section

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.

1. Pointer sur le bouton **Poutre**.
2. Désigner une poutre.

Changer le trait d'un groupe de poutres

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

1. Pointer sur le bouton **Groupe**.
2. 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.

1. Pointer sur le bouton **Fenêtre**.
2. Désigner les deux extrémités de l'une des diagonales de la fenêtre.

3.12.2 Définir une section droite

1. Activer le menu **Sections droites** du menu **Modéliser**.
2. 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 du logiciel ou de l'utilisateur : les caractéristiques sont lues dans un fichier de profilés.

Désigner le type de section : IPN, rond creux, ... (fichier profiles.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 de dessin de RDM – Éléments finis

Entrer le nom du fichier (sans extension [.geo]).

Fichier .gse : la section droite est définie par sa géométrie (segment(s), cercle(s), arc(s)). Le format du fichier est défini au § 6

Entrer le nom du fichier (sans extension [.gse]).

Afficher les attributs d'une poutre

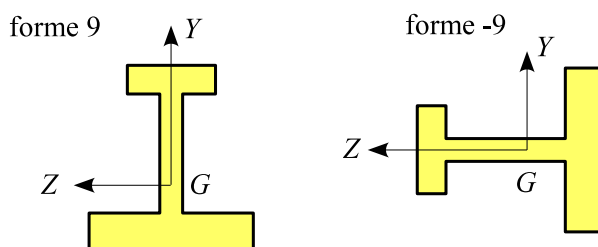
Désigner une poutre à l'aide du bouton droit de la souris.

3.12.3 Modifier les attributs d'un groupe de section droite

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

3.12.4 Échanger les axes Y et Z

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



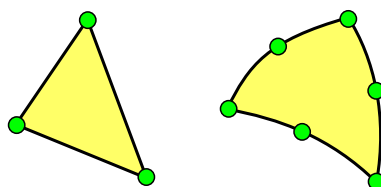
La géométrie de la section est tournée d'un angle égal à $+90^\circ$ si l'identificateur de la forme de la section est positif et d'un angle égal à -90° si l'identificateur est négatif.

3.13 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 cisailée...

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

1. Activer le menu **Calculer section droite** du menu **Modéliser**.
2. Désigner éventuellement une poutre du groupe (s'il existe plusieurs groupes).
3. 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 nœuds.
 - Le **nombre d'éléments** à générer.



4. Éditer éventuellement les caractéristiques (commande **Caractéristiques** du menu **Fichier**).

3.14 Matériaux

Par défaut, l'ossature est en acier.

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

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

3.14.1 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.

3.14.2 Modifier les caractéristiques d'un matériau

1. Sélectionner la commande **Modifier** dans le menu **Matériau(x)**.
2. Désigner une poutre du groupe (s'il y a plusieurs groupes).
3. Entrer les caractéristiques du matériau :

Nom

Module de Young (en MPa)

Coefficient de Poisson

Masse volumique (en kg/m³)

Coefficient de dilatation (en K⁻¹)

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

3.14.3 Lire un matériau dans la bibliothèque

1. Sélectionner la commande **Bibliothèque** ou **Bibliothèque de l'utilisateur** dans le menu **Matériau(x)**.
2. Désigner une poutre du groupe.
3. Sélectionner un matériau.

3.15 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 $\{xyz\}$ 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 $\{xyz\}$ est orthonormé et direct.

3.16 Liaisons extérieures et symétries

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

Les **types de liaisons** possibles sont :

Degré de liberté supprimé :

$$u = 0 \quad , \quad v = 0 \quad , \quad w = 0 \quad , \quad \theta_x = 0 \quad , \quad \theta_y = 0 \quad , \quad \theta_z = 0$$

Déplacement imposé :

$$u = d \quad , \quad v = d \quad , \quad w = d \quad , \quad \theta_x = \varphi \quad , \quad \theta_y = \varphi \quad , \quad \theta_z = \varphi$$

Appui élastique :

$$\begin{aligned} F_x &= -k u \quad , \quad F_y = -k v \quad , \quad F_z = -k w \\ M_x &= -k \theta_x \quad , \quad M_y = -k \theta_y \quad , \quad M_z = -k \theta_z \end{aligned}$$

où k est la raideur de l'appui.

Rotule :

$$u = v = w = 0$$

Encastrement :

$$u = v = w = \theta_x = \theta_y = \theta_z = 0$$

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

Symétrie par rapport à un plan parallèle à $\{xz\}$. Tous les nœuds situés dans ce plan sont tels que :

$$u = 0 \quad , \quad \theta_x = 0 \quad , \quad \theta_z = 0$$

Symétrie par rapport à un plan parallèle à $\{xy\}$. Tous les nœuds situés dans ce plan sont tels que :

$$w = 0 \quad , \quad \theta_x = 0 \quad , \quad \theta_y = 0$$

Symétrie par rapport à un plan parallèle à $\{yz\}$. Tous les nœuds situés dans ce plan sont tels que :

$$u = 0 \quad , \quad \theta_y = 0 \quad , \quad \theta_z = 0$$

3.17 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.

3.17.1 Définitions

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

$$\begin{bmatrix} N & T_Y & T_Z & Mt & Mf_Y & Mf_Z \end{bmatrix}$$

Les liaisons entre poutres prises en compte sont du type :

Rigide : l'effort transmis est de la forme :

$$\begin{bmatrix} N & T_Y & T_Z & Mt & Mf_Y & Mf_Z \end{bmatrix}$$

Pivot d'axe Y : l'effort transmis est de la forme :

$$\begin{bmatrix} N & T_Y & T_Z & Mt & Mf_Y = 0 & Mf_Z \end{bmatrix}$$

Pivot d'axe Z : l'effort transmis est de la forme :

$$\begin{bmatrix} N & T_Y & T_Z & Mt & Mf_Y & Mf_Z = 0 \end{bmatrix}$$

Rotule : l'effort transmis est de la forme :

$$\begin{bmatrix} N & T_Y & T_Z & Mt = 0 & Mf_Y = 0 & Mf_Z = 0 \end{bmatrix}$$

3.17.2 Définir une liaison intérieure

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

1. Activer le menu **Relaxations** du menu **Modéliser**.
2. 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

3. Désigner une poutre.
4. Désigner éventuellement le noeud « Rotule » ou le noeud « Pivot ».

3.18 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.

3.18.1 Ajouter un cas de charges

Sélectionner la commande **Ajouter un cas de charges** du menu **Cas de Charges**.

3.18.2 Détruire un cas de charges

1. Désigner le cas de charges (menu **Cas de Charges**).
2. Détruire toutes les charges
3. Sélectionner la commande **Compacter les données** du menu **Modéliser**.

3.18.3 Ajouter une charge à un cas de charge

1. Désigner le cas de charges (menu **Cas de Charges**).
2. Désigner le **type de charge**.

Les sollicitations disponibles sont :

Charge nodale (force ou couple)

- (a) Entrer les composantes de la charge dans le repère global.
- (b) Désigner un noeud.

Charge ponctuelle sur une poutre (force ou couple)

- (a) Désigner une poutre.
- (b) Entrer :
 - Le repère de référence (local ou 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

- (a) Entrer :
 - Le repère de référence (local ou global).
 - Les composantes de la force par unité de longueur.
- (b) Désigner une poutre.

Force répartie linéairement le long d'une poutre

- (a) Désigner une poutre.
- (b) Entrer :
 - Le repère de référence (local ou global).
 - Les composantes de la force par unité de longueur.

Force répartie linéairement sur une partie d'une poutre

- (a) Désigner une poutre.
- (b) Entrer :
 - Le repère de référence (local ou 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

- (a) Entrer la composante verticale de la force par unité de longueur projetée.
- (b) Désigner une poutre.

Couple réparti uniformément sur une partie d'une poutre

- (a) Désigner une poutre.
- (b) Entrer :
 - Le repère de référence (local ou 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

- (a) Désigner une poutre.
- (b) Entrer :
 - Le repère de référence (local ou 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 uniforme dans la structure

Entrer la variation de température.

Variation de température uniforme dans une poutre

- (a) Entrer la variation de température.
- (b) Désigner une poutre.

3.18.4 Créer ou modifier une combinaison de cas de charges

1. Sélectionner la commande **Combinaisons** du menu **Cas de charges**.
2. Sélectionner l'action à exercer.
3. Désigner éventuellement une combinaison (modification).
4. Entrer les numéros des cas de charge et les coefficients correspondants (création ou modification).

Exemple : (cas 1 \times 1.33) + (cas 3 \times 1) + (cas 2 \times -1.5) + ...

3.19 Ajouter ou détruire une masse

Les masses sont prises en compte pour le calcul des modes propres.

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

Le logiciel prend en compte :

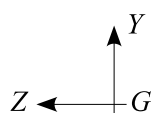
- Les **masses ponctuelles et nodales** (unité kg).
- Les **masses uniformément réparties** le long des barres (unité : kg par unité de longueur).

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

Chapitre 4

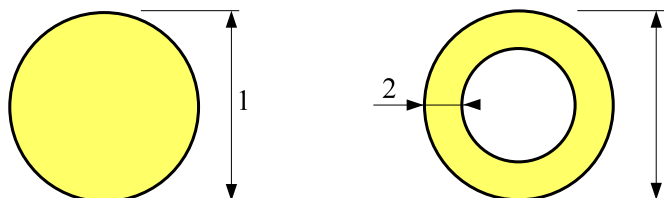
Dimensions des sections droites paramétrées

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



Rond plein [Forme 1]

Rond creux [Forme 2]

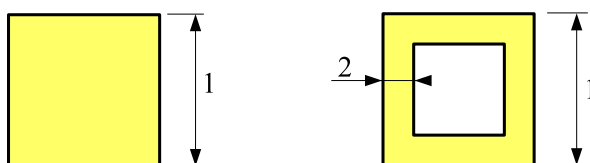


1. Diamètre extérieur

2. Épaisseur

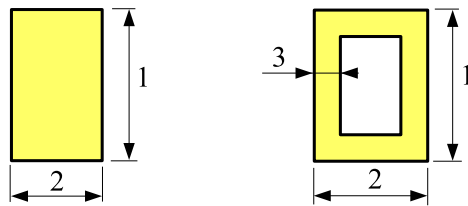
Carré plein [Forme 3]

Carré creux d'épaisseur constante [Forme 4]



1. Longueur du côté

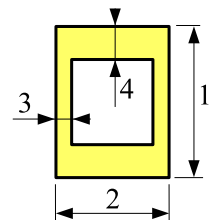
2. Épaisseur

Rectangle plein [Forme 5]**Rectangle creux d'épaisseur constante [Forme 7]**

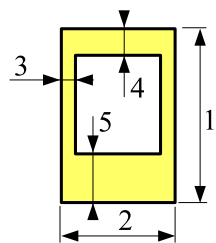
1. Longueur du côté parallèle à Y
2. Longueur du côté parallèle à Z
3. Épaisseur

Caisson bi-symétrique [Forme 6]

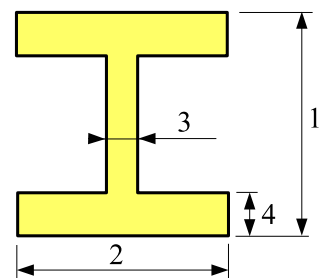
1. Longueur du côté parallèle à Y
2. Longueur du côté parallèle à Z
3. Épaisseur du côté parallèle à Y
4. Épaisseur du côté parallèle à Z

**Caisson mono-symétrique [Forme 46]**

1. Longueur du côté parallèle à Y
2. Longueur du côté parallèle à Z
3. Épaisseur du côté parallèle à Y
4. Épaisseur du côté parallèle à Z
5. Épaisseur du côté parallèle à Z

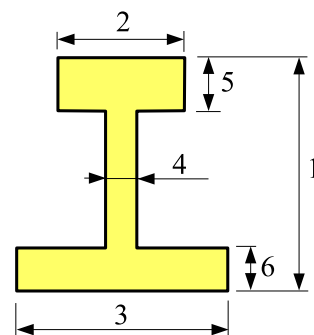
**I à semelles égales [Forme 8]**

1. Hauteur du I
2. Longueur des semelles
3. Épaisseur de l'âme
4. Épaisseur des semelles



I à semelles inégales [Forme 9]

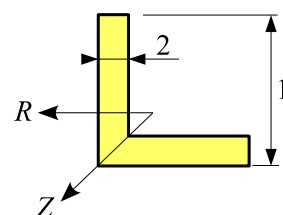
1. Hauteur du I
2. Longueur de la semelle supérieure
3. Longueur de la semelle inférieure
4. Épaisseur de l'âme
5. Épaisseur de la semelle supérieure
6. Épaisseur de la semelle inférieure



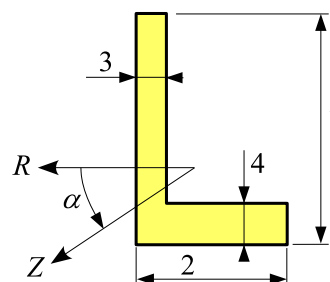
Remarque : la semelle supérieure est située à $Y > 0$ (Forme 9) ou $Z > 0$ (Forme -9).

Cornière à ailes égales [Forme 10]

1. Longueur des ailes
2. Épaisseur des ailes

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

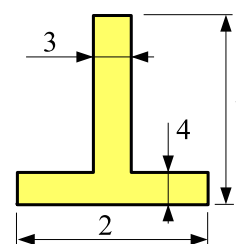
1. Longueur de la grande aile
2. Longueur de la petite aile
3. Épaisseur de la grande aile
4. Épaisseur de la petite aile



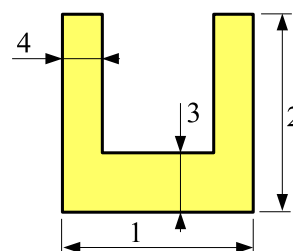
Remarque : l'angle α est calculé par le logiciel.

T à ailes égales [Forme 11]

1. Hauteur
2. Longueur de la semelle
3. Épaisseur de l'âme
4. Épaisseur des ailes

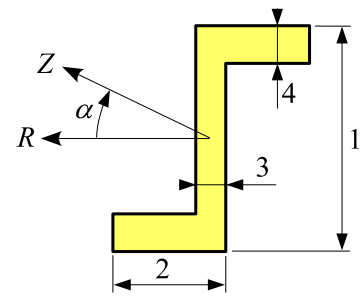
**U à ailes égales [Forme 12]**

1. Longueur
2. Hauteur
3. Épaisseur de l'âme
4. Épaisseur des ailes

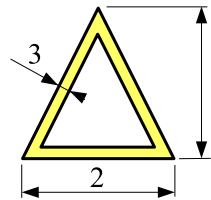
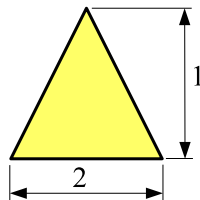


Z à ailes égales [Forme 14]

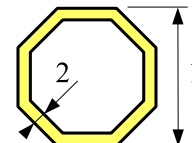
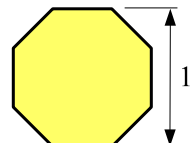
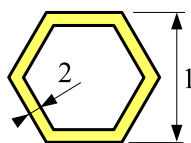
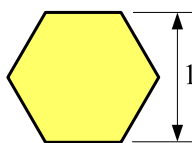
1. Hauteur
2. Longueur des ailes
3. Épaisseur de l'âme
4. Épaisseur des ailes



Remarque : l'angle α est calculé par le logiciel.

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

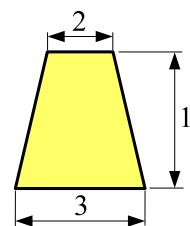
1. Hauteur
2. Base
3. Épaisseur

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

1. Côté sur plat
2. Épaisseur

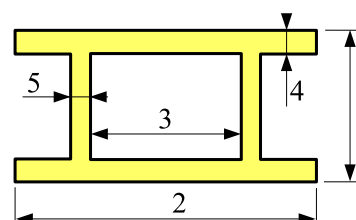
[Forme 19]

3 dimensions

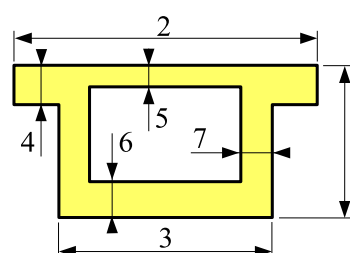


Double I symétrique [Forme 22]

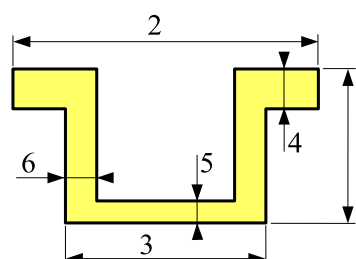
1. Hauteur
2. Longueur
3. Largeur du trou intérieur
4. Épaisseur des semelles
5. Épaisseur des âmes

**Caisson [Forme 23]**

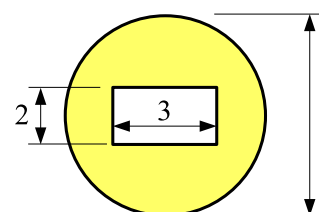
7 dimensions

**[Forme 26]**

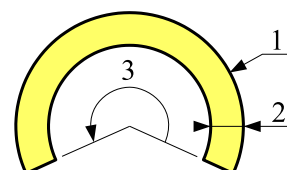
6 dimensions

**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

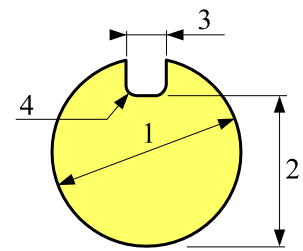
**Arc de cercle [Forme 32]**

1. Rayon de l'arc extérieur
2. Épaisseur de l'arc
3. Angle de l'arc (en degré)

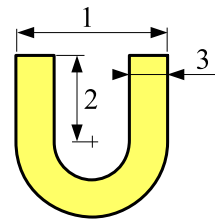


Arbre circulaire avec rainure de clavette [Forme 33]

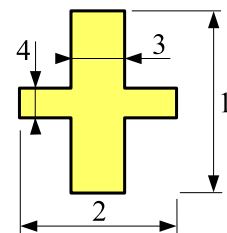
1. Diamètre de l'arbre
2. Hauteur
3. Largeur de la rainure
4. Rayon du raccordement

**Fer à cheval [Forme 36]**

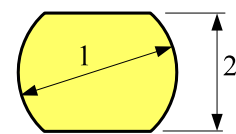
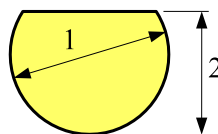
3 dimensions

**Croix à ailes inégales [Forme 37]**

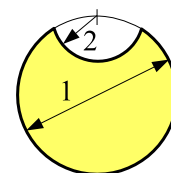
1. Longueur du côté parallèle à Y
2. Longueur du côté parallèle à Z
3. Épaisseur du côté parallèle à Y
4. Épaisseur du côté parallèle à Z

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

1. diamètre de l'arbre
2. hauteur

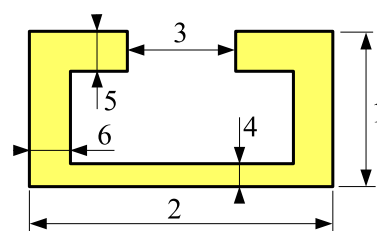
**Arbre circulaire avec rainure circulaire [Forme 40]**

1. Diamètre de l'arbre
2. Diamètre de la rainure

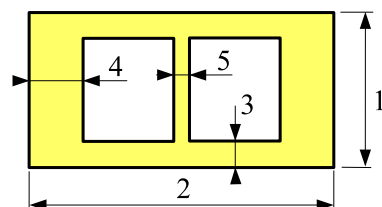


[**Forme 41**]

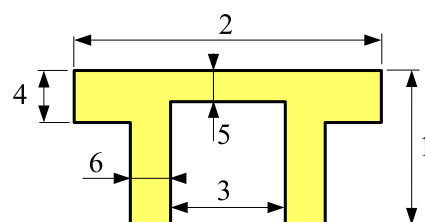
6 dimensions

**Bi-caisson** [**Forme 42**]

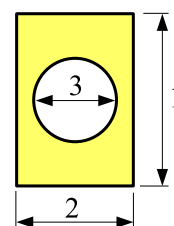
5 dimensions

[**Forme 43**]

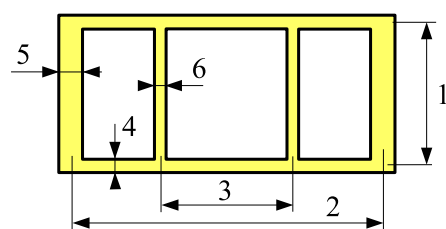
6 dimensions

[**Forme 44**]

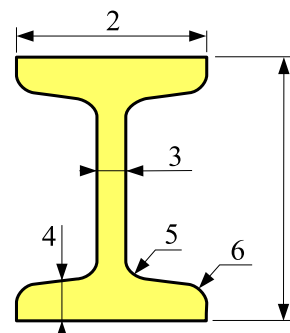
3 dimensions

[**Forme 45**]

6 dimensions

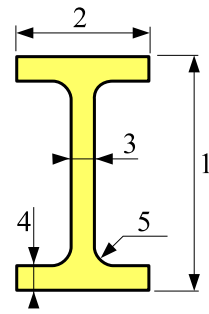
**Poutrelle IPN** [**Forme 101**]

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]

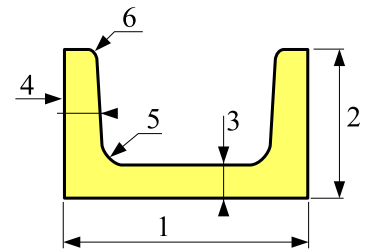


Poutrelle HEA, HEB, ... [Forme 102]

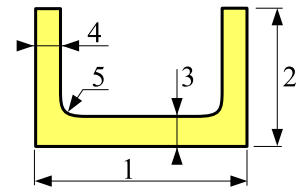
1. Hauteur [h]
2. Largeur [b]
3. Épaisseur de l'âme [t_w]
4. Épaisseur de la semelle [t_f]
5. Rayon du raccordement [r]

**Poutrelle UPN [Forme 103]**

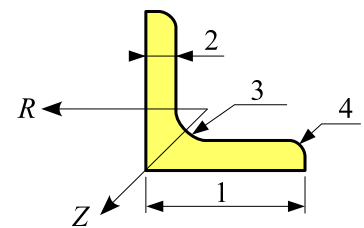
1. Hauteur [h]
2. Largeur [b]
3. Épaisseur de l'âme [t_w]
4. Épaisseur de la semelle à $b/2$ [t_f]
5. Rayon du raccordement [r]
6. Rayon du raccordement [r_1]

**Poutrelle UAP [Forme 104]**

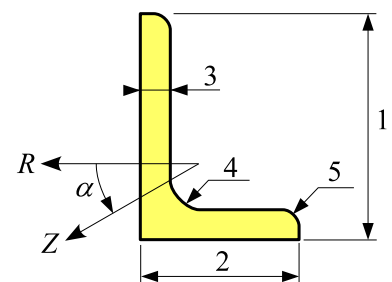
1. Hauteur [h]
2. Largeur [b]
3. Épaisseur de l'âme [t_w]
4. Épaisseur de la semelle [t_f]
5. Rayon du raccordement [r]

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

1. Longueur des ailes [a]
2. Épaisseur des ailes [t]
3. Rayon du raccordement [r]
4. Rayon du raccordement [r_1]

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

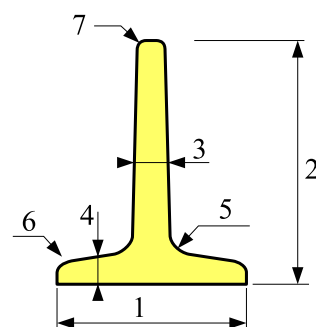
1. Longueur de la grande aile [a]
2. Longueur de la petite aile [b]
3. Épaisseur des ailes [t]
4. Rayon du raccordement [r]
5. Rayon du raccordement [r_1]



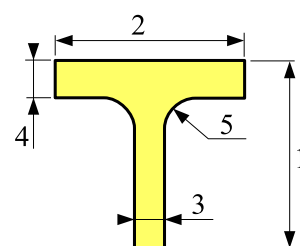
Remarque : l'angle α est calculé par le logiciel.

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

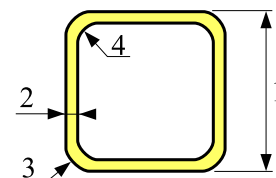
1. Largeur [b]
2. Hauteur [h]
3. Épaisseur de l'âme à $h/2$ [t_w]
4. Épaisseur des ailes à $b/4$ [t_f]
5. Rayon de raccordement [r_1]
6. Rayon du raccordement [r_2]
7. Rayon du raccordement [r_3]

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

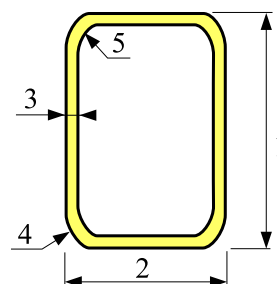
1. Hauteur [h]
2. Largeur [b]
3. Épaisseur de l'âme [t_w]
4. Épaisseur de la semelle [t_f]
5. Rayon du raccordement [r]

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

1. Côté du carré
2. Épaisseur
3. Rayon du raccordement extérieur
4. Rayon du raccordement intérieur

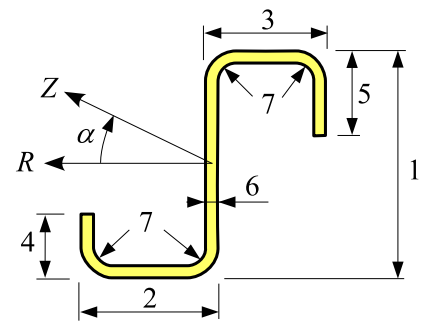
**Rectangle creux et à coins arrondis [Forme 110]**

1. Hauteur
2. Longueur
3. Épaisseur
4. Rayon du raccordement extérieur
5. Rayon du raccordement intérieur



Panne type Z rectangulaire
[Forme 80]

1. Hauteur [H]
2. Longueur [B_1]
3. Longueur [B_2]
4. Longueur [$C1$]
5. Longueur [$C2$]
6. Épaisseur [t]
7. Rayon [R]



Remarque : l'angle α est calculé par le logiciel.

Chapitre 5

Bibliothèque de l'utilisateur

5.1 Bibliothèque de matériaux

La bibliothèque de matériaux est contenue dans le fichier texte **MATERIAUX.BIB**.

5.1.1 Contenu du fichier **materials.bib**

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

\$DEBUT DU FICHIER

\$VERSION

1

\$REFERENCE (facultatif)

Source des données

\$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/m^3

DILATATION : coefficient de dilatation ($\times 10^6$) en K^{-1}

CONDUCTIVITE : conductivité thermique en $\text{W}/(\text{mK})$

CAPACITE : capacité calorifique volumique en $\text{MJ}/(\text{m}^3.\text{K})$

ou

CTMASSIQUE : capacité thermique massique en $\text{J}/(\text{kg.K})$

LIMITE ELASTIQUE : limite élastique en MPa

NOM : nom du matériau précédé du caractère *

/// : fin de la liste des attributs

\$MATERIAUX : liste des matériaux

Pour chaque matériau : liste des attributs

\$FIN DU FICHIER

5.1.2 Exemple : materiaux.bib (bibliothèque du logiciel)

```

$DEBUT DU FICHIER
$VERSION
1
$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/m3
DILATATION : coefficient de dilatation (  $\times 10^6$  ) en K-1
CONDUCTIVITE : conductivité thermique en W/(m.K)
CAPACITE : capacité calorifique volumique en MJ/(m3.K)
LIMITE ELASTIQUE : limite élastique en MPa
NOM : nom du matériau précédé du caractère *
/// : 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 0.34 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 au 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 85 0.18 1.62 80 *Plexiglas
60000 0.25 2600 6 0.98 2.18 50 *Verre
$FIN DU FICHIER

```

5.1.3 Caractéristiques utilisés par les modules de RDM

	Flexion	Ossatures	Éléments finis
nom	×	×	×
module de Young	×	×	×
coefficient de Poisson		×	×
masse volumique	×	×	×
limite élastique	×		
coefficient de dilatation		×	×
conductivité thermique			×
capacité thermique			×

5.2 Bibliothèque de profilés

Activer le menu **Bibliothèque de l'utilisateur** (menu initial).

5.2.1 Principe

Pour chaque type de profilés (HEA, carrés creux, ...), les **dimensions** sont dans un fichier dont l'extension est **.SEC**. À partir de ces fichiers, le logiciel calcule les **caractéristiques** (fichiers **.PRO**). Le fichier **PROFILES.BIB** contient la liste des fichiers **.PRO**.

$$\left. \begin{array}{l} \text{fichier .SEC} \Rightarrow \text{fichier .PRO} \\ \dots \end{array} \right\} \Rightarrow \text{fichier PROFILES.BIB}$$

5.2.2 Les fichiers .SEC

Les données (dimensions) 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 mais conseillé)

c'est le nom qui apparaît dans le fichier profiles.bib

\$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** (bibliothèque du logiciel)

```
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

```

5.2.3 Les fichiers .PRO

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 DU FICHIER** et **\$FIN DU FICHIER** :

\$DEBUT DU FICHIER

\$VERSION : version du fichier

\$NOM DU PROFIL (facultatif)

\$FORME : identificateur de la forme (§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** :

PERIMETRE	périmètre extérieur (cm)
AIRE	aire (cm ²)
TORSION	constante de torsion de Saint-Venant (cm ⁴)
IYY	moment quadratique par rapport à l'axe Y (cm ⁴)
IZZ	moment quadratique par rapport à l'axe Z (cm ⁴)
YSUPERIEUR	(cm)
YINFERIEUR	(cm)
ZSUPERIEUR	(cm)
ZINFERIEUR	(cm)
ALPHA	orientation angulaire : [voir : formes 13, 14 et 106] (radians)
WPY	module plastique par rapport à l'axe Y (cm ³)
WPZ	module plastique par rapport à l'axe Z (cm ³)
YCISAILLEMENT	(cm)
ZCISAILLEMENT	(cm)
IWW	constante de gauchissement (cm ⁶)
KYY	coefficient d'aire cisailée suivant Y
KZZ	coefficient d'aire cisailée suivant Z

BTY	β_Y (cm ⁵)
BTZ	β_Z (cm ⁵)
BTW	β_w (cm ⁶)
///	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.

\$FIN DU FICHIER

Exemple : **ipe.pro** (bibliothèque du logiciel)

```
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
wpy module plastique par rapport à y [ cm3 ]
```

```

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 ]
bty betay [ cm5 ]
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 nœuds 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 nœuds 1172 Eléments
DIY = -0.0545410 % - DIZ = -0.00709262 %
...
$fin du fichier

```

5.2.4 Le fichier PROFILES.BIB

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

Fichier profiles.bib du logiciel :

```

$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
...
$fin du fichier

```

Chapitre 6

Fichiers .gse

6.1 Contenu d'un fichier .gse (version 1)

La partie utile du fichier est comprise entre les « **mots clés** » **\$debut** du fichier et **\$fin** du fichier.

\$debut du fichier

\$version

1

\$ulong

unité de longueur : m , cm ou mm

valeur par défaut : m

\$points

nombre de points : n

1 y_1 z_1

2 y_2 z_2

...

n y_n z_n

\$courbes

segment point origine point extrémité

arc point origine point extrémité y_C z_C
(l'arc est parcouru dans le sens trigonométrique)
(C est le centre de l'arc)

cercle point du cercle y_C z_C
(C est le centre du cercle)

/// fin des courbes

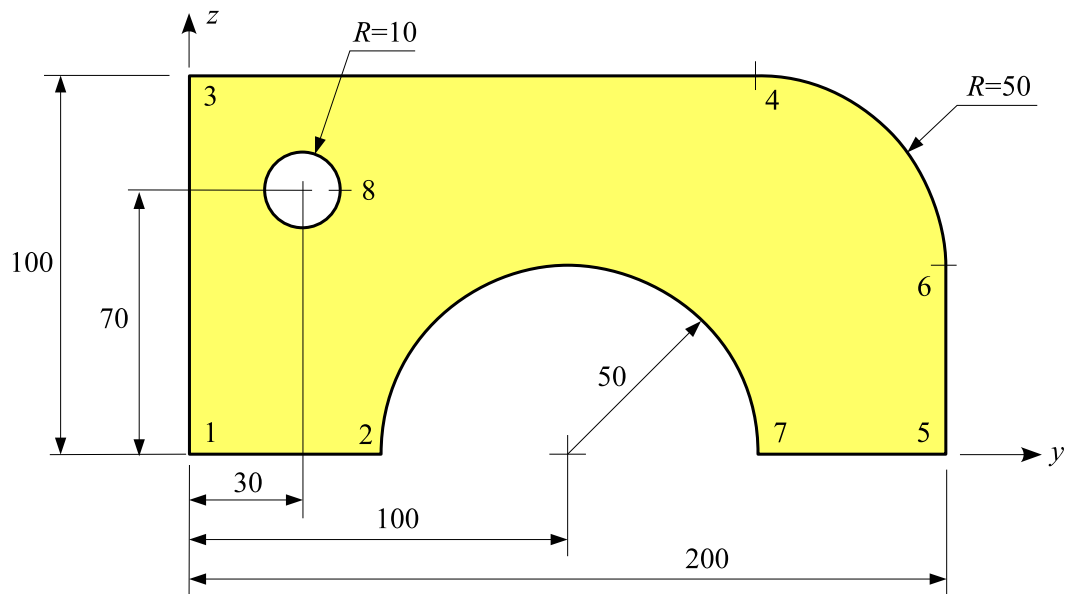
\$fin du fichier

Remarque : pour les réels, les formats suivants sont acceptés :

100 120E2 120E+2 120E-2 120e2 120.0E2 15.34 0.034

6.2 Exemple

Considérons la section droite représentée sur la figure (les dimensions sont en mm).



Le fichier .gse est :

```
$debut du fichier
$version
1
$ulong
mm
$points
8
1    0    0
2    50   0
3    0    100
4    150  100
5    200  0
6    200  50
7    150  0
8    40   70
$courbes
segment 3 4
segment 5 6
segment 7 5
arc 7 2 100 0
cercle 8 30 70
arc 6 4 150 50
segment 1 2
segment 1 3
/// fin des courbes
$fin du fichier
```

Chapitre 7

Fichier de sauvegarde

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

7.1 Sauvegarder les données

1. Sélectionner la commande **Enregistrer** du menu **Fichier**.
2. Entrer le nom du fichier sans extension.

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

7.2 Rappeler une ossature sauvegardée sur le disque

1. Sélectionner la commande **Ouvrir** du menu **Fichier**.
2. Entrer le nom du fichier sans extension.

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

Les unités utilisées sont le mètre, le kilogramme, la seconde et le radian (SI).

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

\$SI : système d'unités

\$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 :

1. numéro de la poutre
2. 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
3. numéro du noeud origine
4. numéro du noeud extrémité
5. orientation angulaire (composantes du vecteur unitaire porté par l'axe local R)
6. numéro du groupe de section
7. 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 de 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 *

FORME : numéro de la forme (section paramétrée ou variable)

DIMENSIONS : dimensions de la section (section paramétrée ou variable)

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 : β_Y [1 ou 5 valeurs]

BTZ : β_Z [1 ou 5 valeurs]

BTW : β_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 concerné

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

degré de liberté concerné , valeur du déplacement imposé

ELA : appui élastique suivant l'un des axes

degré de liberté concerné , raideur de l'appui

ROTULE : rotule ($u = v = w = 0$)

ENCASTREMENT : encastrement (tous les déplacements sont nuls)

/// : fin de la table des liaisons

\$SYMETRIE

XYS : symétrie par rapport au plan $z = D$

valeur de D

XZS : symétrie par rapport au plan $y = D$

valeur de D

YZS : symétrie par rapport au plan $x = D$

valeur de D

/// : fin de la table des symétries

\$GPESANTEUR

accélération de la pesanteur

\$CAS 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 : force uniformément répartie

composantes dans le repère global : q_x, q_y, q_z

numéro de la poutre chargée

FUNL : force uniformément répartie

composantes dans le repère local : q_X, q_Y, q_Z

numéro de la poutre chargée

FLIN : force linéairement répartie

composantes dans le repère global : $q_{xo}, q_{yo}, q_{zo}, q_{xe}, q_{ye}, q_{ze}$

numéro de la poutre chargée

FLIL : force linéairement répartie

composantes dans le repère local : $q_{Xo}, q_{Yo}, q_{Zo}, q_{Xe}, q_{Ye}, q_{Ze}$

numéro de la poutre chargée

FTRA : force en travée

position de la charge par rapport à l'origine de la poutre

composantes dans le repère global : F_x, F_y, F_z

numéro de la poutre chargée

FTRL : force en travée

position de la charge par rapport à l'origine de la poutre

composantes dans le repère local : F_X, F_Y, F_Z

numéro de la poutre chargée

CTRA : couple en travée

position de la charge par rapport à l'origine de la poutre

composantes dans le repère global : M_x, M_y, M_z

numéro de la poutre chargée

CTRL : couple en travée

position de la charge par rapport à l'origine de la poutre

composantes dans le repère local : M_X, M_Y, M_Z

numéro de la poutre chargée

FPAR : 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 : $q_{xo}, q_{yo}, q_{zo}, q_{xe}, q_{ye}, q_{ze}$

numéro de la poutre chargée

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 local : $q_{Xo}, q_{Yo}, q_{Zo}, q_{Xe}, q_{Ye}, q_{Ze}$

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

\$CISAILLEMENT TRANSVERSAL

le cisaillement transversal est pris en compte (modèle de Timoshenko)

\$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

Chapitre 8

Calculs et résultats

8.1 Calculs

8.1.1 Méthodes de calcul, mémorisation des matrices, ...

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

8.1.2 Paramètres du calcul

Sélectionner la commande **Paramètres** du menu **Calculer**.

Les principaux paramètres du calcul sont :

- La dimension des blocs (§ Méthodes de calcul, ...)
- L'accélération de la pesanteur
- Le modèle de poutre : modèle de Bernoulli ou modèle de Timoshenko

http://iut.univ-lemans.fr/ydlogi/cours/flexion_xy.pdf

8.1.3 Analyse statique

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

$$[K] \{U\} = \{F\}$$

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**.

8.1.4 Analyse dynamique : modes propres

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

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

où

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

Le résultat dépend de plusieurs paramètres : maillage de la structure (nombre d'éléments), ...

Remarque : la matrice de masse est consistante.

Mode opératoire :

1. Sélectionner la commande **Analyse dynamique** du menu **Calculer**.
2. Entrer :
 - Le **nombre de modes propres** à étudier.
 - Le nombre d'éléments : maillage de l'ossature.
 - La **méthode de calcul : itération inverse** ou **itération sur sous-espace**.
 - La **précision** avec la quelle les fréquences propres seront calculées : soient ω l'une des pulsations propres, ω_{i-1} et ω_i les valeurs de ω 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.

8.2 Résultats

8.2.1 Analyse statique

Les principales commandes disponibles sont :

Éditer les résultats

Éditer le fichier .RES

Éditer 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** du menu **Résultats**).

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

1. Sélectionner la commande Poutre.
2. Désigner une Poutre.
3. 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

1. Désigner une Poutre.
2. Désigner la grandeur à représenter.
3. Modifier les paramètres : abscisse de la section, ...

Flambement linéaire

1. Sélectionner la commande **Flambement** du menu **Résultats**.
2. Entrer :
 - Le **nombre de modes de flambement** à calculer.
 - Le nombre d'éléments : maillage de l'ossature.
 - L'hypothèse de calcul (petites rotations ou rotations modérées).
 - La **précision** avec laquelle les valeurs propres seront calculées : soient λ l'une des valeurs propres, λ_{i-1} et λ_i les valeurs de λ 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.

8.2.2 Analyse dynamique

Les commandes disponibles sont :

Éditer le fichier .RES

Éditer les résultats

Éditer les résultats de l'analyse modale

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** du menu **Résultats**).

Afficher l'énergie de déformation par unité de longueur

Afficher l'énergie cinétique par unité de longueur

Bibliographie

- [1] J.-L. BATOZ et G. DHATT – *Modélisation des structures par éléments finis, Volume 2. Poutres et plaques*, Hermès, 1990.
- [2] Z. P. BAŽANT et L. CEDOLIN – *Stability of structures. Elastic, inelastic, fracture, and damage theories*, Oxford University Press, 1991.
- [3] W.-F. CHEN et E.-M. LUI – *Stability design of steel frames*, CRC Press, 1991.
- [4] L. CHEVALIER – *Mécanique des systèmes et des milieux déformables. Cours, exercices et problèmes corrigés*, Ellipses, 2004.
- [5] J. COURBON – *Résistance des matériaux, Tome 1*, 2 éd., Dunod, 1964.
- [6] F. FREY – *Traité du génie civil, Volume 2. Analyse des structures et milieux continus. Mécanique des structures*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 2000.
- [7] R. H. GALLAGHER – *Introduction aux éléments finis*, Pluralis, 1976.
- [8] S. LAROZE – *Mécanique des structures, Tome 2. Poutres*, Cépaduès, 2005.
- [9] J. S. PRZEMIENIECKI – *Theory of matrix structural analysis*, Dover, 1986.
- [10] S. P. TIMOSHENKO et J. M. GERE – *Theory of elastic stability*, McGraw-Hill, 1961.
- [11] — , *Théorie de la stabilité élastique*, Dunod, 1966.
- [12] N. S. TRAHAIR – *Flexural-torsional buckling of structures*, Chapman & Hall, 1993.
- [13] N. S. TRAHAIR et M. BRADFORD – *The behavior and design of steel structures*, Chapman & Hall, 1991.
- [14] H. ZIEGLER – *Principles of structural stability*, 2 éd., Birkhauser Verlag, 1977.