

Campus
technique

8a, avenue V.Maistriau B-7000 Mons
Tél : +32 (0)65 33 81 54
Fax : +32 (0)65 31 30 51
E-mail : tech-mons@heh.be

www.heh.be

MSM1

Introduction à l'analyse des structures

INTRODUCTION : LA RESISTANCE DES MATERIAUX

1°) INTRODUCTION

Les théories de la Résistance des Matériaux sont la base de la théorie des structures en génie civil et du calcul des organes de machines, qui ont pour but de rechercher les meilleures formes et dimensions à donner aux éléments d'une construction ou d'une machine, pour leur permettre de résister à l'action des forces qui les sollicitent, ainsi que pour obtenir ce résultat de la manière la plus économique possible.

Pratiquement, cette étude peut se présenter sous deux aspects différents:

a) On peut connaître les forces extérieures appliquées et rechercher quelles sont les *dimensions* à donner au corps pour que les efforts internes ou les déformations ne dépassent pas une limite fixée d'avance: c'est un *problème de dimensionnement* ;

b) Connaissant les forces extérieures et les dimensions du corps, on peut se demander quels seront les *efforts intérieurs* ou les *déformations* résultant de l'application de ces forces, et vérifier que ces efforts (ou ces déformations) sont bien inférieurs à une limite fixée d'avance: c'est un *problème de vérification*.

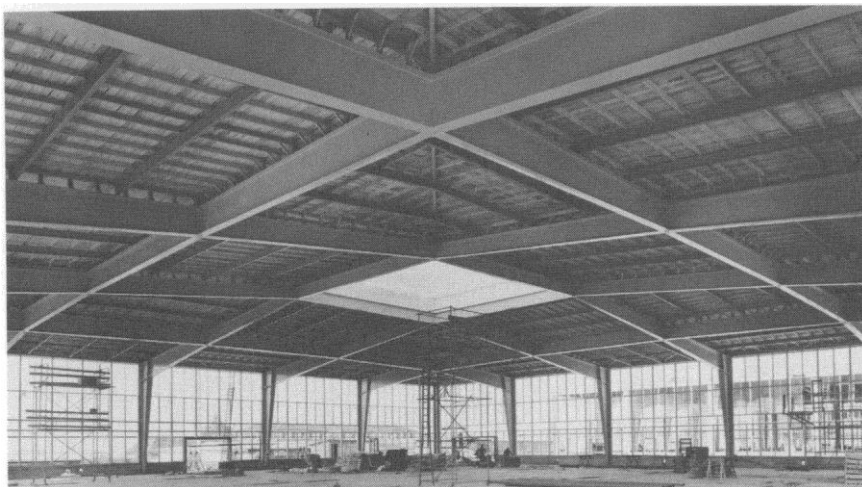
2°) MODELISATION

En génie civil ou en construction des machines, l'ingénieur confronté à un problème de dimensionnement ou de vérification devra modéliser :

- la structure ou l'organe étudié proprement dit
- les sollicitations s'exerçant sur cette structure
- les liaisons de cette structure avec le monde extérieur (ou une autre structure)

MODELISATION DE LA STRUCTURE DE LA STRUCTURE PROPEMENT DITE

L'ingénieur ne peut étudier la structure en tenant compte de sa géométrie réelle. Il va donc définir le **schéma statique** de sa structure, schéma simplifié de la structure réelle et créé à partir d'**éléments structuraux**. Ceux-ci peuvent se répertorier en trois catégories :

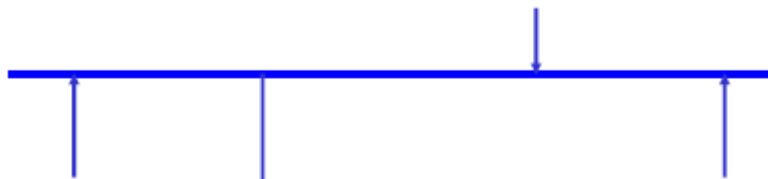
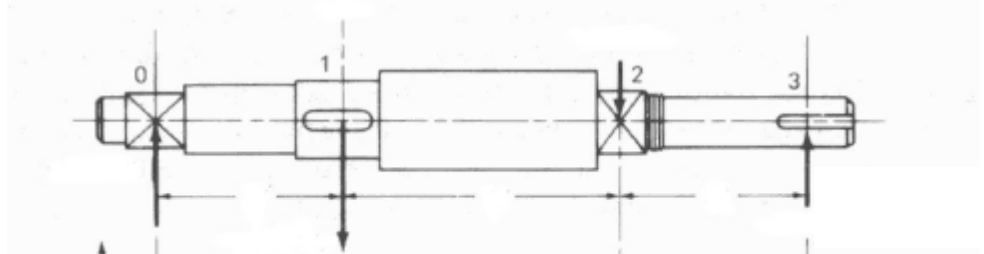


Structure en poutre : halle du comptoir suisse à Lausanne

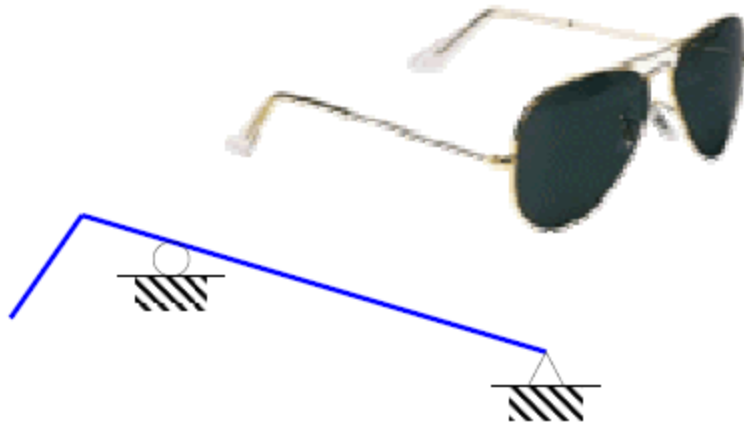
- élément 1-D : deux dimensions de cet élément sont plus petites que la troisième. Les barres, câbles et poutres sont allongés, filiformes et s'identifient à des lignes droites, polygonales ou courbes. Le schéma statique consistera au tracé de ligne moyenne de cet élément.



Colonne de béton armé dans un bâtiment

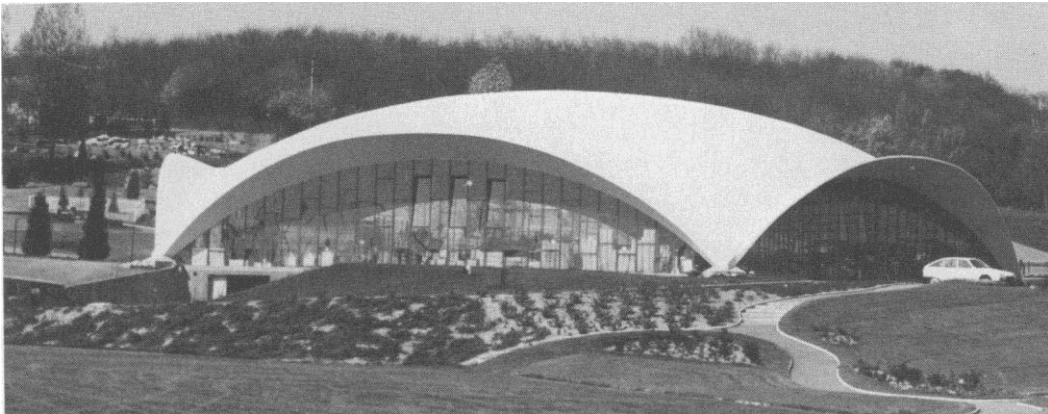


Arbre de machine avec son schéma statique



Paire de lunette

- Élément 2-D : les parois, plaques et coques sont qualifiées de minces, parce que l'une des dimensions, l'épaisseur est beaucoup plus petite que les deux autres ; elles sont assimilables à des surfaces planes, polyédriques ou courbes.



Structure en coque : Garden-center Clause, près de Paris

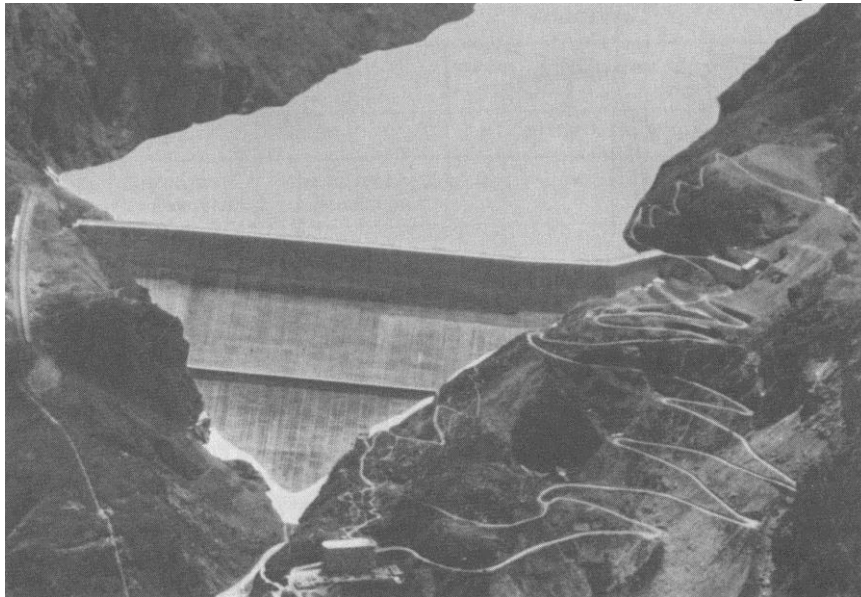


Voile en béton armé

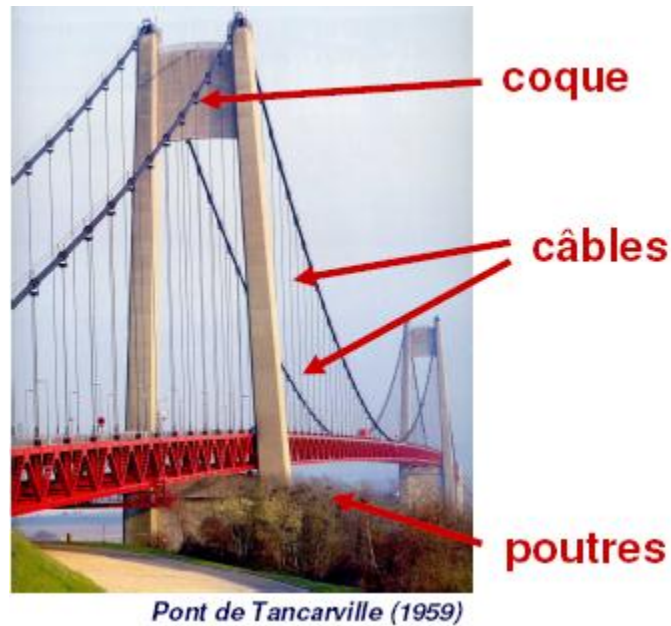


Réservoirs

- Élément 3-D : les corps massifs tridimensionnels conservent la dénomination générale de solides : leurs trois dimensions sont du même ordre de grandeur.



Structures en élément 3-D : barrage de la Grande-Durance



MODELISATION DES SOLLICITATIONS ET DES LIAISONS AVEC LE MONDE EXTERIEUR

La modélisation des sollicitations se fait à l'aide de forces soit ponctuelles soit réparties (linéiques ou surfaciques) et de couples.

Les liaisons sont définies comme une entrave potentielle d'un système, c'est-à-dire à une limitation aux positions qu'il peut prétendre prendre. Une liaison aura pour effet de bloquer ou libérer certains degrés de liberté :

Exemple :

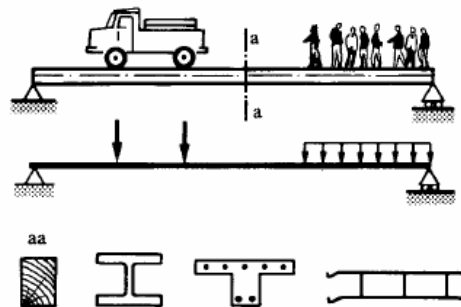


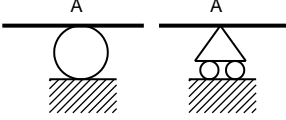
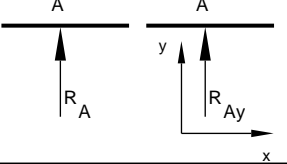
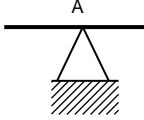
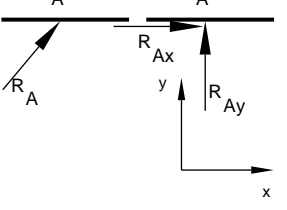
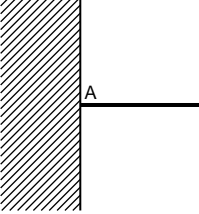
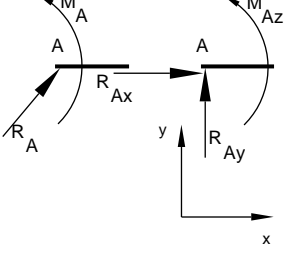
Schéma statique d'une poutre (section droite aa: équerri en bois; laminé en acier; béton armé; extrudé en aluminium).

[Frey, 1990, Vol. 1]

- Pour bloquer une translation, la liaison doit pouvoir développer une force parallèle à la direction de translation
- Pour bloquer une rotation, la liaison doit pouvoir développer un moment d'axe parallèle à l'axe de rotation.

En **statique plane**, on distingue :

- Appui simple (rouleau) : assure le blocage de translation dans une direction
- Articulation (rotule) : assure le blocage de translation dans deux directions
- Encastrement : assure 3 blocages : translation dans deux directions et rotation

<u>Appuis</u>	<u>Représentations conventionnelles</u>	<u>Réactions d'appuis</u>
Appui simple (rouleau)		
Appui articulé (rotule)		
Encastrement		

Exemple : la figure suivante représente l'arbre d'entrée d'un broyeur à cailloux de grande capacité.

Roue dentée (engrenage à axes perpendiculaires)

Paliers lisses assurant le guidage

Courroie crantée

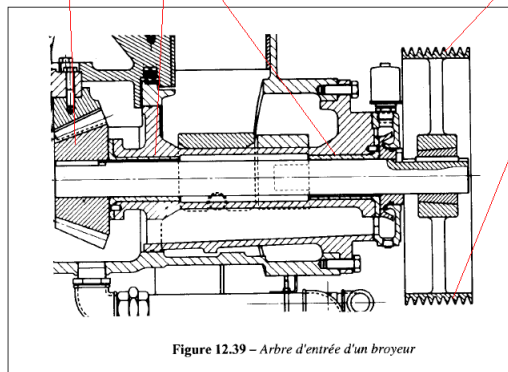


Figure 12.39 – Arbre d'entrée d'un broyeur

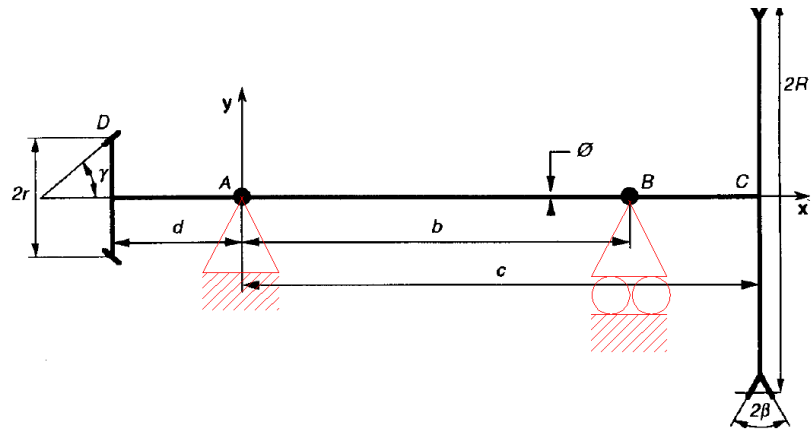


Schéma statique de l'arbre du broyeur



W. Lossow et M. Kühn,
Gare centrale de Leipzig, 1916
[Gössel, 1991]

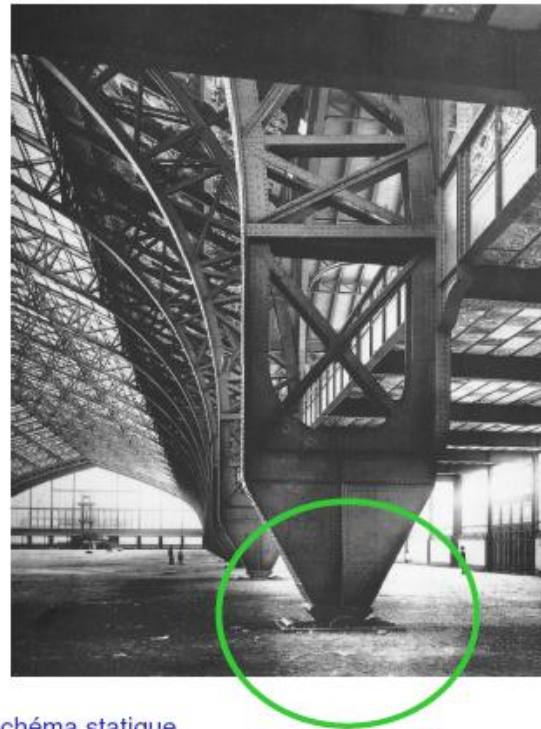
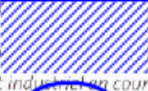


Schéma statique

Exemple d'articulation pour une ossature métallique



Ossature en  qués en béton
d'un bâtiment industriel en cours de montage.
Au premier plan, les poteaux, scellés dans leur fondation,
sont prêts à recevoir les poutres de la couverture.

Exemple d'encastrement

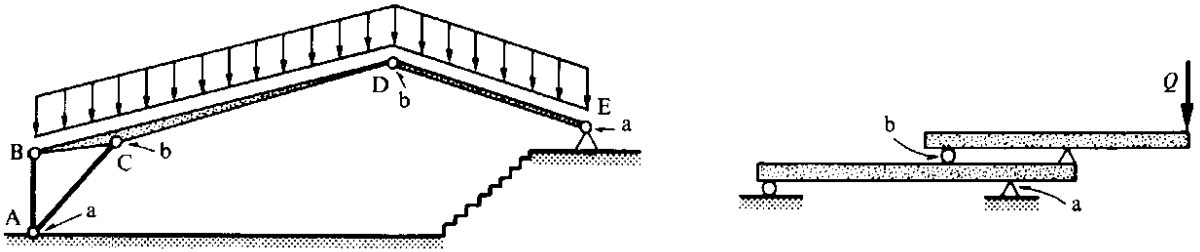


Exemple d'appui simple

MODELISATION DES LIAISONS ENTRE STRUCTURES

On réalise souvent en pratique des constructions formées d'un ensemble d'éléments structuraux, assemblés les uns aux autres par des dispositifs semblables aux appuis. On

appelle ces constructions **structures composées** et les dispositifs qui les lient **organes de liaison**



Structures composées (a : appui, b : liaison)

L'organe de liaison le plus fréquent est *l'articulation*, dont le symbole graphique est un petit cercle. Sur la figure suivante (cas plan), les points du solide Ω_1 , voisins de l'articulation A ne peuvent s'écartier de Ω_1 ni en translation horizontale, ni en translation verticale; par contre, la rotation relative est possible. *L'articulation bloque les composantes de translation.*

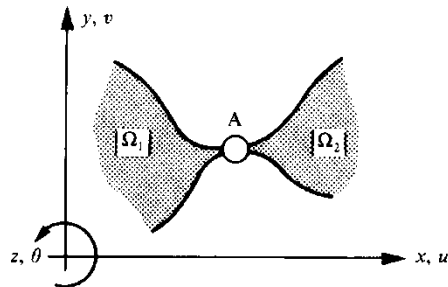
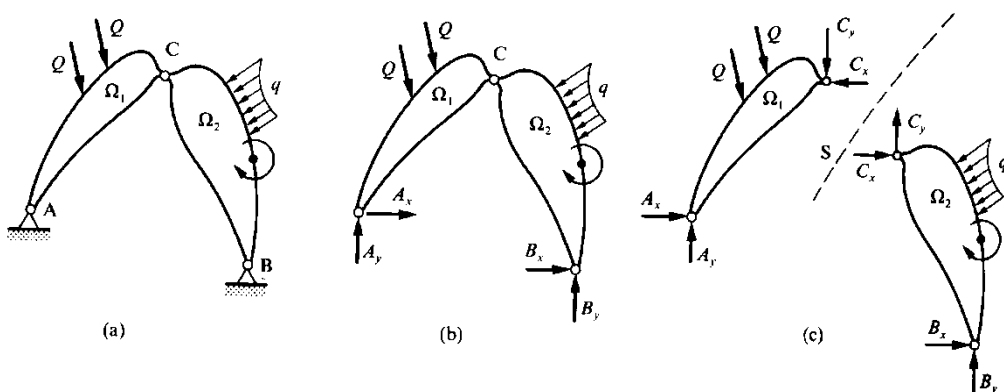


schéma statique de l'articulation

Les forces qui s'exercent d'un solide à l'autre à travers les organes de liaison s'appellent **forces de liaison**; leur existence ressort du principe de la coupe. Pour les extérioriser, il faut *couper et disloquer*.

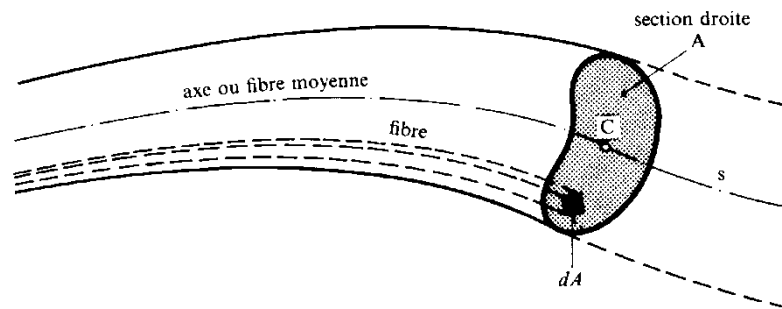


Etude d'une structure composée (a) donnée ; (b) extériorisation des seules réactions ; (c) dislocation extériorisant les forces de liaison et les réactions

3°) THEORIE DE LA POUTRE

L'objectif de ce cours est l'étude des éléments structuraux 1-D et plus particulièrement de la poutre. Une **poutre** est un élément structural allongé, engendré par une figure plane A qui se meut dans l'espace de telle sorte que

- le centre C de A parcourt une ligne donnée s ;
- A reste constamment normale à cette ligne;
- les dimensions de A restent petites vis-à-vis de la longueur parcourue sur s .



Géométrie d'une poutre.

La ligne s , dite **axe ou fibre moyenne** de la poutre, peut être une courbe quelconque; si c'est une ligne droite, ce qui est fréquent, on a une **poutre droite**. La figure plane A peut varier en grandeur et forme au cours du mouvement, mais, en principe, seulement d'une manière lente et progressive; si A reste invariable, on a une **poutre à section constante**; si en plus l'axe est droit, on obtient une **poutre prismatique**. La ligne engendrée par un élément d'aire dA de A s'appelle **fibre**, sans que cette dénomination ait quelque relation avec la structure de la matière composant la poutre (béton...).

CHAPITRE 1 : PRINCIPE DE LA COUPE ET DIAGRAMMES NVM

1°) PRINCIPE DE LA COUPE DE RITTER

On considère un corps solide S en équilibre sous l'action des forces appliquées et des forces de liaison extérieures (fig. 1)

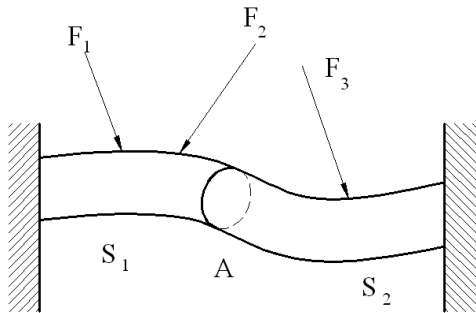


fig 1

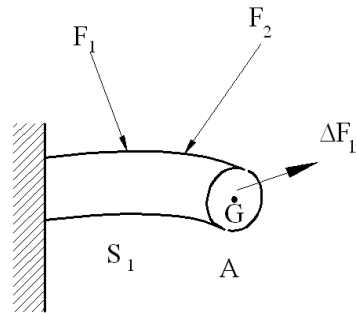


fig.2

On imagine, par la pensée, qu'une surface A divise le solide S en deux parties : la partie S_1 à gauche de A et la partie S_2 à droite de A . On isole la partie gauche S_1 (fig. 2).

La partie S_1 est en équilibre sous l'action des forces de liaison extérieures, des forces appliquées et des forces de liaisons intérieures qui sont les forces que la partie droite S_2 exerce sur la partie gauche S_1 à travers la section A . A travers chaque élément de surface ΔA de la surface A , la partie S_2 exerce sur celle de gauche des forces de contacts $\overrightarrow{\Delta F_{li}}$ (force de liaison intérieure). Ce torseur peut être réduit à deux vecteurs, $\overrightarrow{R_{li}}$ et $\overrightarrow{M_{li}}$ en prenant pour centre de réduction, par exemple, le centre de masse G de la section A (fig. 3).

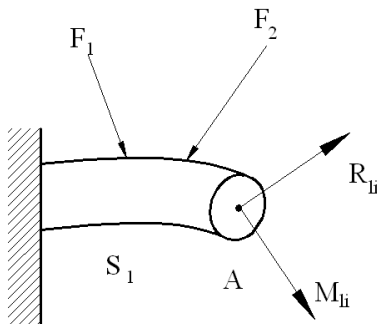


fig.3

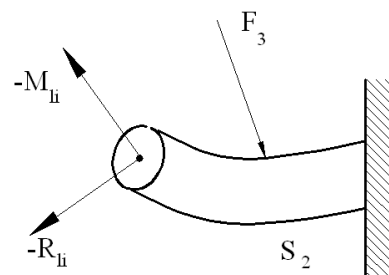


fig.4

La partie gauche S_1 est donc en équilibre sous l'action :

- des forces de liaison externes
- des forces appliquées à S_1
- de la force $\overrightarrow{R_{li}}$ appliquée en G et du couple $\overrightarrow{M_{li}}$

D'après le principe de l'action et de la réaction, la partie gauche S_1 exerce à travers A sur la partie droite S_2 des forces de liaison intérieures opposées que l'on peut réduire à la force $-\vec{R}_{ii}$ appliquée en G et au couple $-\vec{M}_{ii}$ (fig. 4). La partie droite S_2 est donc en équilibre sous l'action

- des forces de liaison externes
- des forces appliquées à S_2
- de la force $-\vec{R}_{ii}$ appliquée en G et du couple $-\vec{M}_{ii}$

Le principe de la coupe permet donc d'extérioriser les forces intérieures.

2°) ELEMENTS DE REDUCTION DANS LA SECTION DROITE DE LA POUTRE

On coupe la poutre en un point G, suivant un plan perpendiculaire à l'axe. On a vu que le torseur des forces intérieures se réduit à deux vecteurs, \vec{R}_{ii} et \vec{M}_{ii} (en prenant pour centre de réduction G). On considère un trièdre Gxyz, direct tel que l'axe x soit normal à la section A, les axes y et z sont situés dans le plan de la section droite, (axe y horizontal et orienté positivement vers la gauche et axe z vertical et orienté positivement vers le bas) (fig.5).

Par définition, **l'effort normal N** est la projection sur l'axe x du vecteur \vec{R}_{ii} . Les projections sur les axes y et z du vecteur \vec{R}_{ii} sont notées V_y et V_z et sont appelées **efforts tranchants**.

Par définition, le **moment de torsion T** est la projection sur l'axe x du vecteur \vec{M}_{ii} ; M_y et M_z , **moments fléchissants** (moments de flexion) sont les projections du vecteur \vec{M}_{ii} sur les axes y et z.

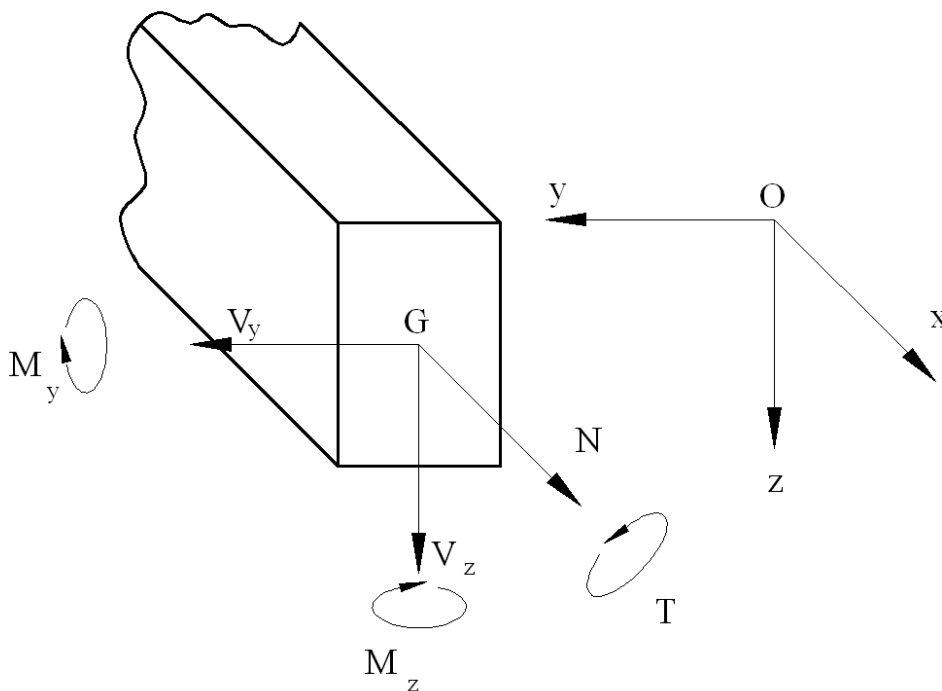


fig.5

N , V_y , V_z , T , M_y et M_z sont appelés éléments de réduction de la section considérée.

Eléments de réduction d'une poutre en double té

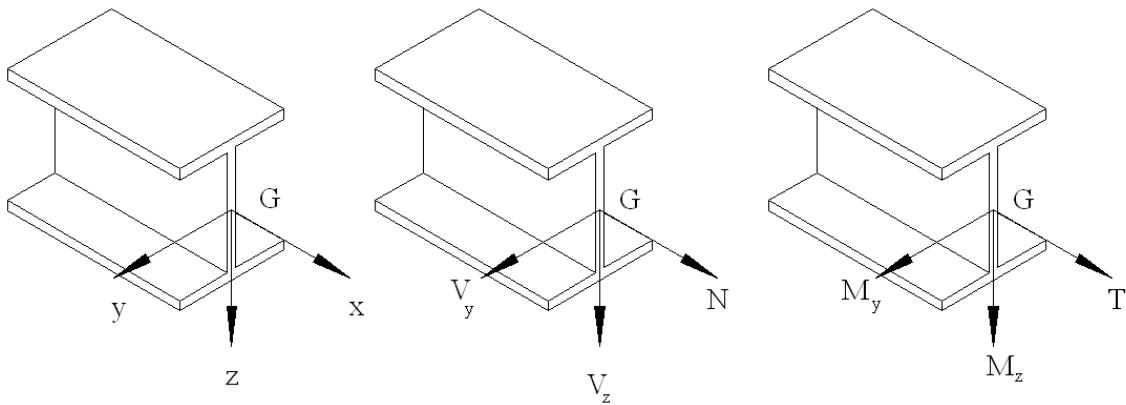


fig. 6

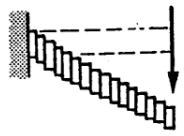
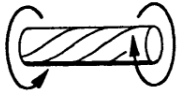
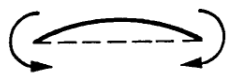
Effort intérieur	Illustration et modélisation	Déformation produite
N		allongement (traction) raccourcissement (compression)
V		déformation transversale ou glissement 
T		torsion ou déformation en hélice 
M		courbure 

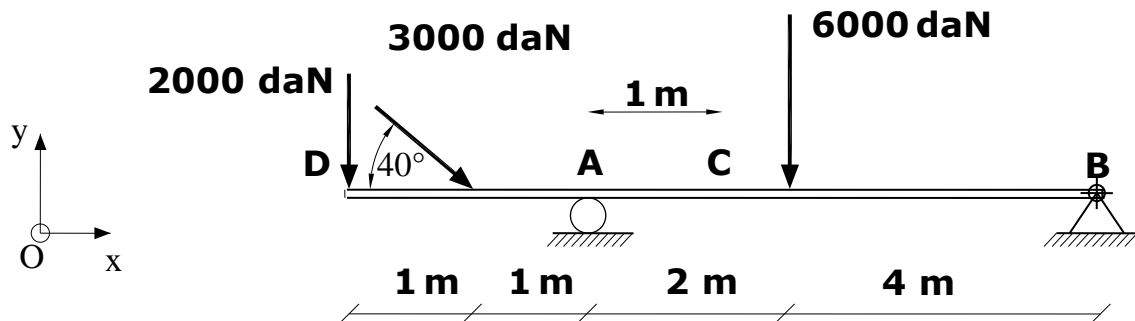
Fig.7 : Tableau extrait de l'ouvrage « introduction à l'analyse des structures » de Marc-André Studer (Presses Polytechniques et Universitaires Romandes)

3°) STRUCTURES PLANES SOLLICITEES DANS LEUR PLAN

Dans ce cas particulier, M_z , V_y et T sont nuls. Seuls subsistent N , V_z et M_y . Pour simplifier les notations, on écrit V au lieu de V_y et M au lieu de M_z .

4°) APPLICATIONS

Considérons la poutre suivante chargée dans son plan vertical :

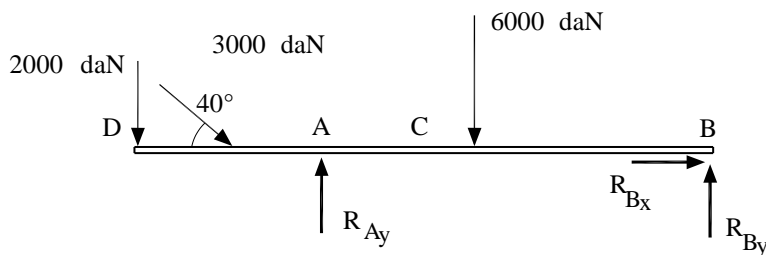


Que faut-il appliquer en C pour assurer l'équilibre si après une coupe en C

- On conserve la partie gauche DC ?
- On conserve la partie droite CB ?

Etape 1 : détermination des réactions d'appuis.

appui à rouleur en A
rouleur en B \longrightarrow schéma rendu libre



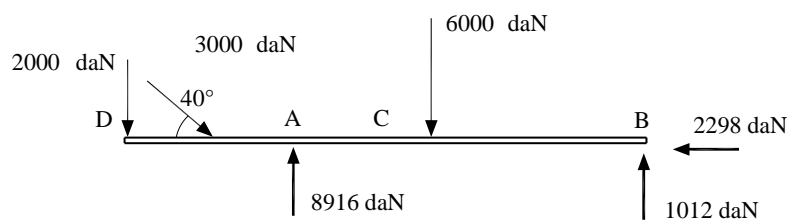
$$R_{ex} = \sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} + 3000 \cos 40^\circ = 0 \Rightarrow R_{Bx} = -2298 \text{ daN}$$

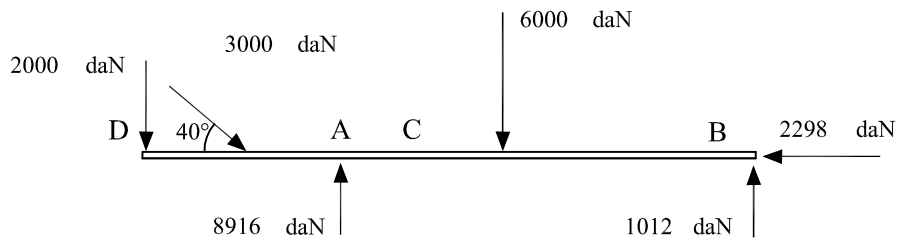
$$R_{ey} = \sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} - 2000 - 3000 \sin 40^\circ - 6000 = 0 \Rightarrow R_{Ay} + R_{By} = 9928 \text{ daN} \quad (1)$$

$$M_{eBz} = \sum M_{Bz} = 0 \rightarrow 2000 \cdot 8 + 3000 \sin 40^\circ \cdot 7 - R_{Ay} \cdot 6 + 6000 \cdot 4 = 0 \Rightarrow R_{Ay} = 8916 \text{ daN} \quad (2)$$

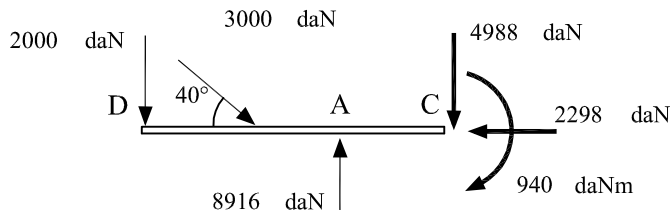
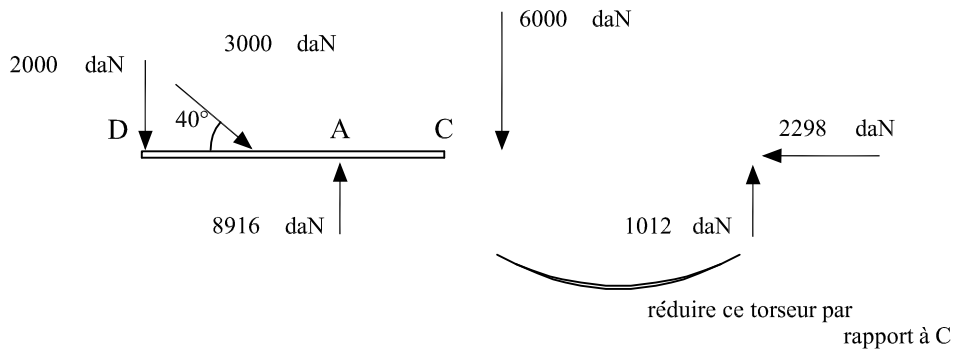
$$(1) \text{ et } (2) \rightarrow R_{By} = 1012 \text{ daN}$$

$$\vec{R}_A (0, 8916) \text{ daN}, \vec{R}_B (-2298, 1012) \text{ daN}$$

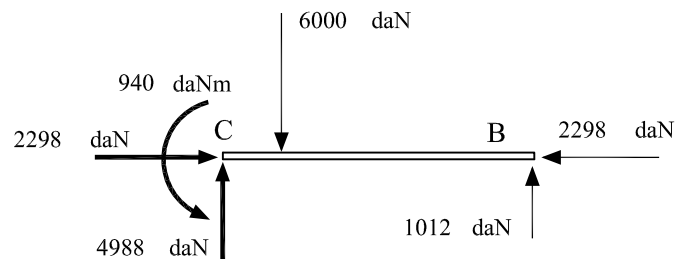
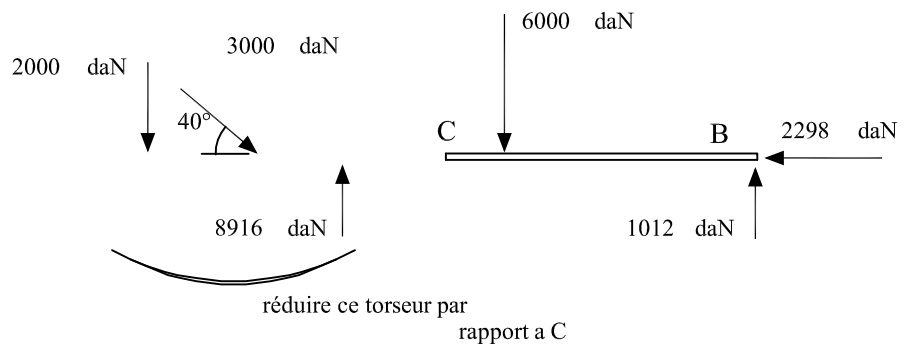




a) si on conserve la partie gauche DC



b) si on conserve la partie droite CB



En résistance des matériaux, les signes des éléments de réduction N, V et M ne sont pas associé à un sens mais à un effet.

En reprenant les résultats de l'application précédente, nous obtenons au point C :

Moment de flexion : $M_C = -940 \text{ daNm}$

Effort normal : $N_C = -2298 \text{ daN}$

Effort tranchant : $V_C = 4988 \text{ daN}$

5°) CONVENTIONS DE SIGNE

Les conventions de signe sont les suivantes :

- Un effort normal positif ($N > 0$) est un effort de traction. Un élément de poutre soumis à un effort de traction s'allonge. (Si $N < 0$, on parle de compression)

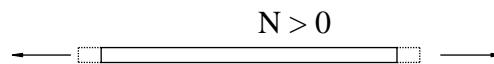


fig.8a

- Un effort tranchant positif tend à élever les sections à gauche de la section de coupe (ou à abaisser les sections à droite de la coupe).

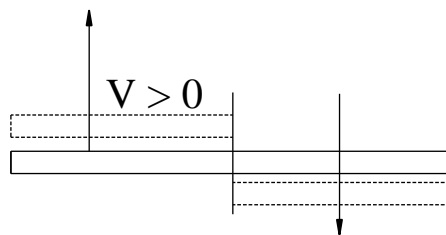


fig.8b

- Un moment de flexion positif donne à la poutre une déformée dont la concavité est dirigée vers le haut.

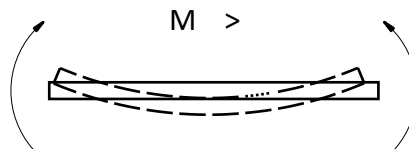


fig.8c

Dans le cas d'une poutre horizontale, si au moment de la coupe, nous conservons la partie « gauche », la partie « droite » est remplacée par les éléments de réductions qui sont considérés comme positifs si N est dirigé vers la droite, V vers le bas et si M est de sens positif (anti-horlogique) :

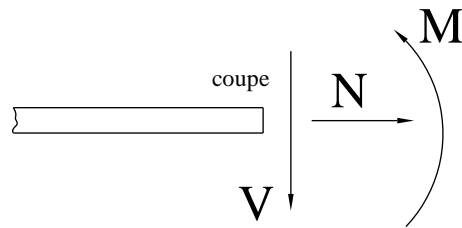


fig.8d

Si nous conservons la partie droite, la partie gauche est remplacée par des éléments de réductions qui seront positifs si N est dirigé vers la gauche, si V est dirigé vers le haut et si M est de sens négatif (horlogique).

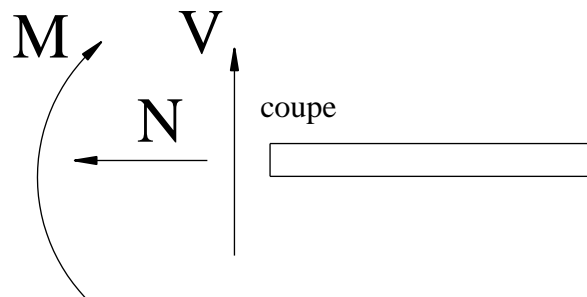
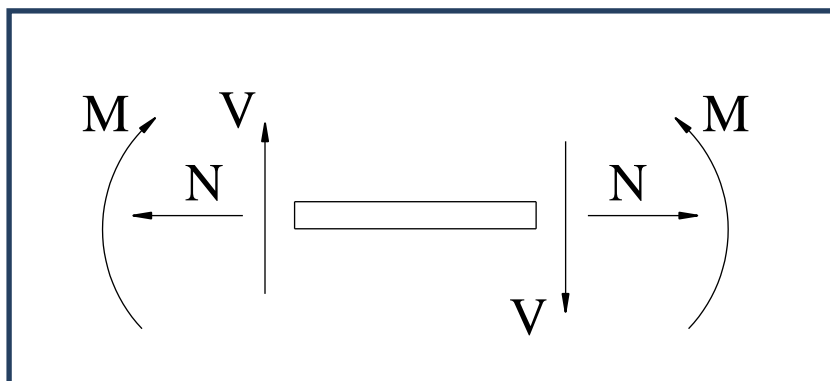


fig.8e

Ces conventions sont résumées par la figure suivante :



Si la poutre n'est pas horizontale, en supposant que son axe fait un angle α avec l'horizontale, les conventions sont obtenues en faisant pivoter cette figure d'un angle α .

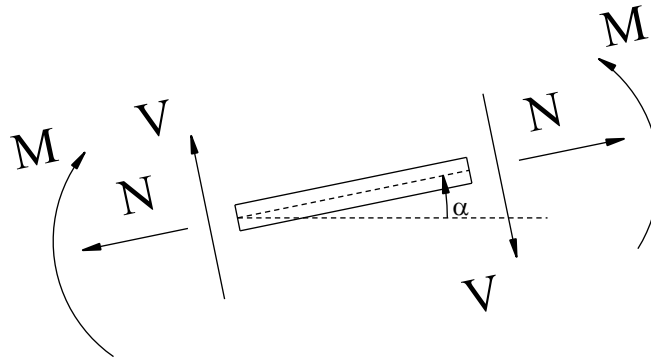


fig.8g

Cette convention est utilisée si $0 \leq \alpha \leq 90^\circ$; si α est négatif ou supérieur à 90° , les conventions de signe choisies doivent être exprimées explicitement.

7°) DIAGRAMMES NVM

Par définition, le diagramme d'effort normal est obtenu en portant le long de l'axe de la poutre, les valeurs de N à une certaine échelle. On peut définir de même, pour les structures planes, le diagramme de l'effort tranchant (V), du moment fléchissant (M). On définit de même, pour les structures "spatiales", les diagrammes du moment de torsion T , des moments de flexion M_y et M_z et des efforts tranchants V_y et V_z . **Les diagrammes NVM sont donc des graphiques où l'on porte en ordonnées les éléments de réduction en fonction de l'abscisse x qui repère la position du plan de coupe.**

Relations entre p , V et M

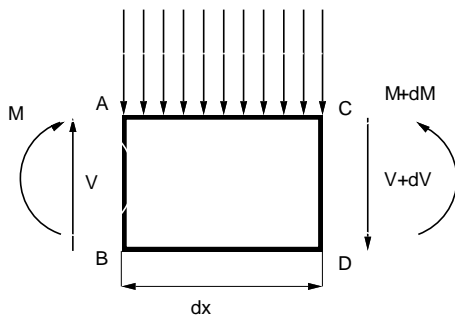


fig. 9a

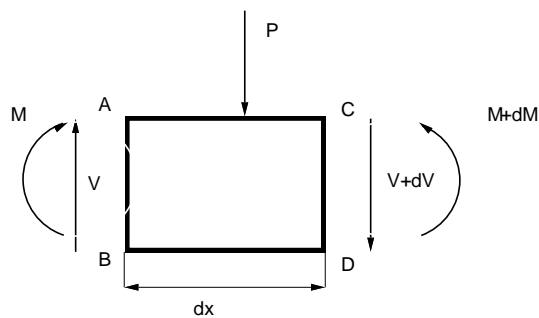


fig. 9b

On considère un élément de poutre plane, chargée dans son plan et limité par deux sections droites infiniment voisines AB et CD distante de dx . On suppose que, dans la section AB, le moment de flexion et l'effort tranchant sont positifs. Dans ce cas, l'action de la portion de gauche de la poutre sur l'élément considéré est représenté par le couple M et la force V comme l'indiquent les figures 9a et 9b. De la même manière, en supposant que, dans la section CD, le moment et l'effort tranchant soient positifs, l'action de la portion droite de la poutre sur l'élément est représenté par le couple $M+dM$ et la force $V+dV$ indiqués sur les figures 9a et 9b.

1) Si l'on suppose d'abord qu'une charge continue p soit distribuée le long de la poutre ($p > 0$ si dirigé vers le bas), on peut écrire :

- l'équilibre de translation verticale :

$$V - p \, dx - V - dV = 0$$

$$p = - \frac{dV}{dx}$$

- l'équilibre de rotation autour du point A :

$$- M + M + dM - (V + dV) \, dx - p \, dx \, dx/2 = 0$$

Comme dx et dV sont infiniment petits, on néglige les termes du second ordre dx^2 et $dV \cdot dx$, on obtient finalement les relations suivantes :

$$\frac{dM}{dx} = V \quad p = - \frac{d^2M}{dx^2}$$

2) on suppose qu'une force concentrée (figure 9b) P est appliquée entre les sections droites AB et CD. L'équilibre de translation verticale donne ici :

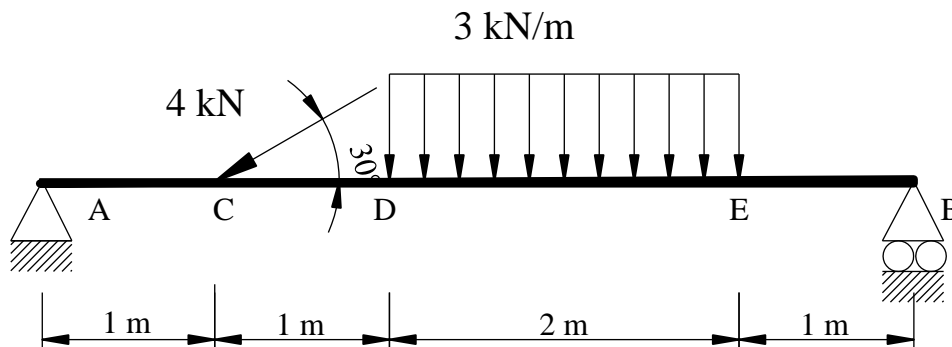
$$V + dV = V - P$$

On en conclut que, au point d'application d'une force concentrée, l'effort tranchant V varie brusquement, de même que dM/dx .

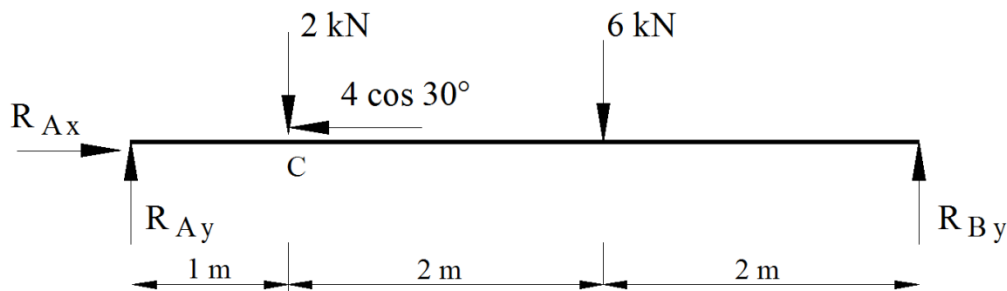
particularités

- dans un tronçon de poutre non chargé ($p = 0$), l'effort tranchant V est constant; le moment de flexion varie linéairement.
- si le tronçon est soumis à une charge uniforme ($p = \text{cste}$), l'effort tranchant varie linéairement et le moment de flexion paraboliquement.
- si l'effort tranchant s'annule dans une section droite, le moment fléchissant passe dans cette section par un extremum.

Exercice résolu : Tracer les diagrammes NVM de la poutre suivante :



La première étape consiste à « rendre libre » la structure en remplaçant les appuis par les forces de liaisons :



La deuxième étape consiste à exprimer les conditions d'équilibre :

$$\Sigma F_x = 0 : R_{Ax} - 4 \sin 60^\circ = 0$$

$$\Sigma F_y = 0 : R_{Ay} - 4 \cos 60^\circ - 6 + R_{By} = 0$$

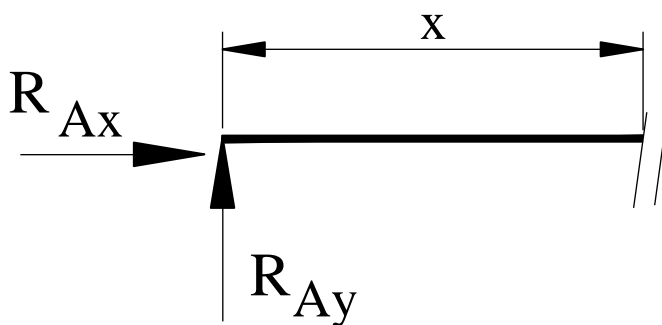
$$\Sigma M_{Az} = 0 : -2 \cdot 1 - 6 \cdot 3 + 5 R_{By} = 0$$

On en déduit que $R_{Ax} = 3,464 \text{ kN}$, $R_{By} = 4 \text{ kN}$ et $R_{Ay} = 4 \text{ kN}$

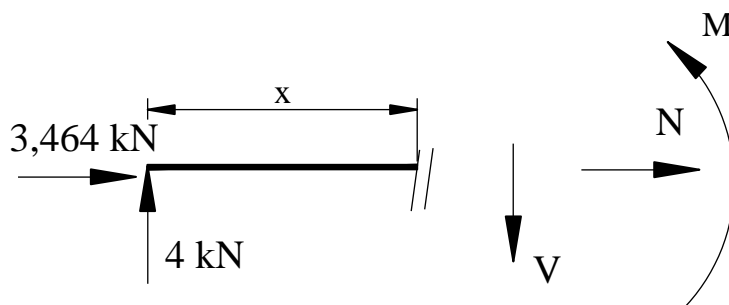
Etape finale : tracé des diagrammes

Appelons X le point où nous calculons les éléments de réduction. Ce point est situé à la distance x de l'extrémité gauche de notre poutre.

a) X est situé entre A et C.



En conservant la partie « gauche » de la poutre et en ajoutant les éléments de réduction :



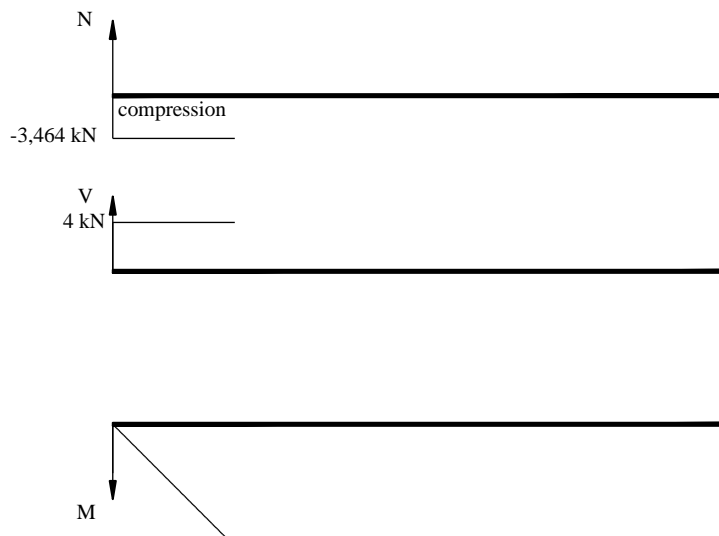
Exprimons les équations d'équilibre (translation horizontale, verticale et rotation), et en tenant compte des conventions de la figure 7d, nous trouvons que :

$$N = -3,464 \text{ kN (effort normal négatif – compression)}$$

$$V = 4 \text{ kN (positif car V est dirigé vers le bas)}$$

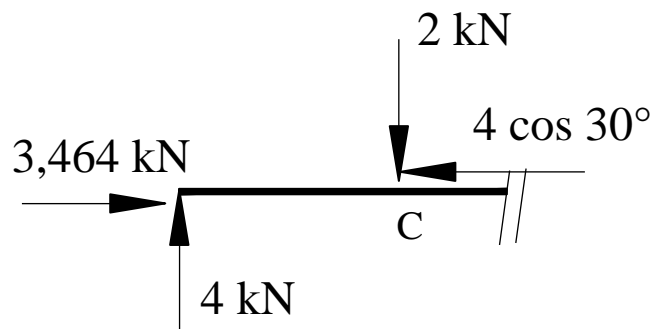
$$M = 4x \text{ (en kNm) (positif car de sens antihorlogique)}$$

Remarquons que N et V ne dépendent pas de la position de la coupe tandis que M varie linéairement en fonction de x, d'où le tracé des diagrammes :



(Rappel : l'axe positif du diagramme de moment de flexion est dirigé vers le bas).

b) X est situé entre C et D .

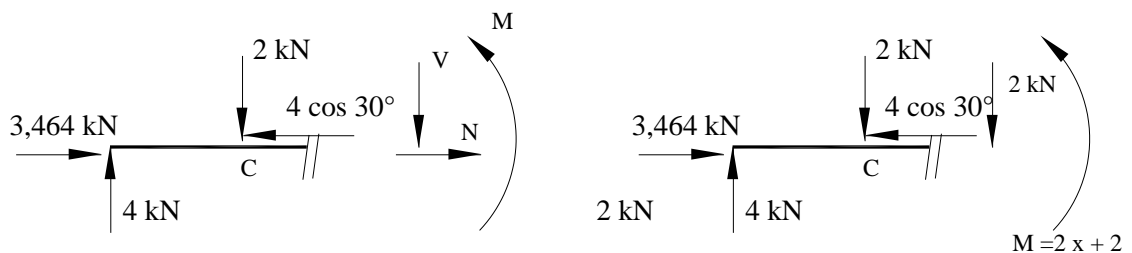


En ajoutant les éléments de réduction et en exprimant les équations d'équilibre (translation horizontale, verticale et rotation), on trouve que :

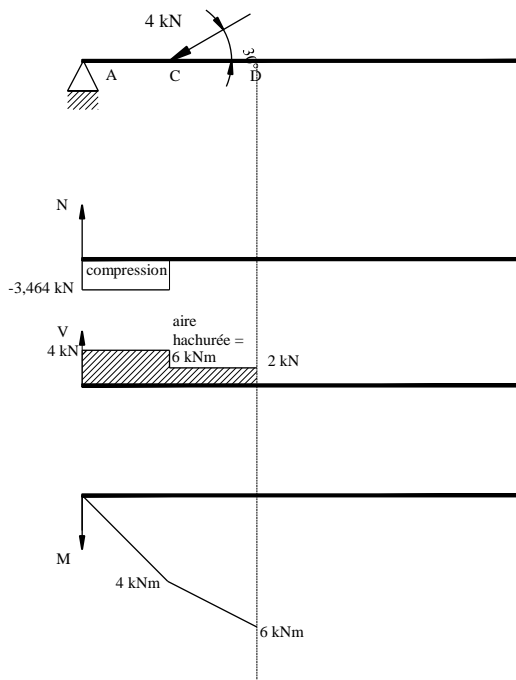
$$N = 0$$

$$V = 2 \text{ kN}$$

$$M = 4x - (x-1)2 = 2x + 2$$

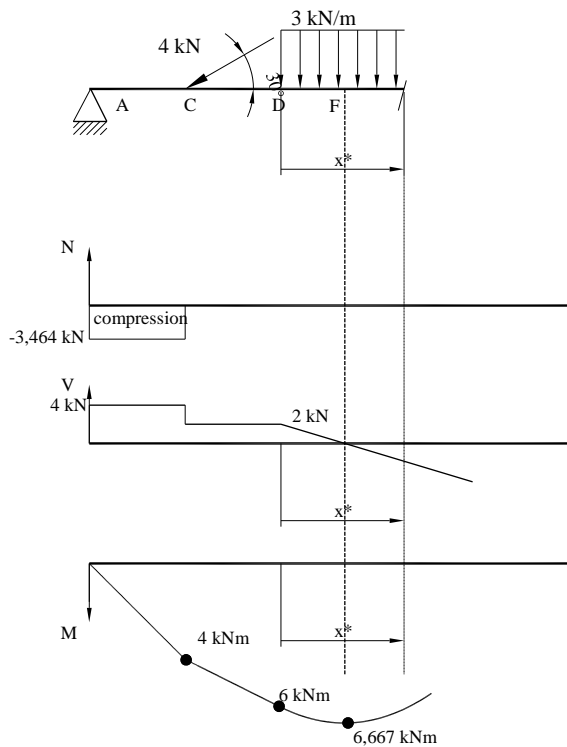


Au point D, $M = 6 \text{ kNm}$; d'où le tracé des diagrammes :



Remarquons que l'aire sous-tendue par le diagramme V entre A et D vaut exactement 6 kNm, soit exactement la valeur du moment de flexion au point D. La valeur du moment de flexion au point X peut donc également se calculer en calculant l'aire sous-tendue par le diagramme d'effort tranchant entre le point A et le point X et le point X.

c) X est compris entre D et E.



Pour tout point X compris entre D et E, l'effort normal reste nul puisqu'il n'apparaît aucune nouvelle force horizontale. Repérons le point X par la distance x^* qui le sépare du point D. L'équilibre de translation verticale permet d'écrire que $V = 2 - 3x^*$. En calculant la primitive de la fonction mathématique $V(x^*) = 2 - 3x^*$, (fonction linéaire) nous obtenons l'expression mathématique de $M(x^*)$ à une constante près : $M(x^*) = 2x^* - 3\frac{x^{*2}}{2} + Cste$

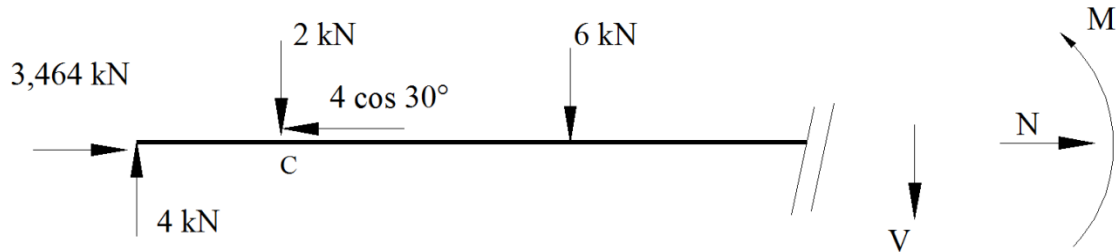
L'allure de $M(x^*)$ est donc parabolique. Pour trouver la constante Cste, nous écrivons que $M(x^*=0) = Cste = M_D$ où M_D représente la valeur du moment de flexion pour $X = D$. Nous obtenons :

$$M(x^*) = 2x^* - 3\frac{x^{*2}}{2} + 6$$



En particulier, si $x^*=2$, le point X correspond au point E, nous trouvons $V_E = -4$ kN et $M_E = 4$ kNm

Pour trouver l'extremum du diagramme de moment de flexion, nous nous plaçons au point F où l'effort tranchant s'annule, soit en $x^* = 2/3$. Le moment M_F vaut alors 6,6667 kNm. Le point F repère la « section dangereuse pour le moment de flexion ».

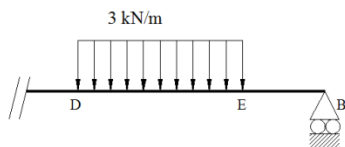
d) X est situé entre E et B



Les équations d'équilibre donnent $N = 0$, $V = -4$ kN et $M = 4x - 2(x-1) - 6(x-3)$. Le tracé complet des diagrammes est représenté à la page suivante.

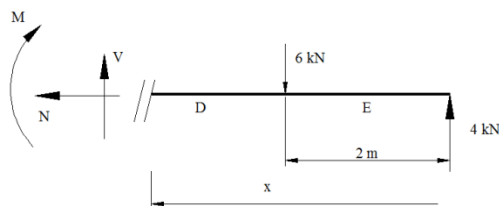
Pour rappeler nos conventions de signe, nous ajoutons le symbole  du côté positif du diagramme de V . Nous ajoutons le symbole  du côté positif du diagramme de M .

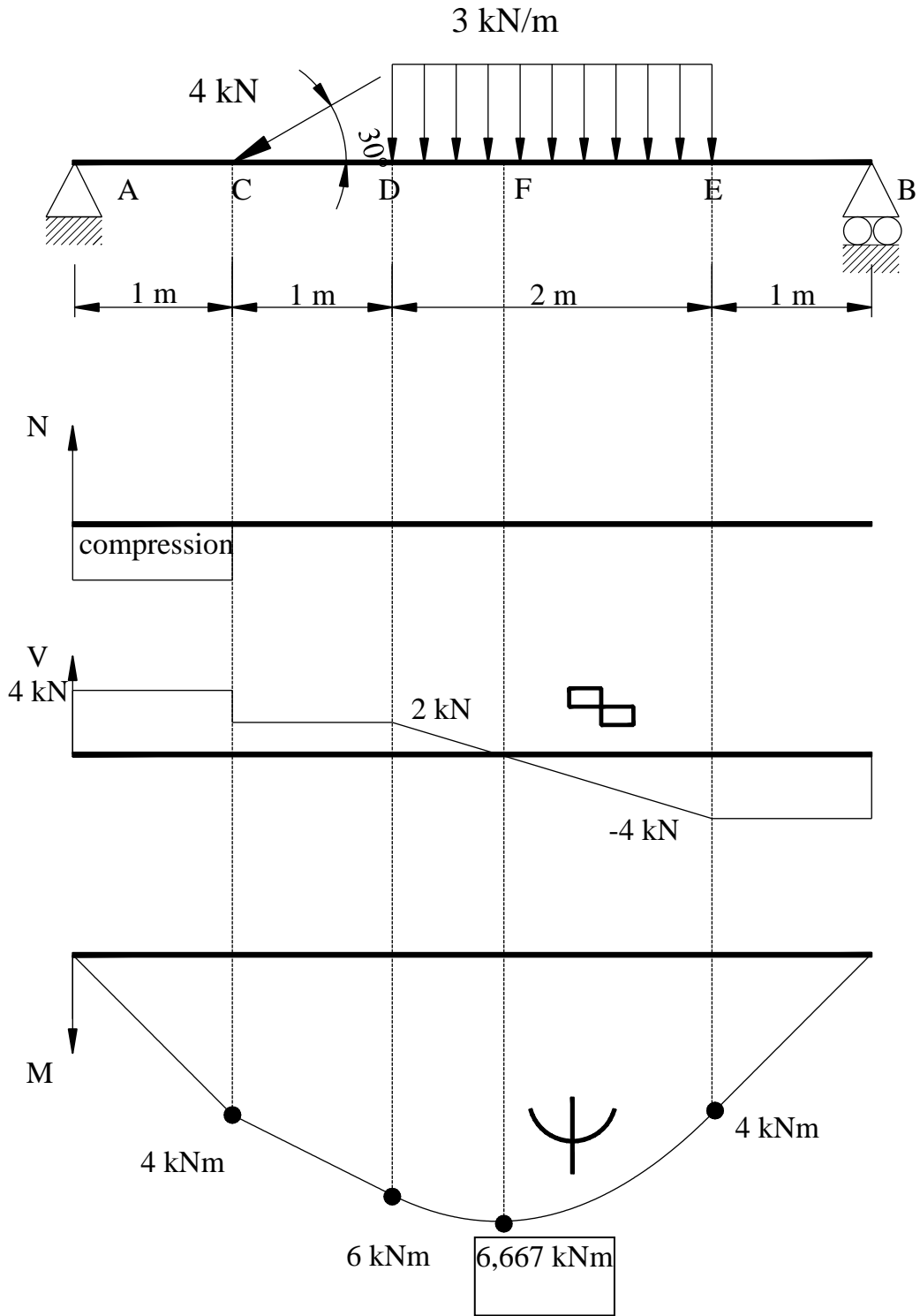
Remarque : nous avons toujours calculé les éléments de réductions (N, V et M) en exprimant l'équilibre de la partie « gauche » de notre poutre. Nous aurions pu conserver la partie droite et placer les éléments de réduction à gauche de la coupure telle que l'indique la figure 8e. Ainsi, si notre point X est situé entre C et D , les équations d'équilibre s'écrivent :



$$V - 6 + 4 = 0 \text{ d'où } V = 2 \text{ kN}$$

$$-M + 4x - 6(x-2) = 0 \text{ d'où } M = -2x + 12$$

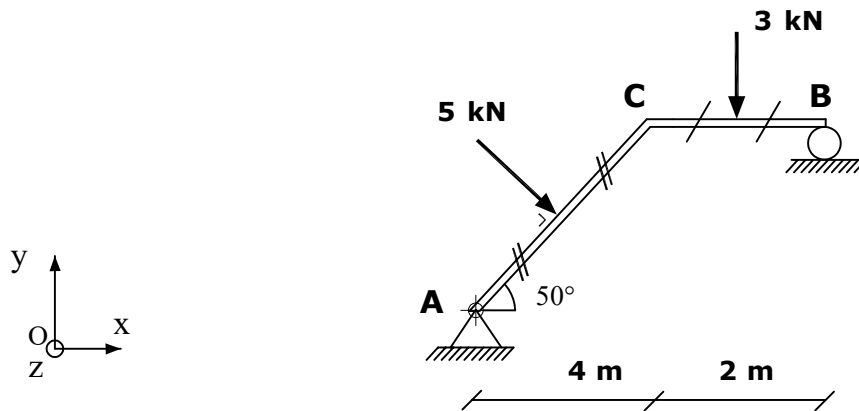




Applications

Extérioriser les éléments de réduction MNV au point C dans les structures suivantes:

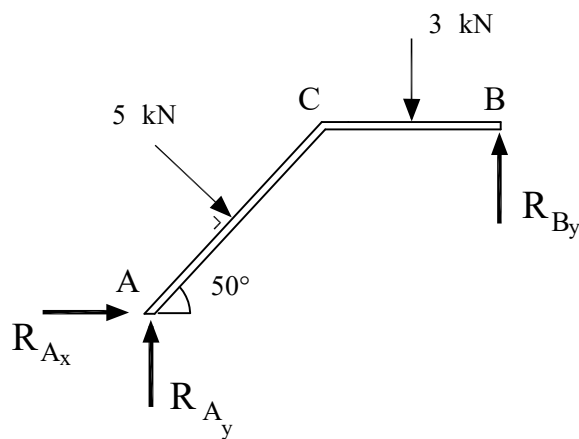
1)



Détermination des réactions aux appuis

articulation en A
appui à roulement en B

→ schéma du système rendu libre

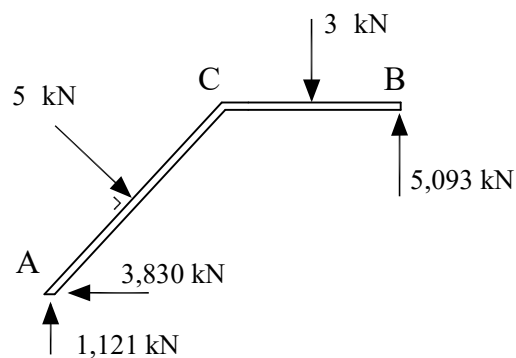


$$\sum F_x = 0 \quad \rightarrow \quad R_{Ax} + 5 \cos 40^\circ = 0 \quad (1) \quad R_{Ax} = \underline{-3,830 \text{ kN}}$$

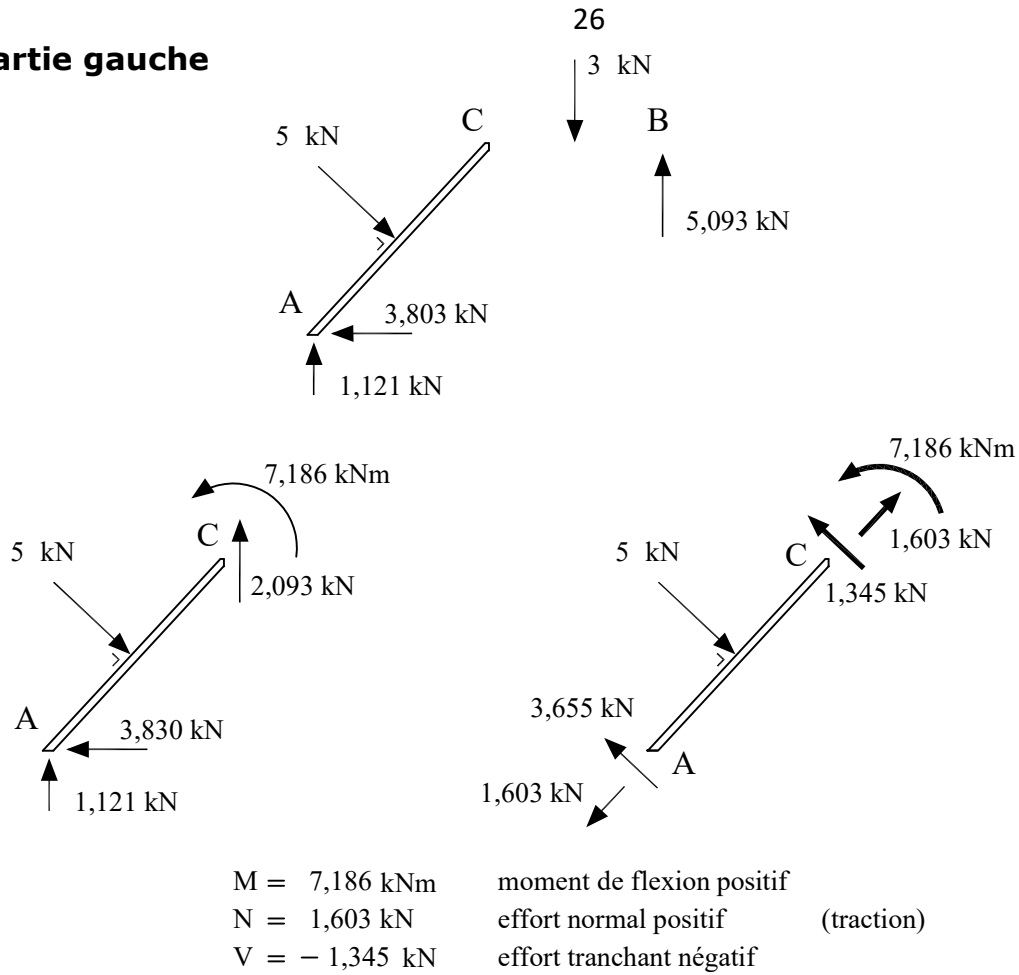
$$\sum F_y = 0 \quad \rightarrow \quad R_{Ay} + R_{By} - 5 \sin 40^\circ - 3 = 0 \quad (2)$$

$$\sum M_{Az} = 0 \quad \rightarrow \quad -5 \times \frac{2}{\cos 50^\circ} - 3 \times 5 + R_{By} \times 6 = 0 \quad R_{By} = \underline{5,093 \text{ kN}}$$

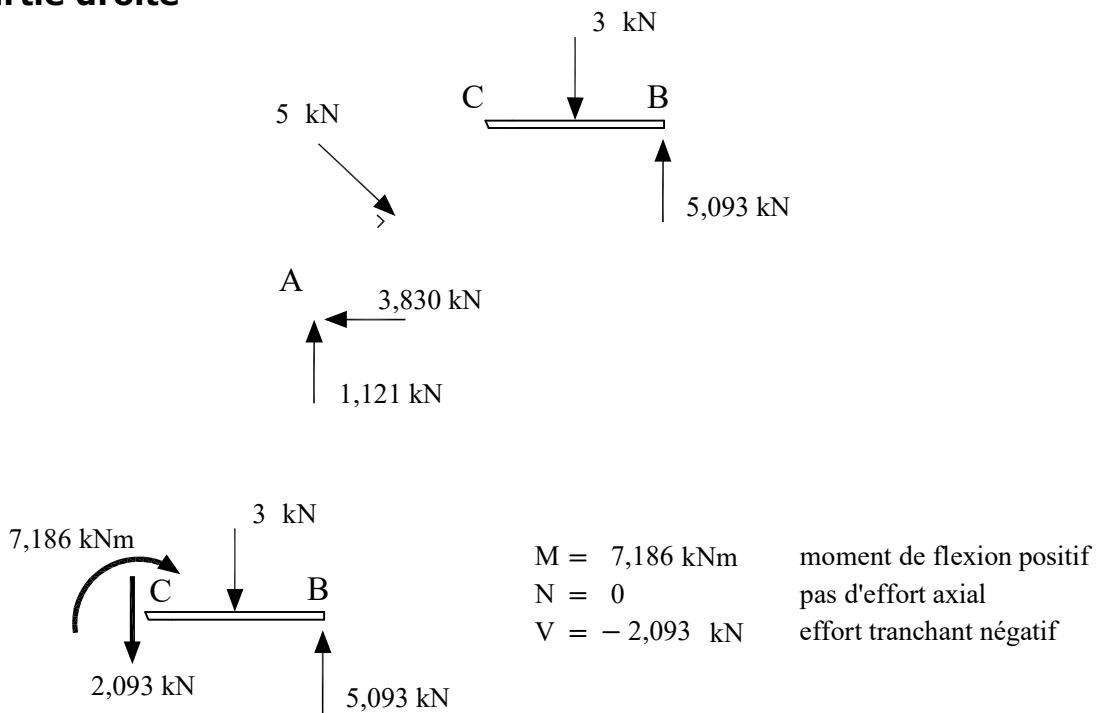
$$(2) \quad \rightarrow \quad R_{Ay} = 5 \sin 40^\circ + 3 - 5,1 = \underline{1,121 \text{ kN}}$$



partie gauche

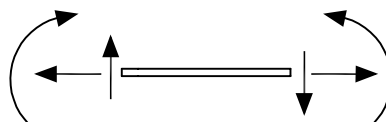


partie droite

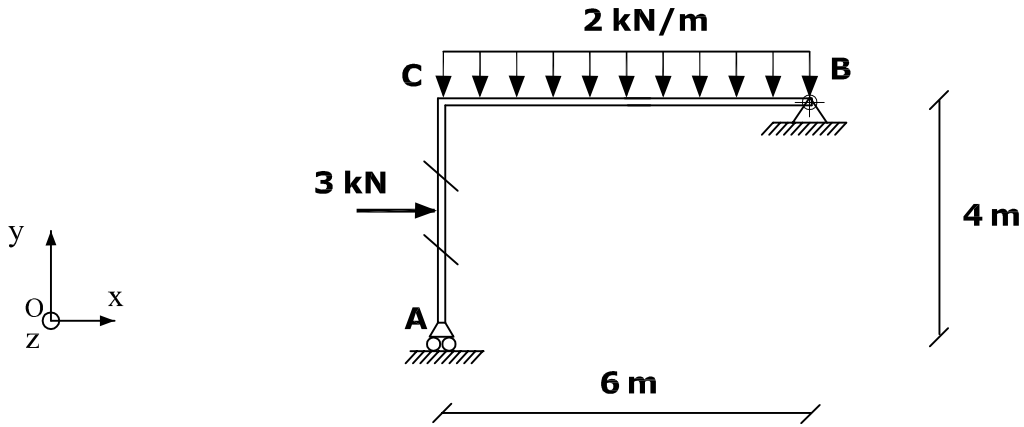


Rappel

sens positifs



2)



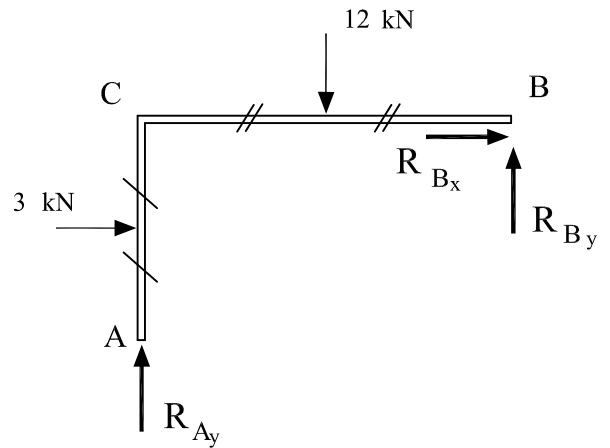
Détermination des réactions aux appuis

appui à roulement en A
articulation en B

→ schéma du système rendu libre

Pour la détermination des réactions
aux appuis, la charge uniformément
répartie est remplacée par sa résultante

$$2 \text{ kN/m} \times 6 \text{ m} = 12 \text{ kN}$$



$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} + 3 = 0 \quad (1)$$

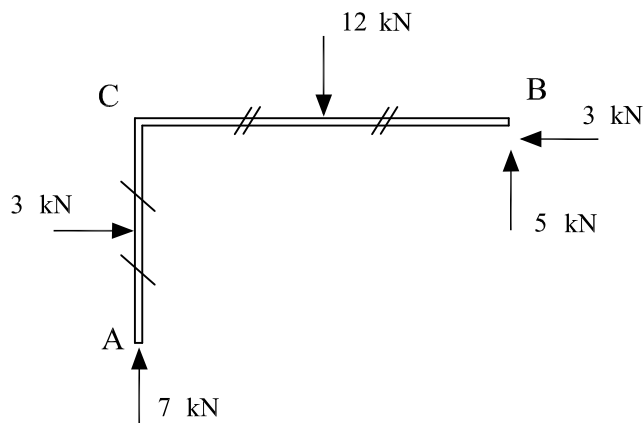
$$R_{Bx} = \underline{-3 \text{ kN}}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} - 12 = 0 \quad (2)$$

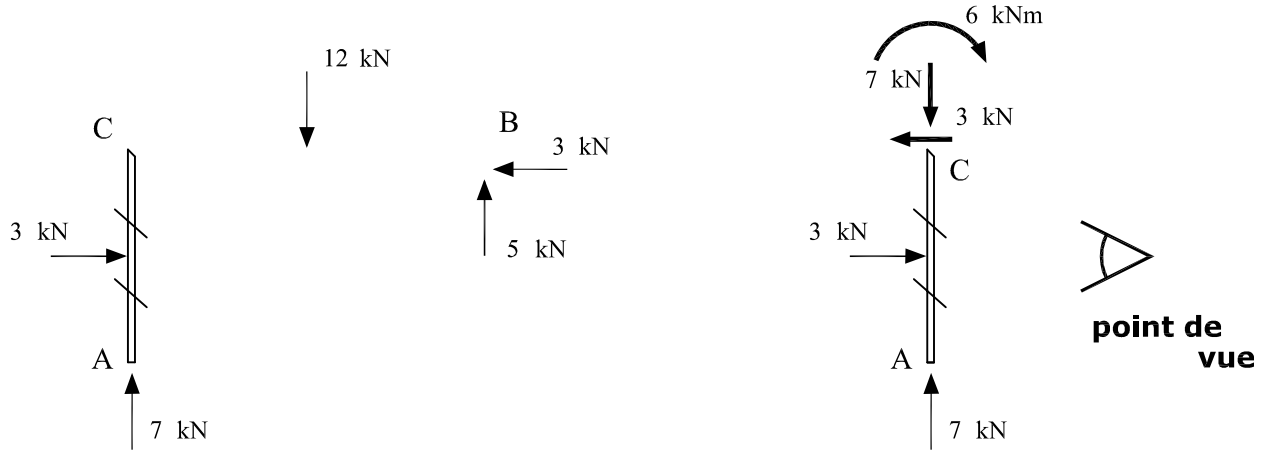
$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow -R_{Ay} \times 6 + 3 \times 2 + 12 \times 3 = 0$$

$$R_{Ay} = \underline{7 \text{ kN}}$$

$$(2) \rightarrow R_{By} = 12 - 7 = \underline{5 \text{ kN}}$$

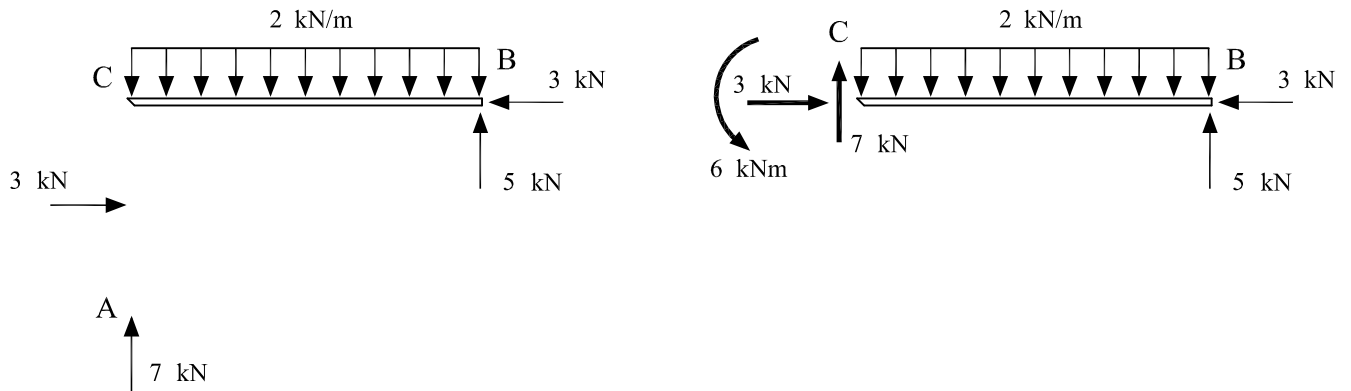


partie gauche



$M = -6 \text{ kNm}$ moment de flexion négatif
 $N = -7 \text{ kN}$ effort normal négatif (compression)
 $V = -3 \text{ kN}$ effort tranchant négatif

partie droite



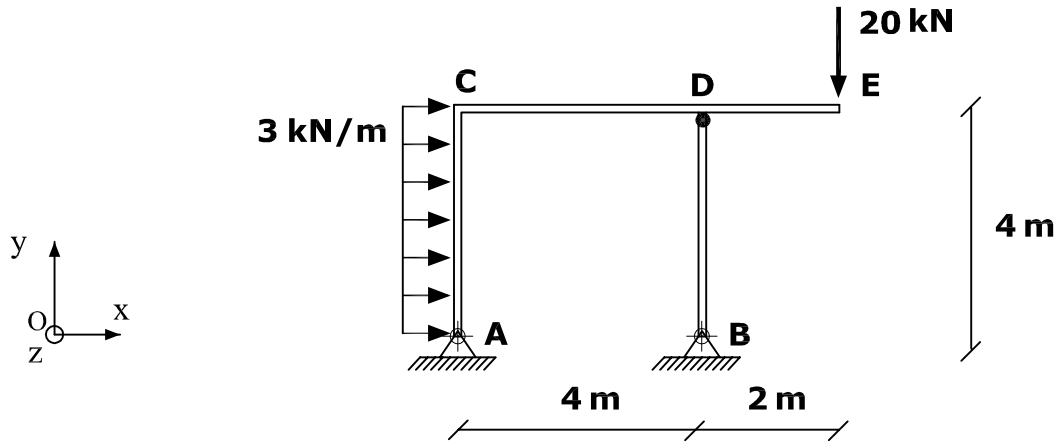
$M = -6 \text{ kNm}$ moment de flexion négatif
 $N = -3 \text{ kN}$ effort normal négatif (compression)
 $V = 7 \text{ kN}$ effort tranchant positif

Rappel

sens positifs

3)

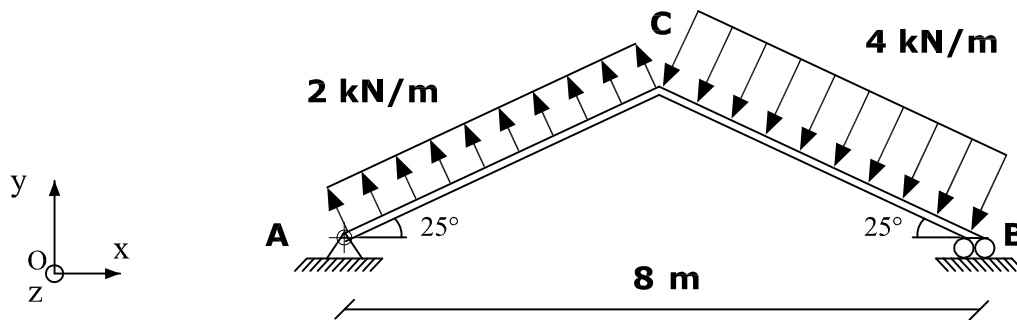
29



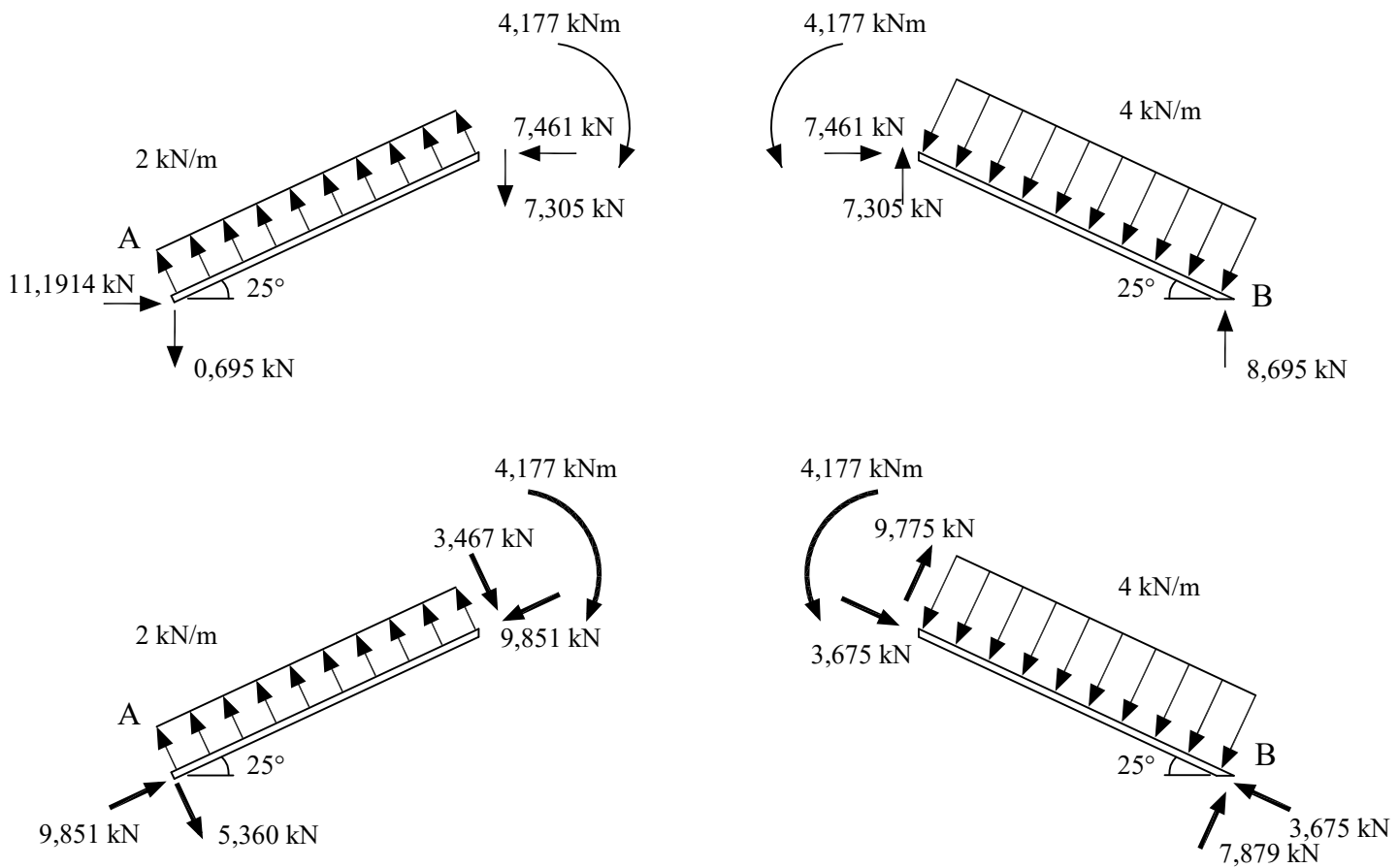
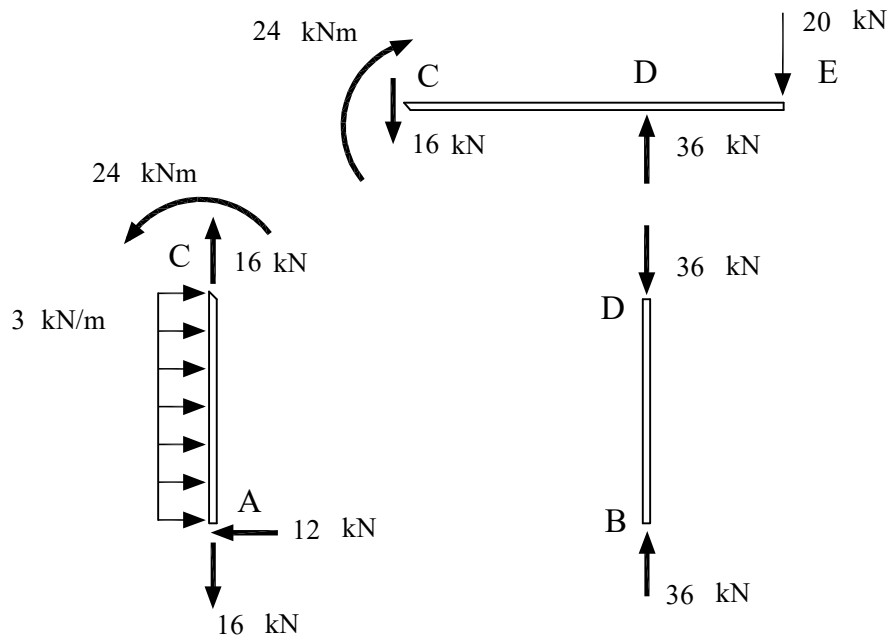
colonne BD articulée en D sur la traverse CE
(la colonne BD se comporte donc comme une barre biarticulée non chargée)

solution page 30

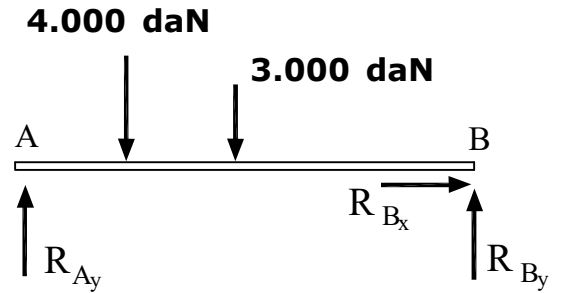
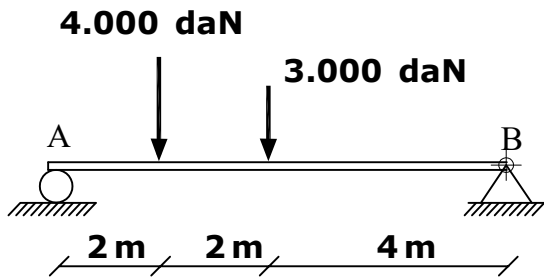
4)



solution page 30



Tracé de diagrammes : Exemple 1



$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Bx} = 0 \text{ daN}$$

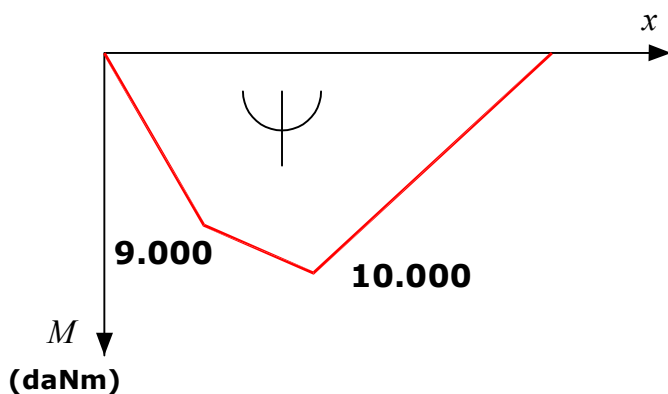
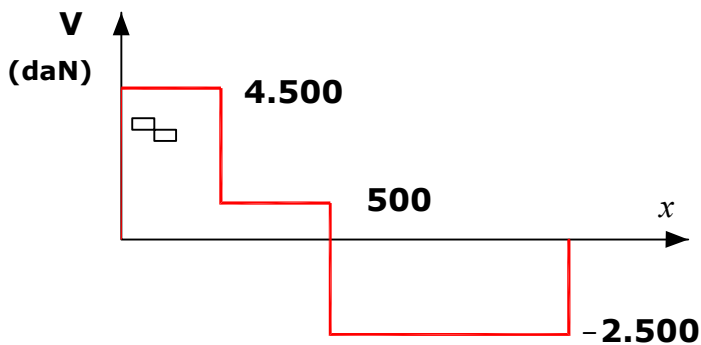
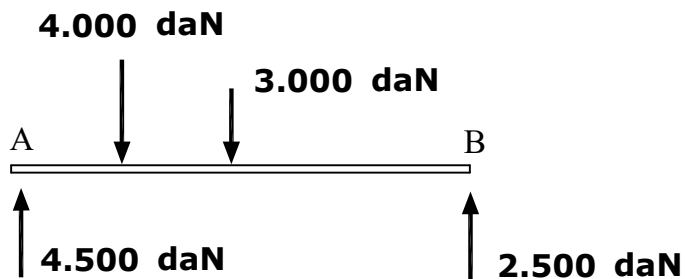
$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} - 4000 - 3000 = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} = 7000 \quad (1)$$

$$\sum M_{Bz} = 0 \rightarrow 4000 \times 6 + 3000 \times 4 - R_{Ay} \times 8 = 0$$

$$R_{Ay} = 4500 \text{ daN} \quad (2)$$

$$(1) \text{ et } (2) \rightarrow R_{By} = 2500 \text{ daN}$$

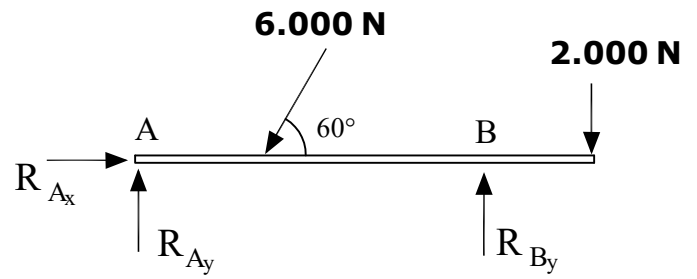
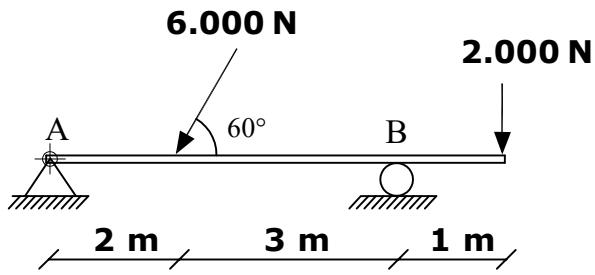


Les diagrammes permettent de repérer les sections critiques où sera vérifiée la résistance de la poutre

Dans le cas présent ,
 → section A ou l'effort tranchant est maximum

→ milieu de la poutre ou le moment de flexion est maximum

Exemple 2

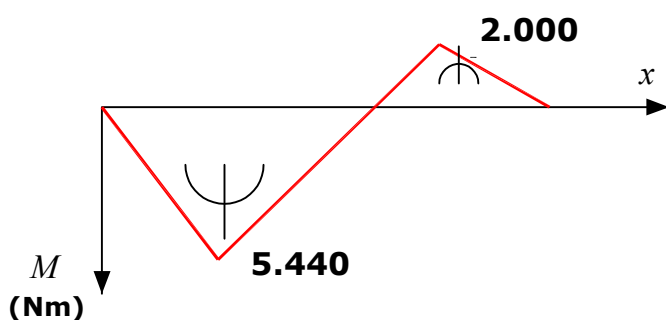
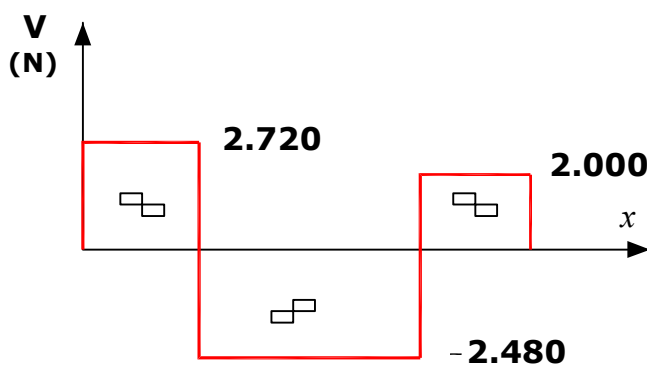
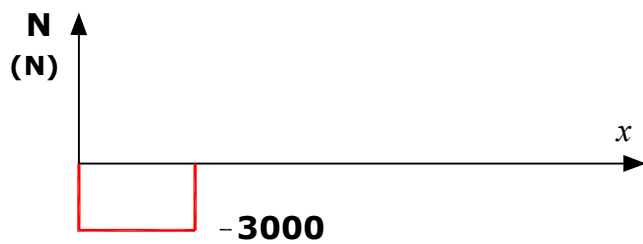
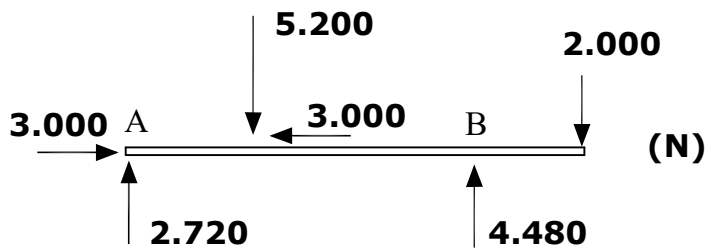


$$\Sigma F_x = 0 \rightarrow R_{Ax} - 6000 \cos 60^\circ = 0 \quad R_{Ax} = \underline{3000 \text{ N}}$$

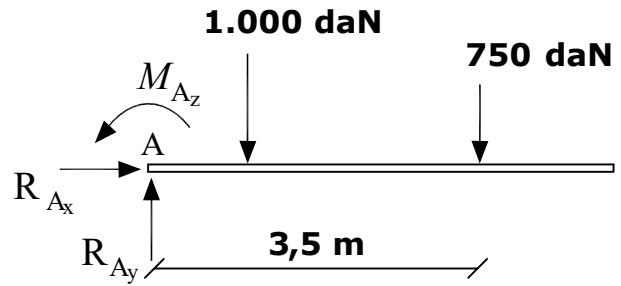
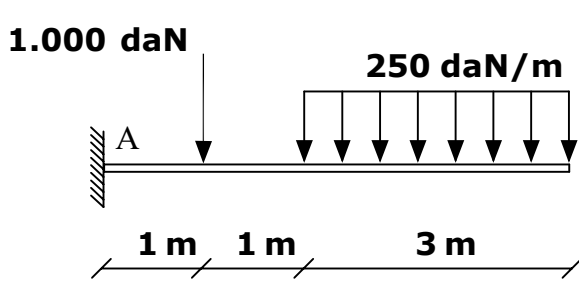
$$\Sigma F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} + R_{By} - 6000 \sin 60^\circ - 2000 = 0 \quad R_{Ay} + R_{By} = 7200 \quad (1)$$

$$\Sigma M_{Az} = 0 \rightarrow -6000 \sin 60^\circ \times 2 - 2000 \times 6 + R_{By} \times 5 = 0 \quad R_{By} = \underline{4480 \text{ N}} \quad (2)$$

$$(1) \text{ et } (2) \rightarrow R_{Ay} = \underline{2720 \text{ N}}$$



Exemple 3



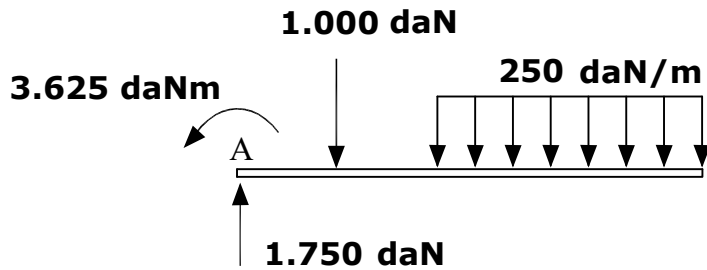
$$\sum F_x = 0 \rightarrow R_{Ax} = 0 \text{ daN}$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow R_{Ay} - 1000 - 750 = 0$$

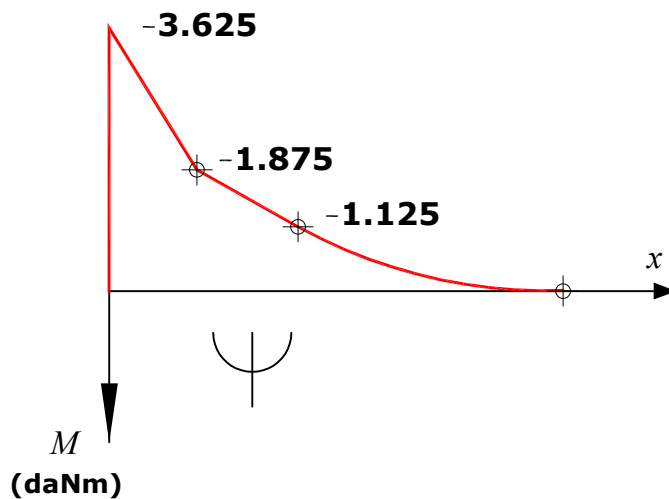
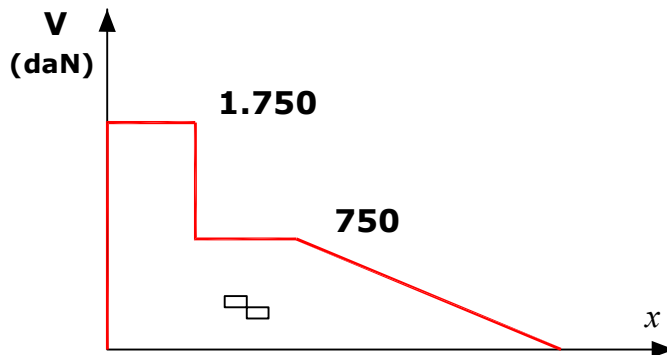
$$R_{Ay} = \underline{1750 \text{ daN}}$$

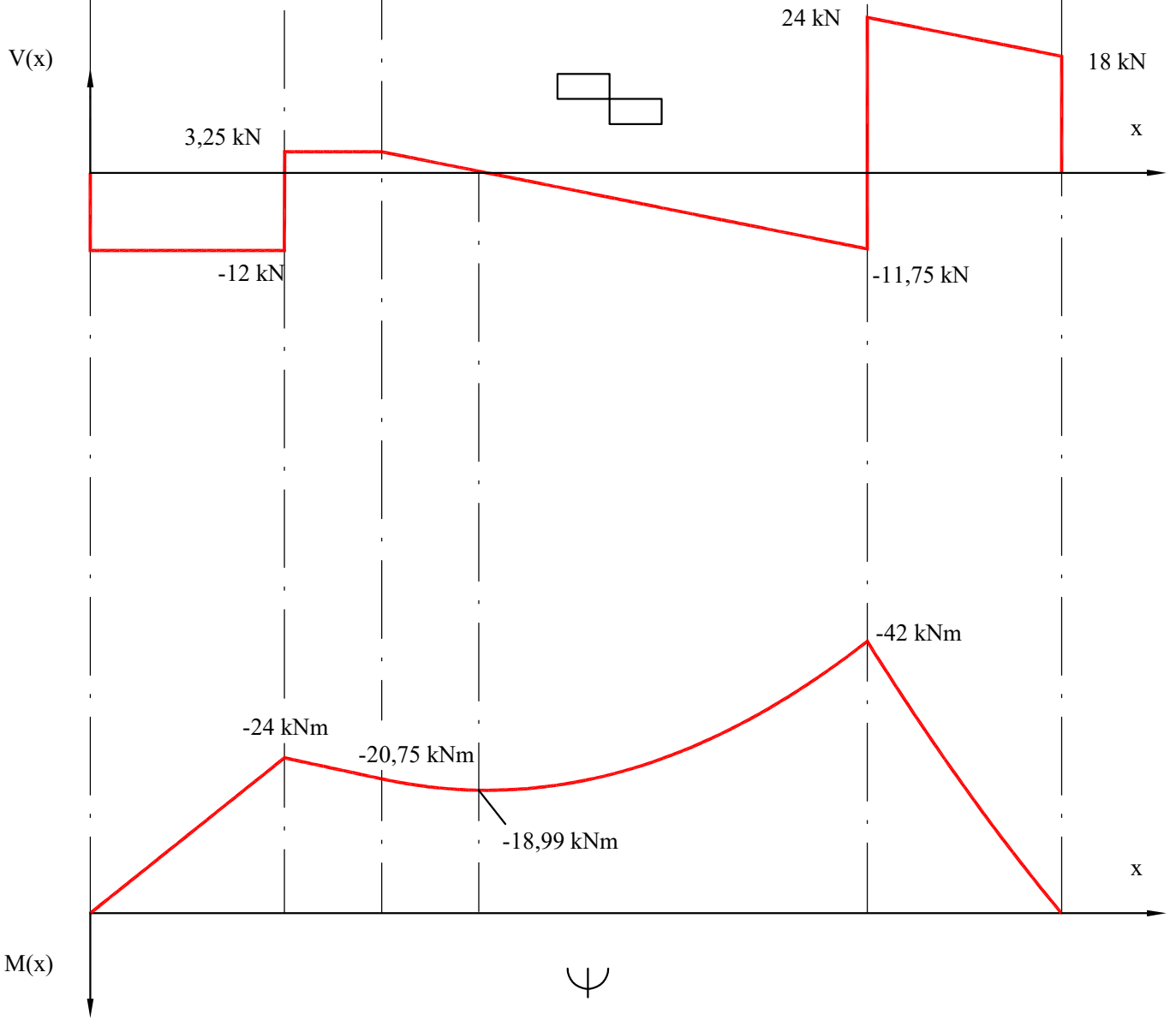
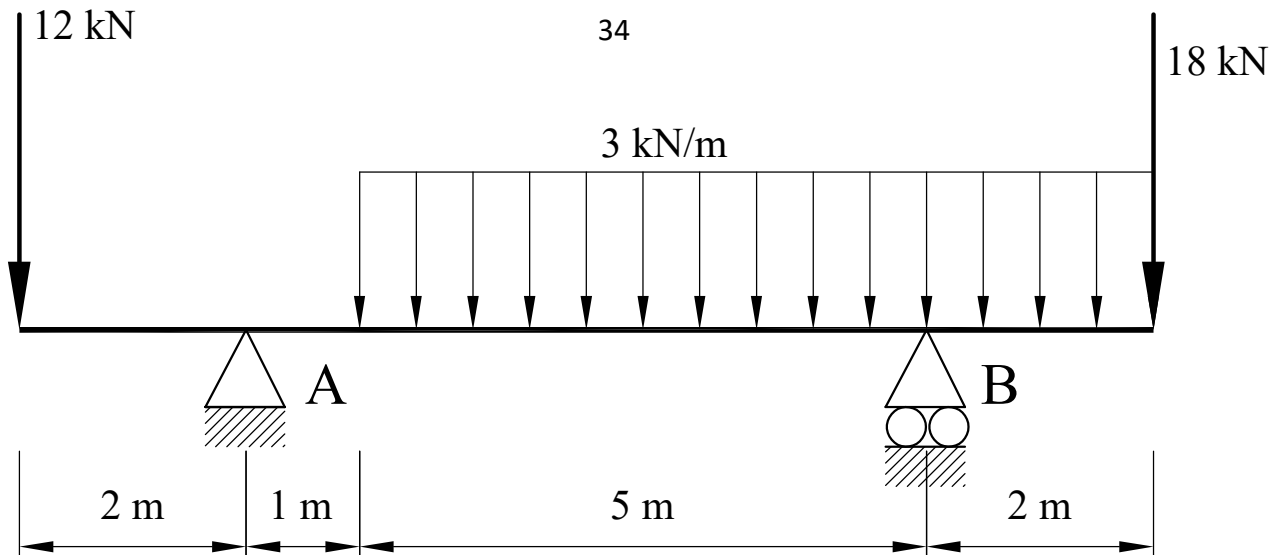
$$\sum M_{Az} = 0 \rightarrow M_{Az} - 1000 \times 1 - 750 \times 3,5 = 0$$

$$M_{Az} = \underline{3625 \text{ daNm}}$$

**Attention !**

|| Reprendre le chargement
|| réel pour établir les diagrammes



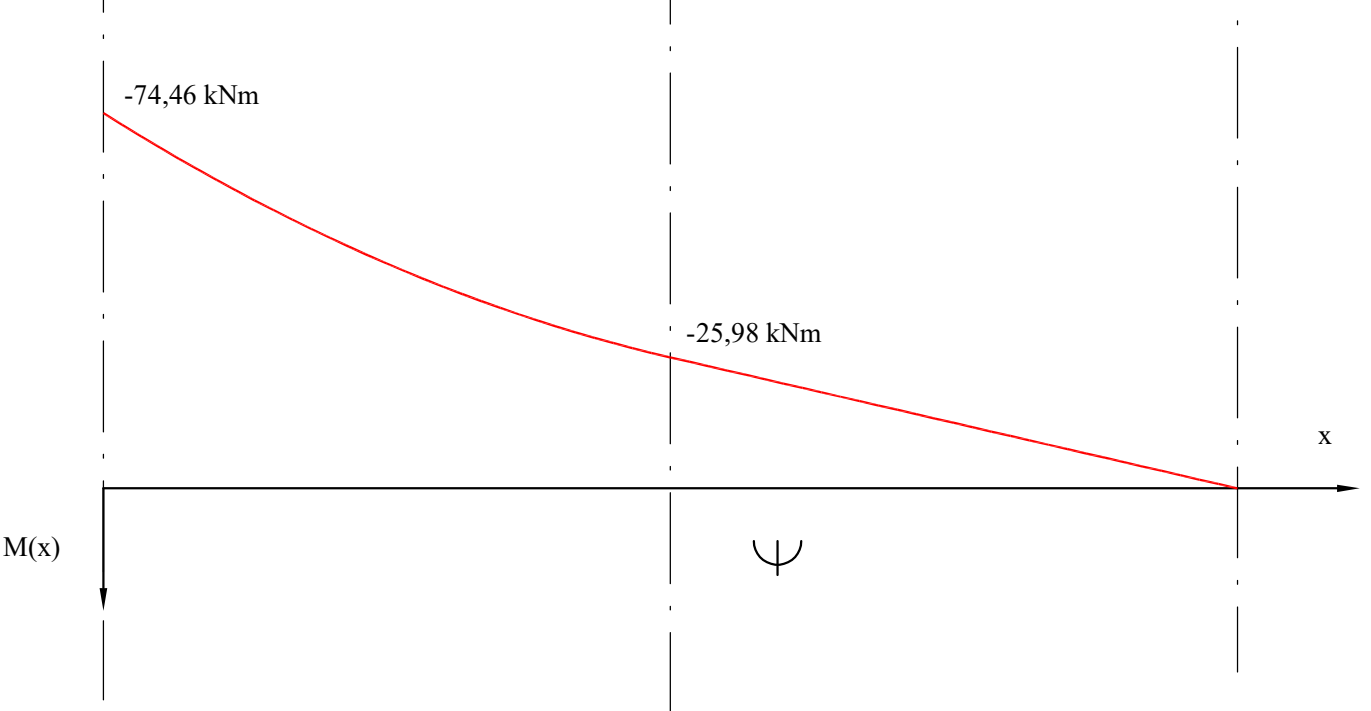
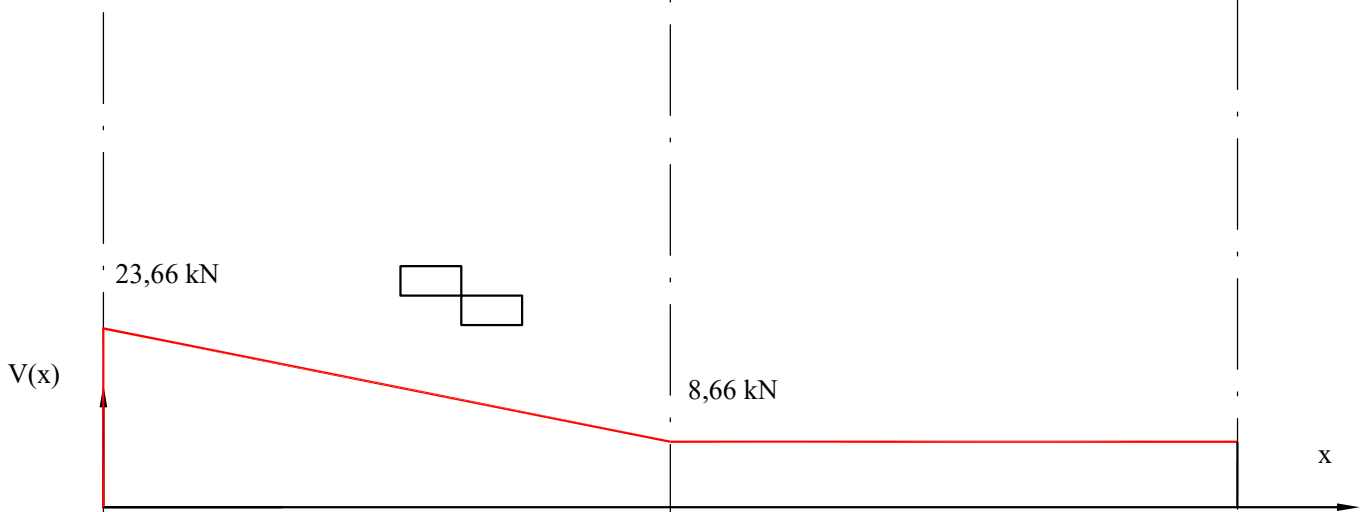
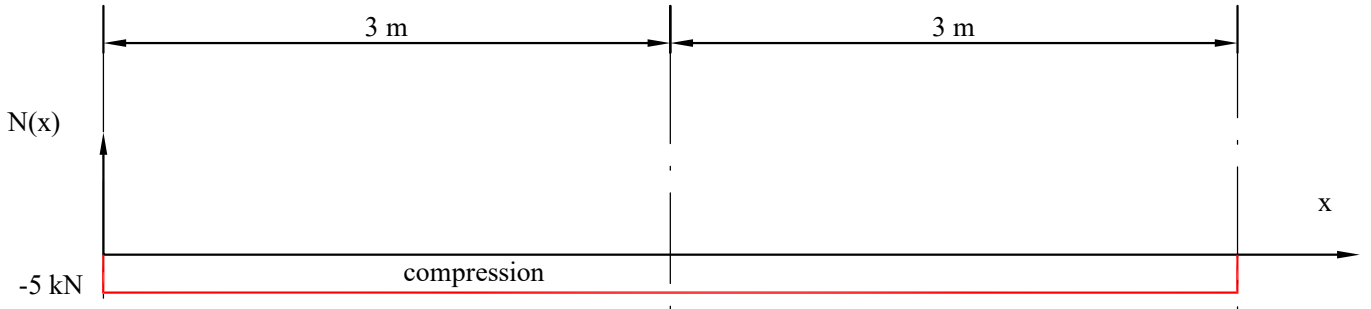
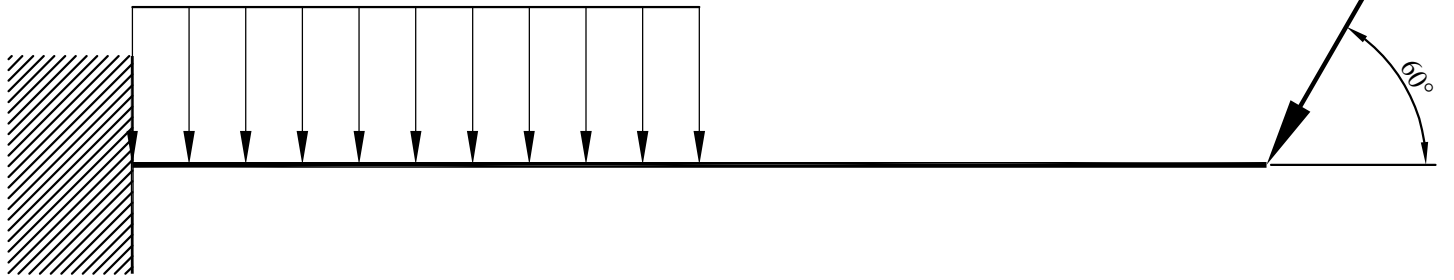


35

5 kN/m

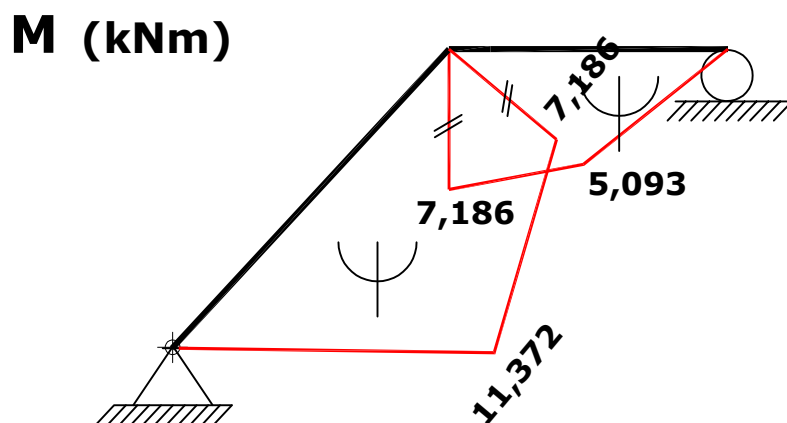
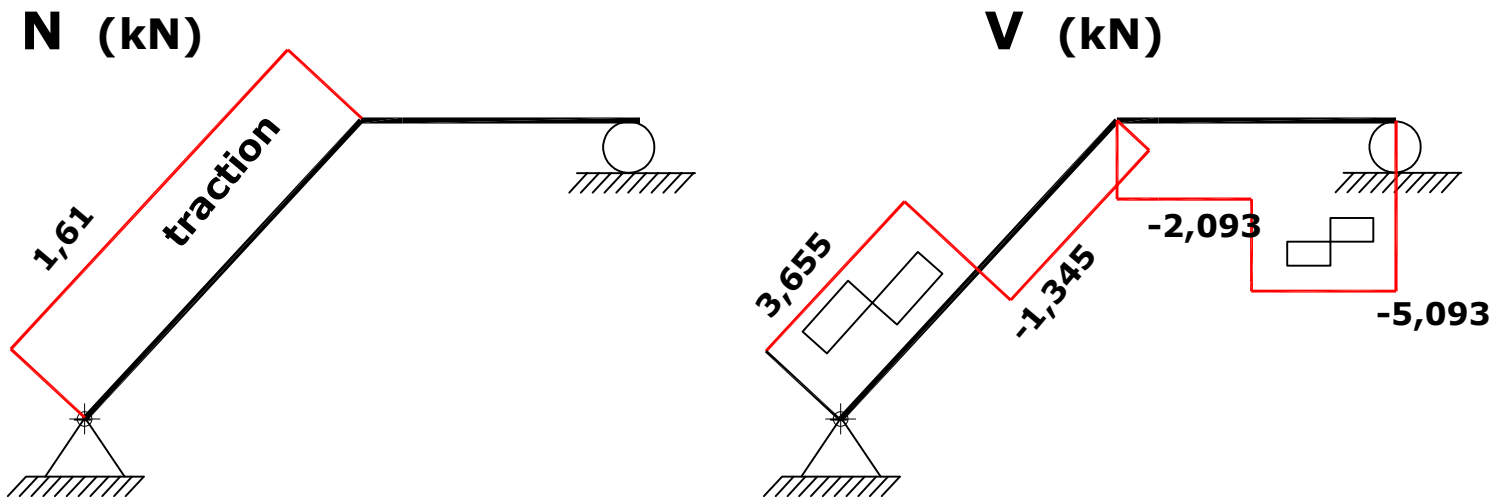
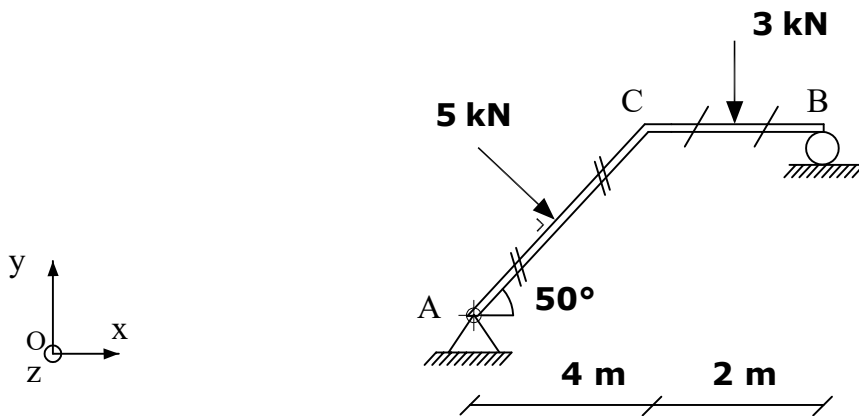
10 kN

60°

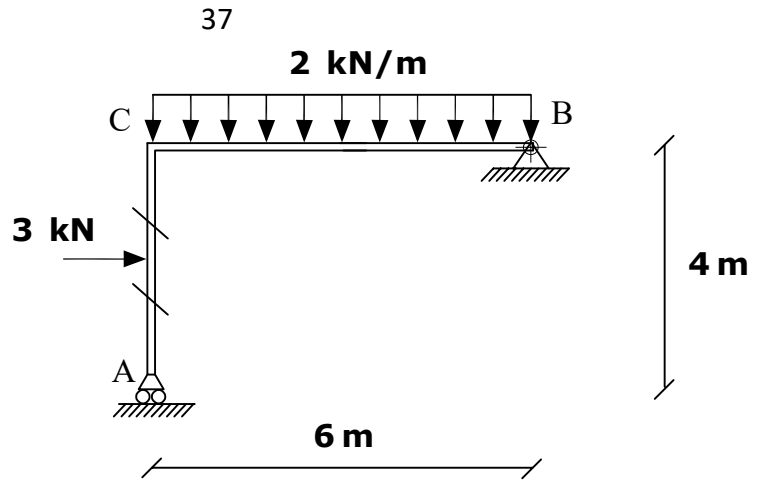
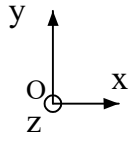


Déterminer les diagrammes MNV des structures à barres suivantes:
(on néglige le poids propre des barres)

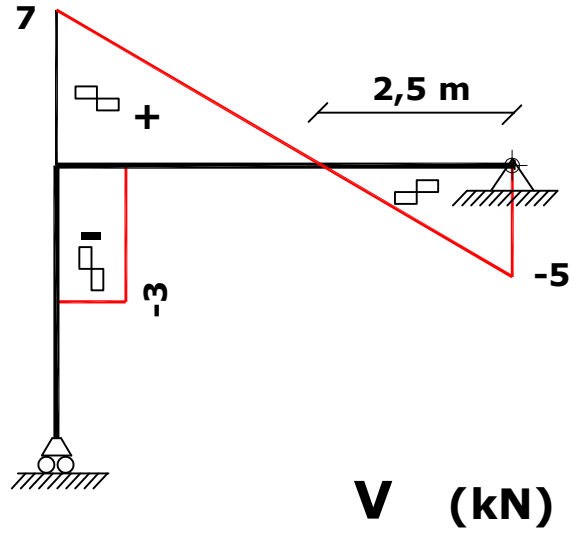
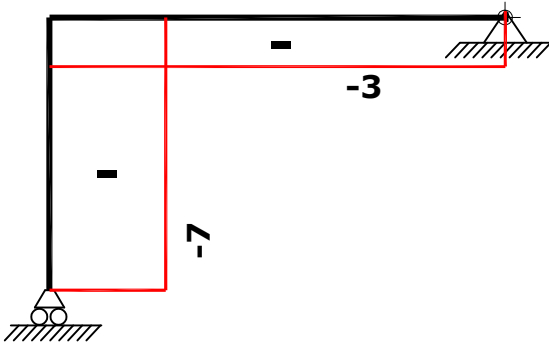
1)



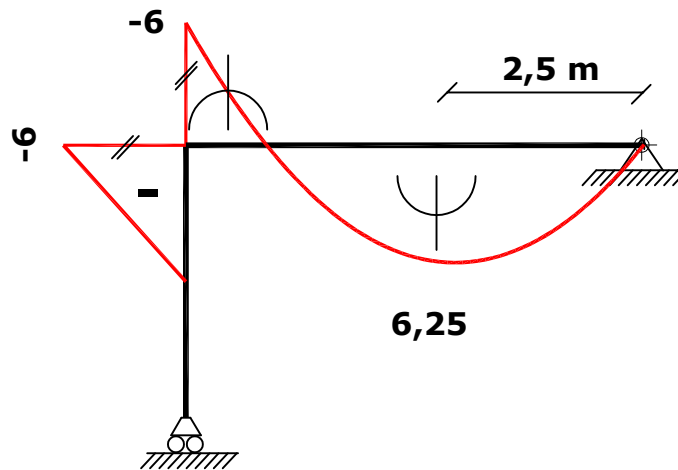
2)



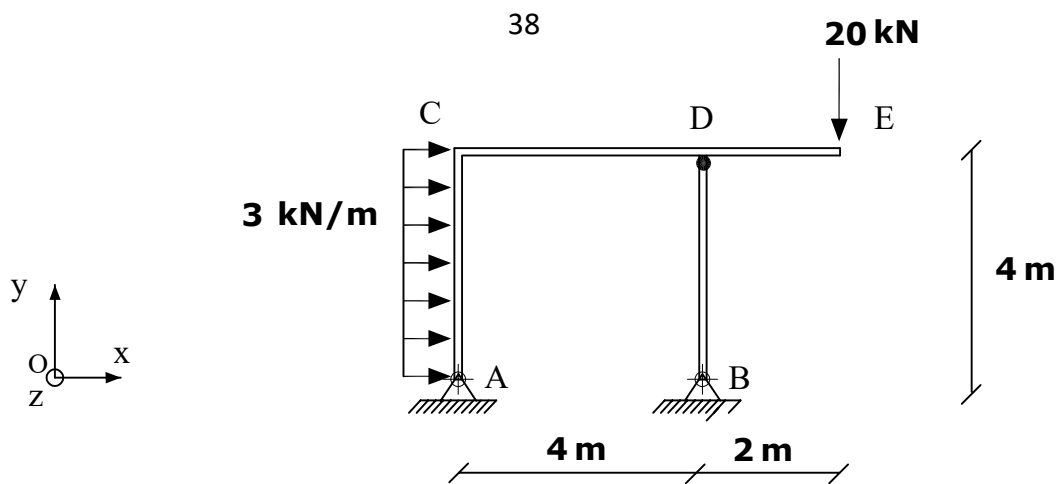
N (kN)



M (kNm)



3)

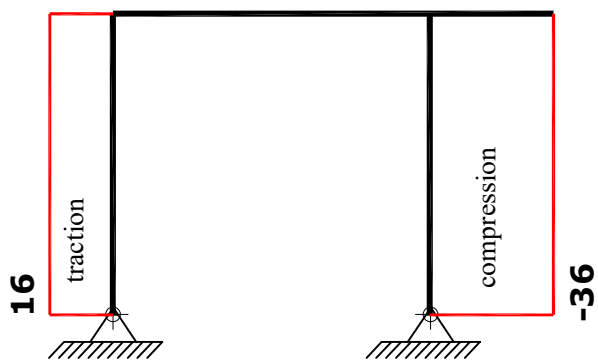


colonne BD articulée en D sur la traverse CE

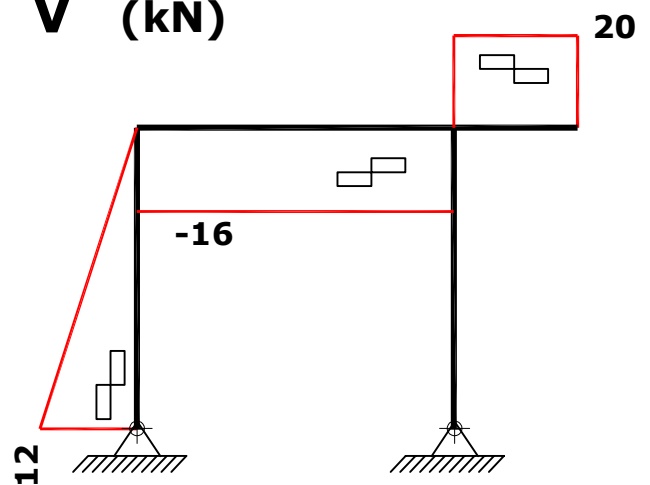
(la colonne BD se comporte donc comme une barre biarticulée non chargée)

→ **uniquement une force axiale dans la colonne BD**

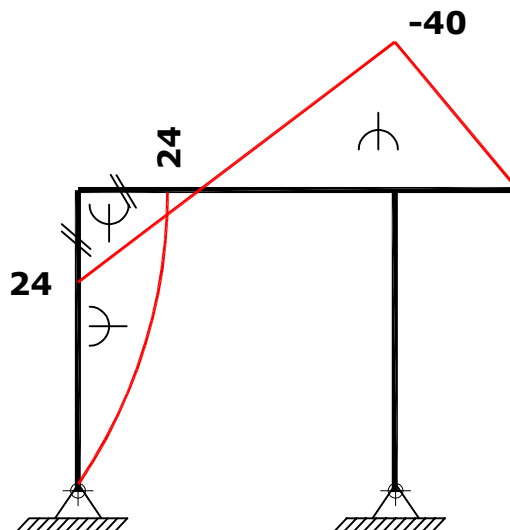
N (kN)



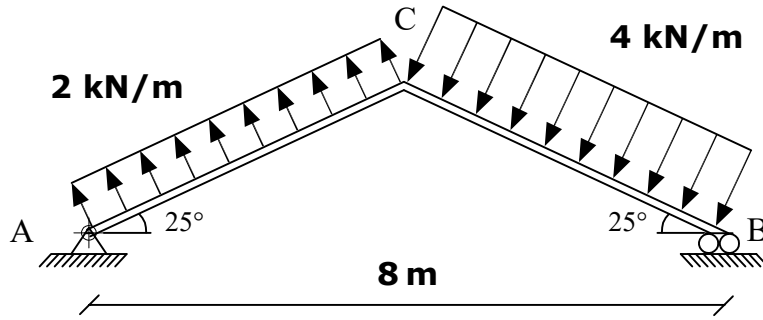
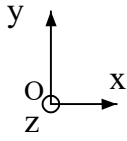
V (kN)



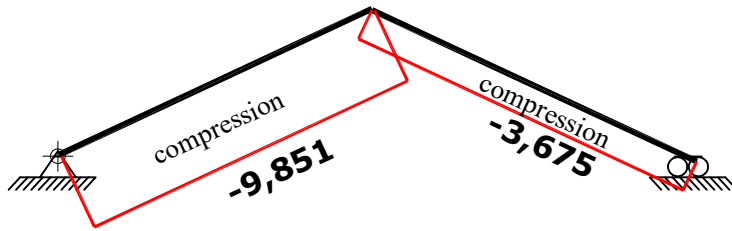
M (kNm)



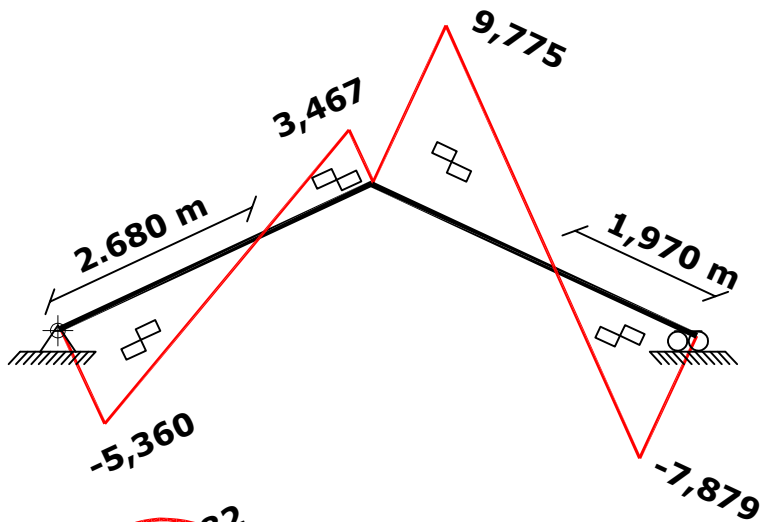
4)



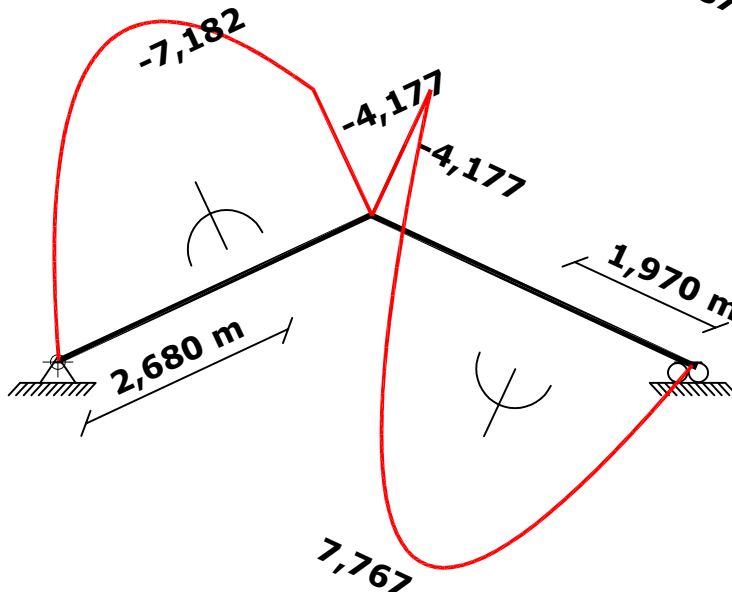
N (kN)



V (kN)

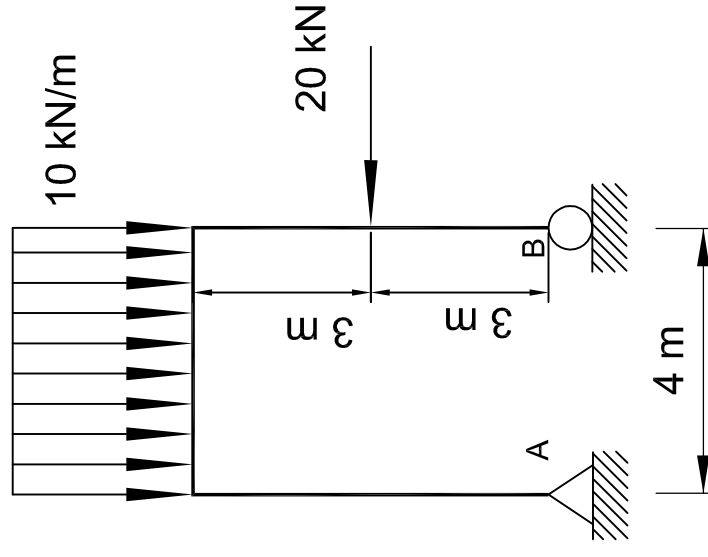
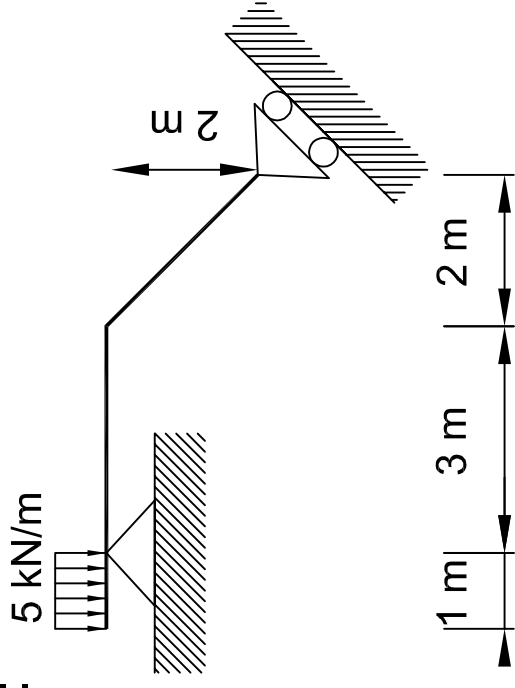
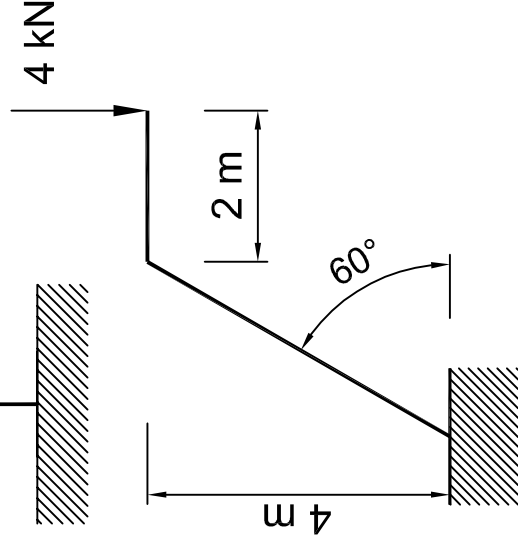
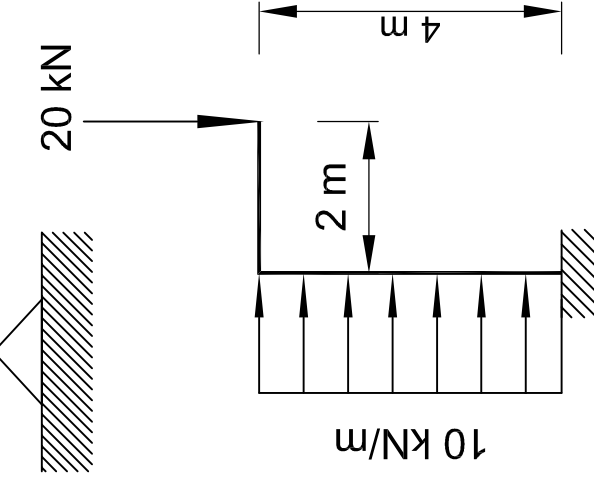
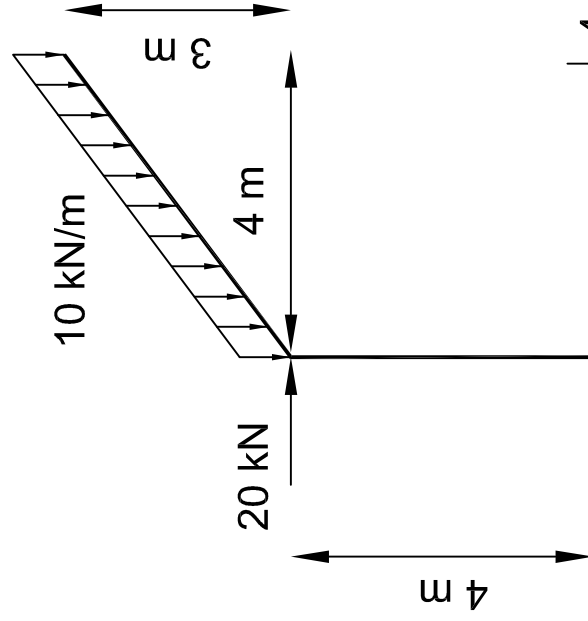
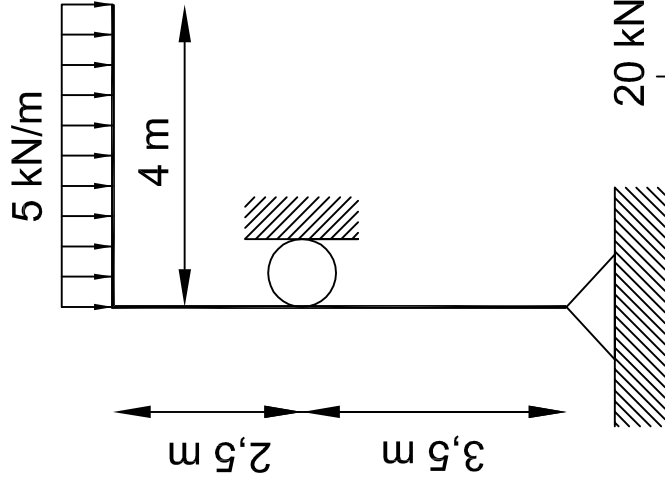


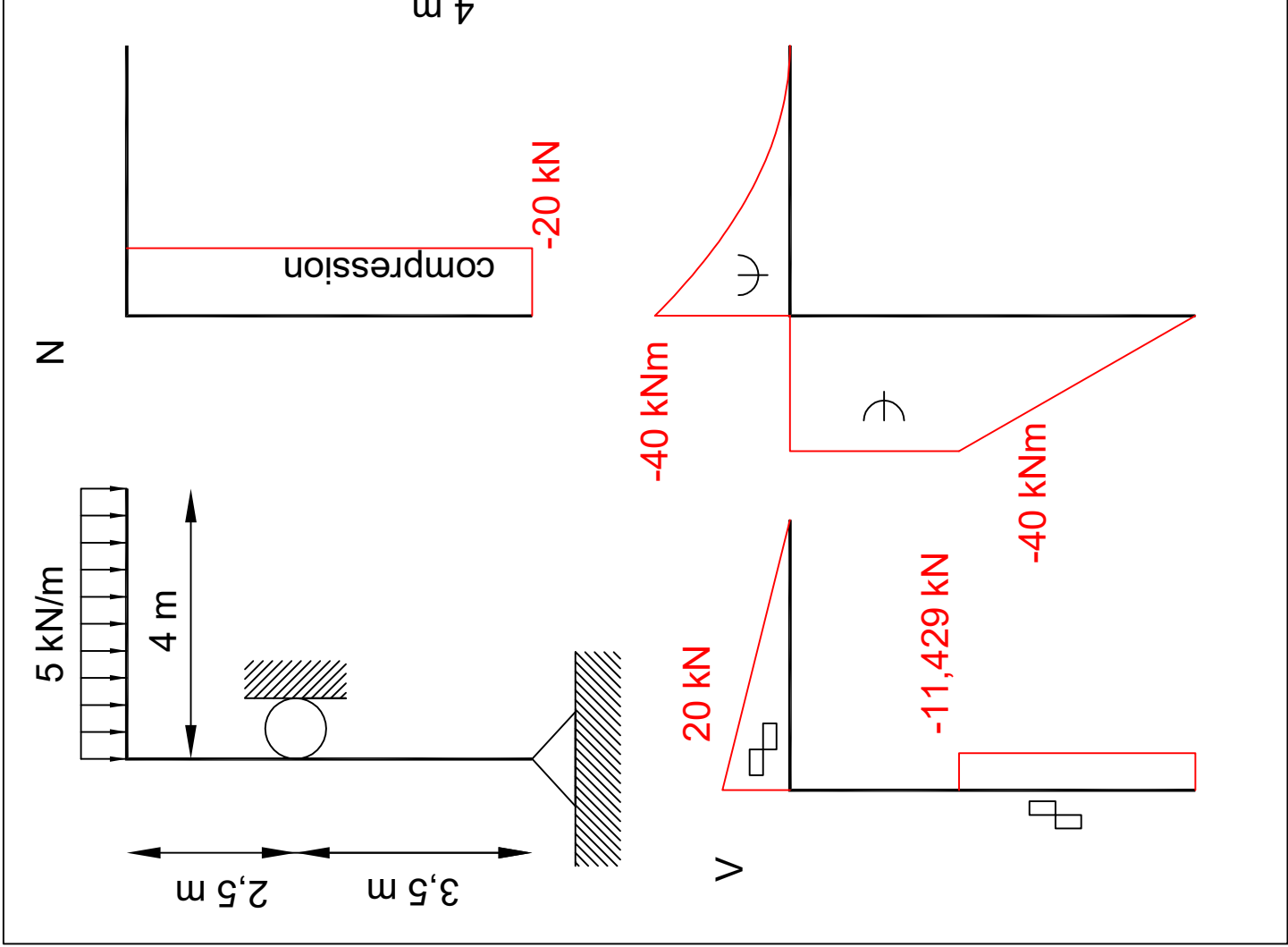
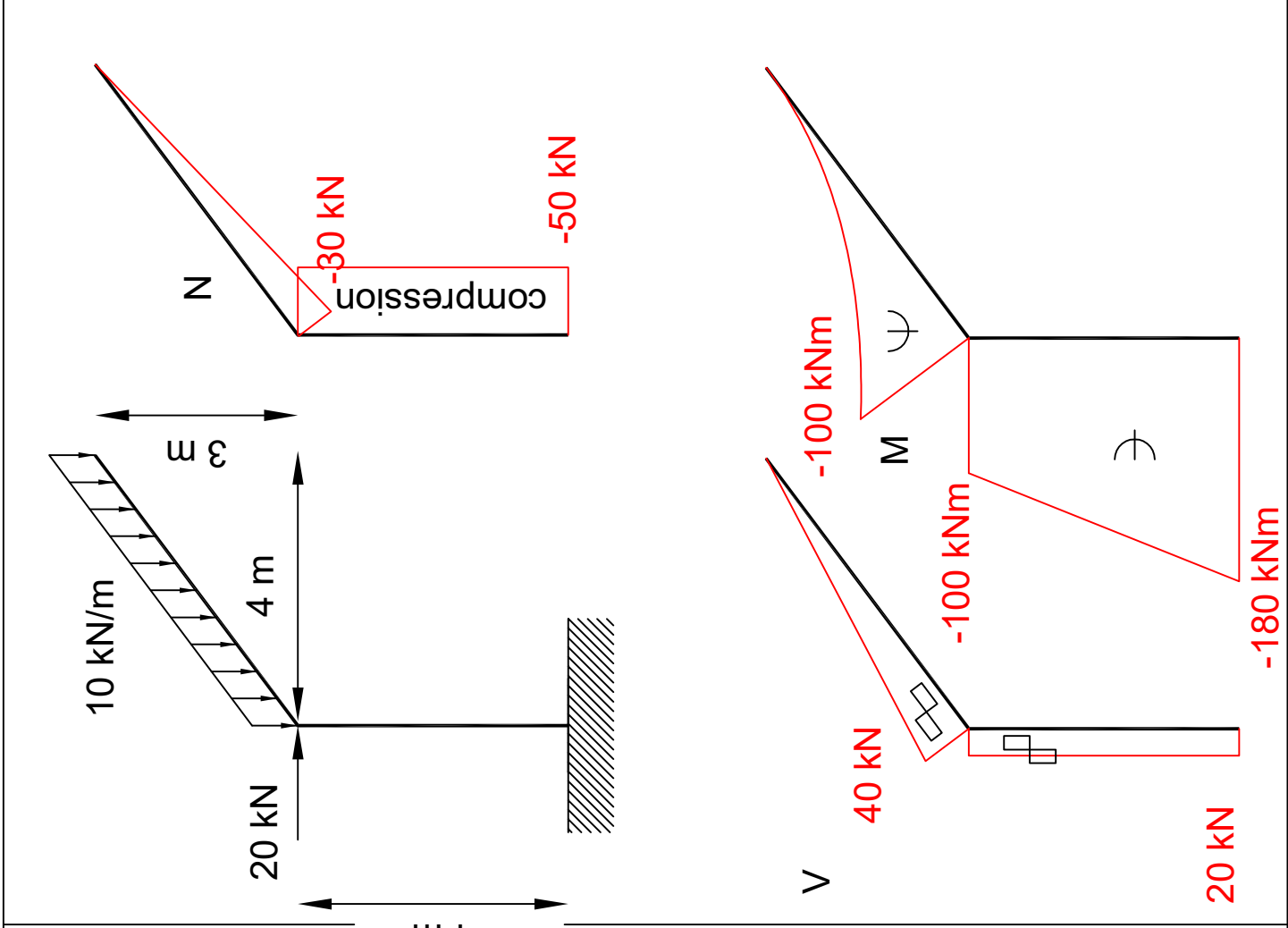
M (kNm)

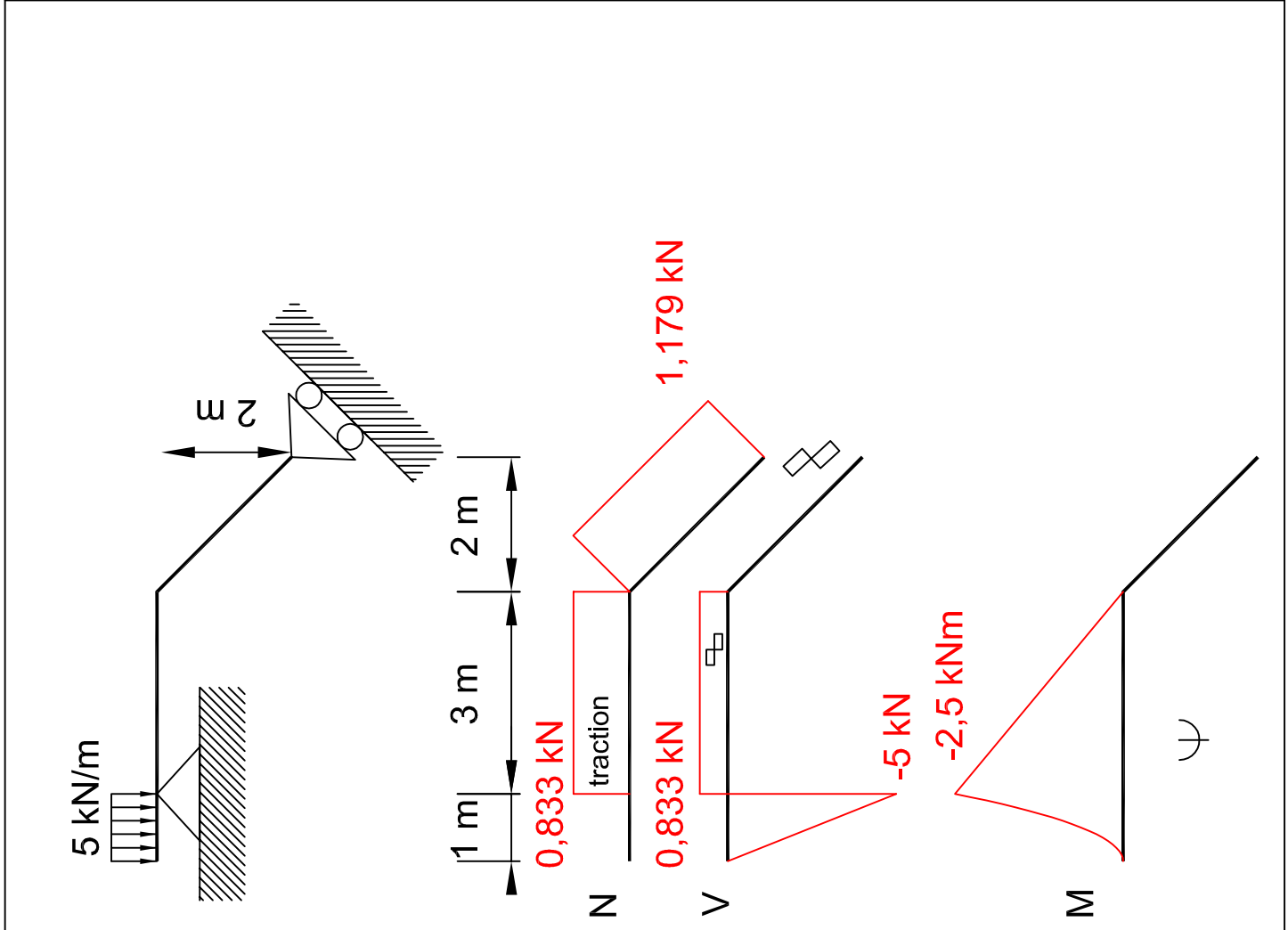
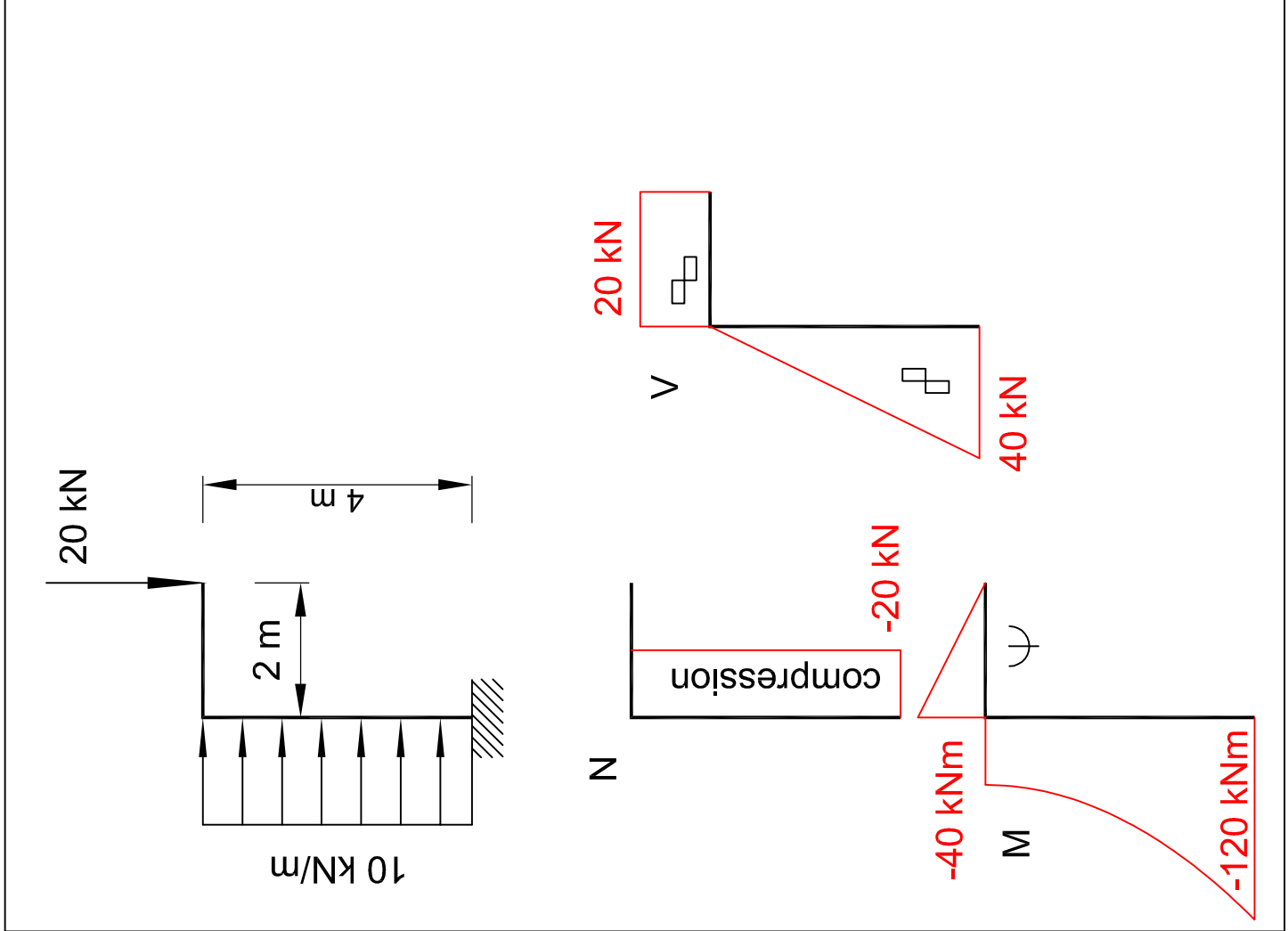


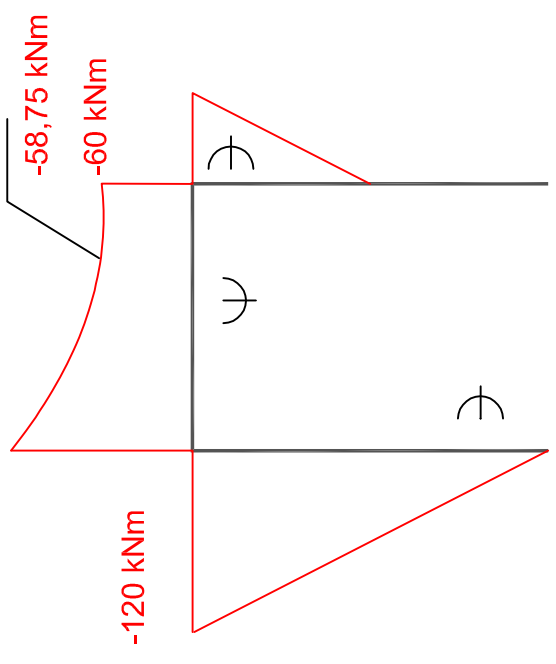
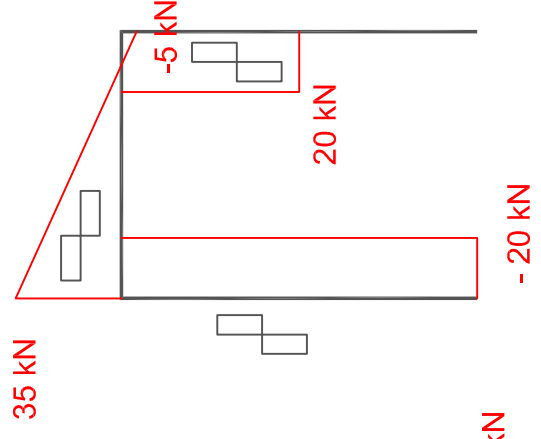
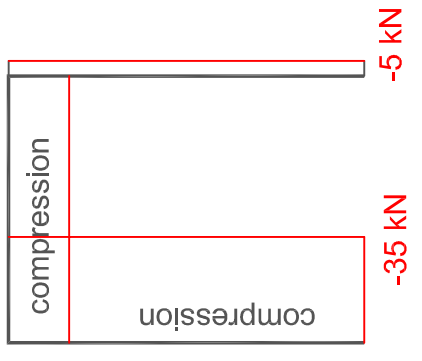
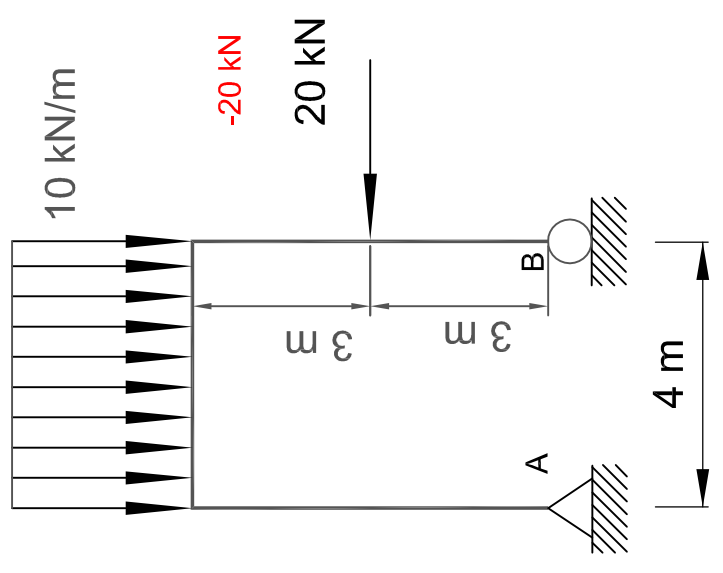
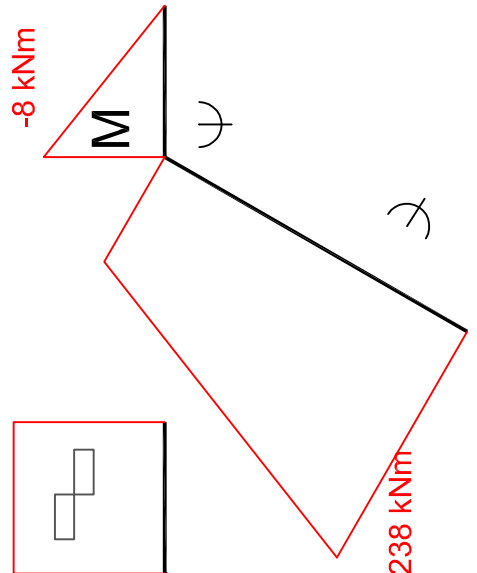
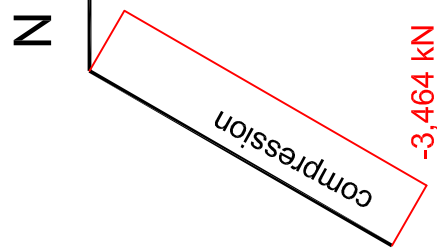
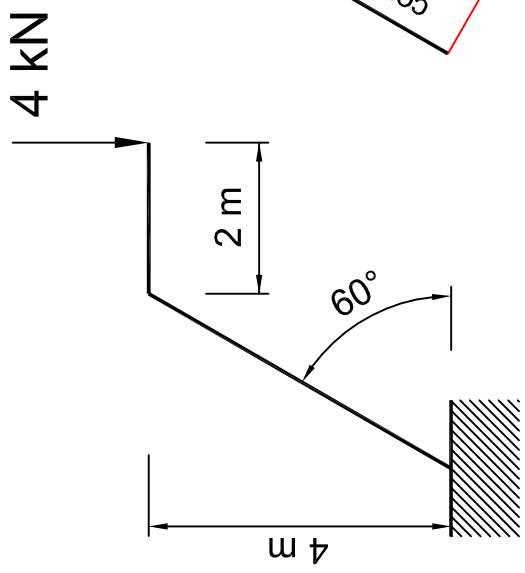
$V = \frac{dM}{dx}$	$V = 0 \quad \rightarrow \quad M_{\max} \text{ ou } M_{\min}$
---------------------	---

Tracer les diagrammes NVM des structures suivantes :





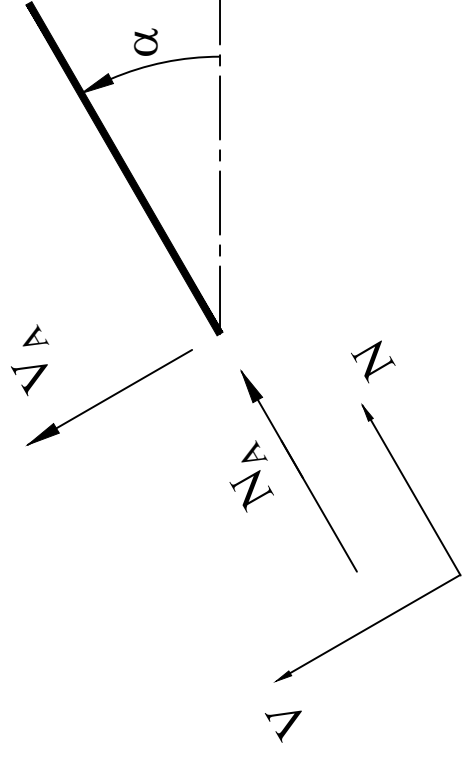
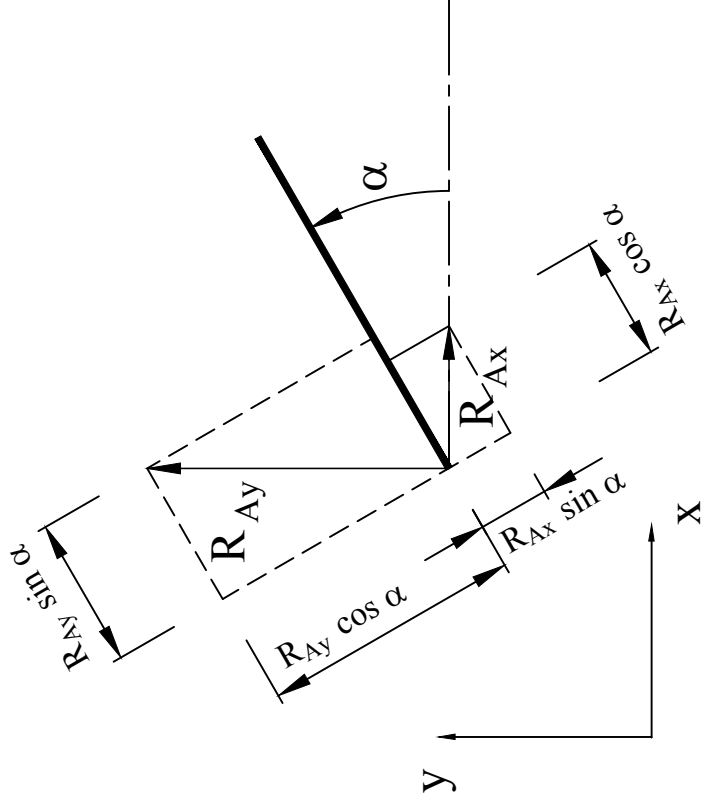




Rappel : changement de repère

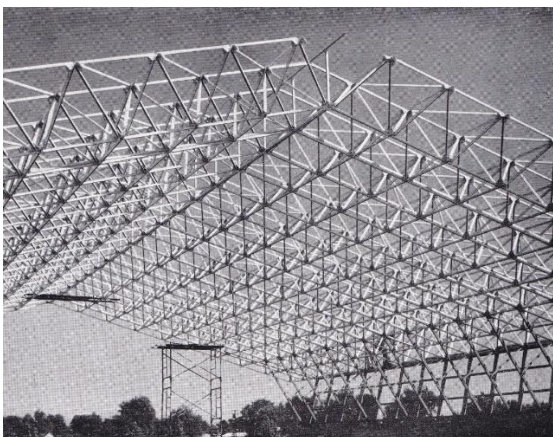
$$N_A = R_{Ax} \cos \alpha + R_{Ay} \sin \alpha$$

$$V_A = -R_{Ax} \sin \alpha + R_{Ay} \cos \alpha$$



CHAPITRE 2 : TREILLIS

1°) Définition



On nomme indifféremment **treillis**, **triangulation** ou **structure réticulée**, un ensemble de barres, assemblées les unes aux autres à leurs extrémités articulées, de manière à former une structure porteuse stable plane ou spatiale. On appelle **nœuds** les points de rencontre des *barres de treillis*.

Ce type de structure est très utilisé dans tous les domaines de la construction. Les treillis sont le plus souvent exécutés en acier, aluminium ou bois, rarement en béton. Ils sont pratiques, économiques et permettent une certaine légèreté. Les figures 1 et 2 montrent divers types de *treillis plans* et *spatiaux* (schémas statiques). Les treillis plans ne peuvent naturellement être chargés que dans leur plan et les dispositions de la construction doivent empêcher tout déplacement hors du plan.

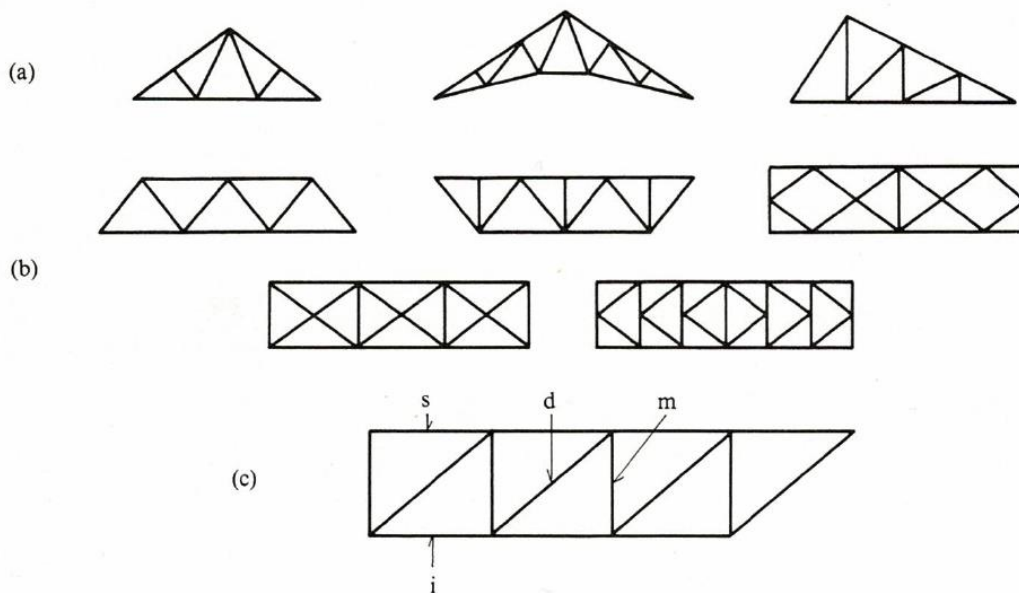


fig 1. : Treillis plans: (a) fermes; (b) poutres en treillis en V, en V avec montants, en losange, en K, en croix cte St-André; (c) poutre en treillis en N (s: membrure supérieure; i: membrure inférieure; d: diagonale; m: montant).

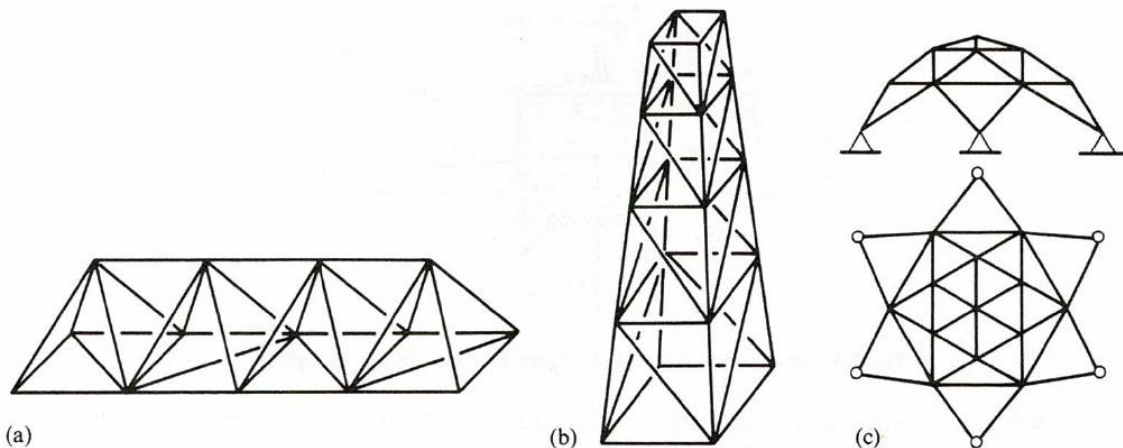


fig.2 : treillis spatiaux (a) poutre ; (b) mât ; (c) coupole

Un treillis plan soutenant une toiture est une **ferme**. Lorsque l'une des dimensions est nettement plus grande que les autres, on parle de **poutre en treillis**. Parmi les barres, on distingue les **membrures**, ensemble de barres essentiellement orientées dans la direction de la plus grande dimension de la poutre, et les **diagonales** et **montants**, barres orientées obliquement et transversalement à cette direction. Suivant la disposition géométrique des

barres, on parle de *treillis en V* (avec ou sans montants), *en N*, *en K*, *en losange*, *en croix de St-André*, etc. (figure 1).

Un treillis, d'après sa définition, a le *schéma statique* suivant:

- les nœuds sont *des articulations parfaites*, symbolisés par un petit cercle
- les axes des barres concourent aux nœuds *sans excentricité*
- les charges n'agissent qu'*aux seuls nœuds* et la barre ne peut transmettre de force qu'à ses extrémités (barre bi-articulée non chargée).

Cette modélisation ne correspond bien souvent que fort peu à la réalité. L'expérience, couplée à des calculs précis, a montré cependant que si, dans les constructions réelles,

- les nœuds restent petits et les barres élancées,
- les axes des barres sont concourants,
- les charges sont transmises aux nœuds,

alors le schéma statique défini précédemment donne des résultats très satisfaisants. Il faut entendre par là que

- les barres de treillis sont essentiellement sollicitées par un effort normal de traction ou de compression;
- les imperfections inévitables (nœuds rigides, poids propre...) n'introduisent que des effets dits *secondaires*, c'est-à-dire négligeables en première approximation.

Remarque

Le poids propre n'est évidemment pas négligeable en soi et on en tient compte, en pratique, en concentrant le poids de chaque barre par moitié en ses deux extrémités; ce qui est négligeable, c'est l'effet local du poids propre sur chaque barre prise isolément.

2°) Géométrie

Pour simplifier, on limite désormais les explications à l'étude des treillis plans (et on extrapole à l'espace les résultats obtenus).

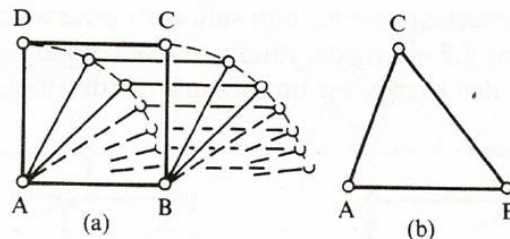


fig.3

Considérons d'abord deux cas très simples (fig. 3). Le treillis carré formé de quatre barres (fig.3a) n'est évidemment pas stable, car il peut se déformer en losange et s'écraser complètement. C'est un mécanisme et il en serait de même pour tout treillis polygonal formé de quatre barres ou plus. Par-contre, trois barres formant un triangle (fig. b) constituent une structure stable qui ne peut pas s'aplatir (aux variations de longueur près des barres) - la position relative des articulations A, B et C ne peut pas changer. Ce treillis est dit rigide ; ici, ce terme ne signifie pas indéformable, mais seulement peu déformable dans son ensemble. Le triangle est donc la forme la plus simple du treillis ; c'est aussi sa cellule de base, car on peut former un grand treillis par juxtaposition de triangles, d'où le nom de triangulation.

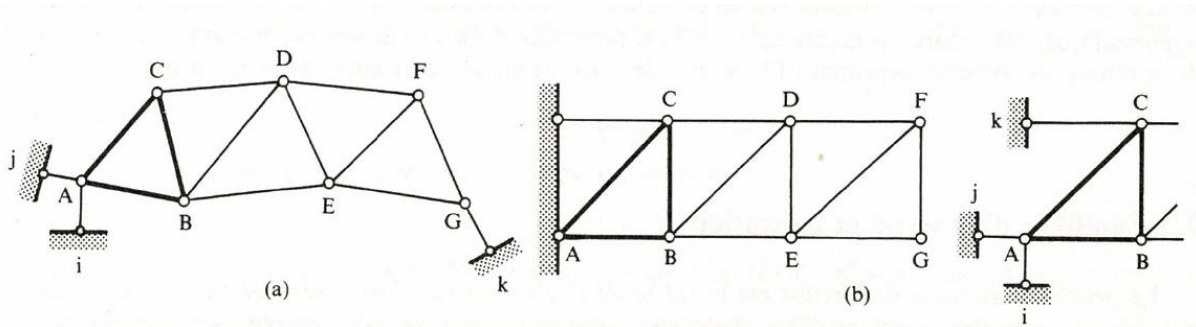


fig.4 : triangulations simples

3°) Calculs des efforts dans les barres

Le problème qui se pose à l'ingénieur est le suivant :

Connaissant les forces appliquées sur un système triangulé, déterminer les forces sollicitant les barres. Pour résoudre un tel problème, il faut donc en plus des réactions aux appuis (3 inconnues si le système est isostatique) déterminer l'effort axial de chaque barre, c'est-à-dire trouver $b + 3$ inconnues si b représente le nombre de barres.

Les équations nécessaires sont obtenues en exprimant l'équilibre des n nœuds ($\sum F_x$ et $\sum F_y = 0$), soit $2n$ équations au total.

Il existe trois méthodes pour déterminer analytiquement les efforts axiaux de chacune des barres :

- équilibre des nœuds (méthode de Crémona)
- principe de la coupe de Ritter
- application du théorème des travaux (ou puissances) virtuelles

4°) Conventions de signes

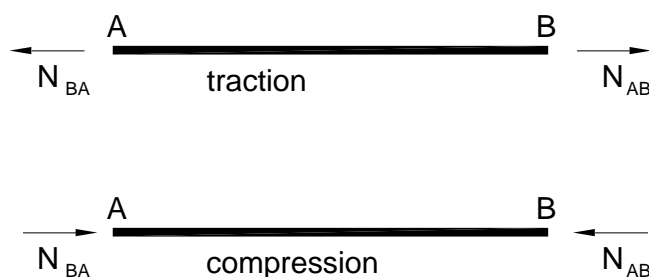


fig5. effort normal dans la barre AB

Conventionnellement, un effort normal positif tend à allonger cette barre. On dit que la barre est tendue ou est en **traction**. Une barre sollicitée voit sa longueur diminuer (elle se raccourcit) si elle est soumise à un effort normal négatif ou de **compression**. Ces efforts seront représentés comme représenté à la fig.5.

Par le principe d'action/réaction, une barre en traction s'oppose à son propre allongement et tend à rapprocher ses nœuds d'extrémités. Les forces exercées par les barres sur les nœuds auront le sens indiqué par la fig. 6

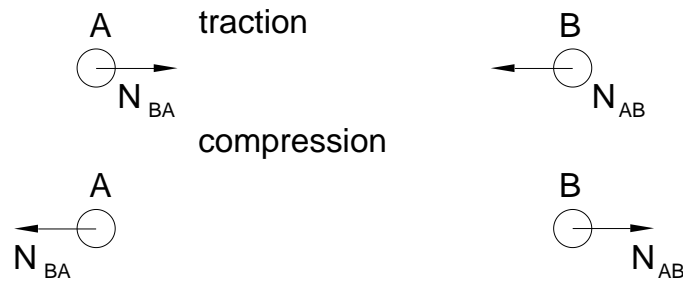


fig6. efforts exercés par la barre AB sur ses nœuds

Remarque sur la notation : les efforts normaux sont désignés par 2 indices : le premier indice donne la direction de la barre tandis que le deuxième indice indique le nœud où agit l'effort normal.

5°) Equilibre des nœuds

On écrit l'équilibre d'un premier nœud, puis, à partir de ces résultats, d'un deuxième, et ainsi de suite. Toutefois, comme il n'y a que deux équations d'équilibre par nœud, il faut disposer d'un premier nœud où n'aboutissent que deux barres, afin de ne démarrer qu'avec deux inconnues. Un tel nœud s'appelle nœud simple et il s'en trouve toujours un dans les triangulations simples. Ensuite, il faut également que, pour tout nœud suivant, on n'ait jamais plus de deux efforts inconnus à trouver. Ordinairement, il faut calculer au préalable les réactions d'appui (équilibre de tout le treillis).

Cette technique, très simple et méthodique, mais aussi laborieuse, s'utilise lorsqu'on veut trouver l'effort normal dans toutes les barres du treillis, ce qui est rarement nécessaire, sauf pour le dimensionnement final détaillé.

Exemple : calculer les efforts normaux dans chacune des barres du treillis suivant :

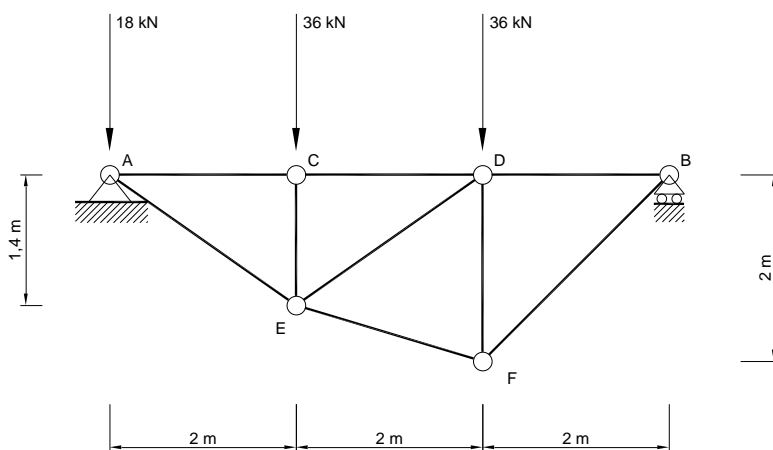
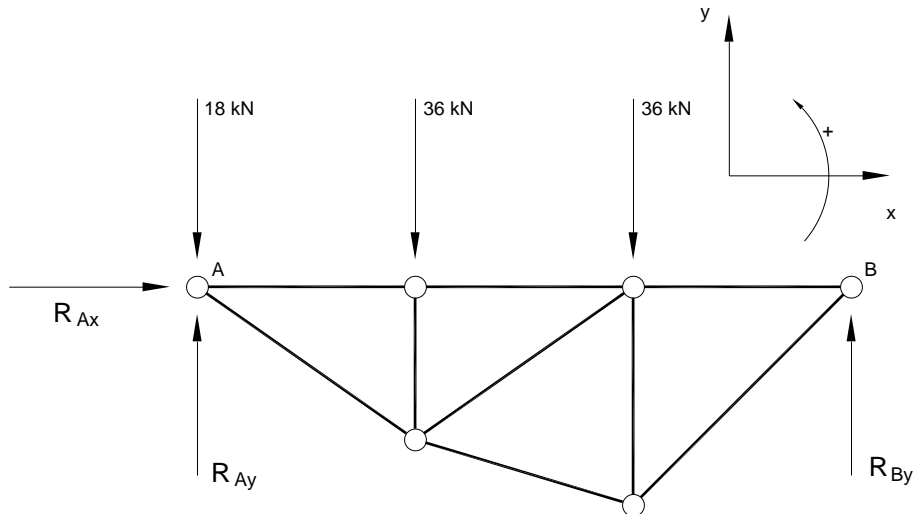


fig.7

La première étape consiste à déterminer les réactions d'appui :



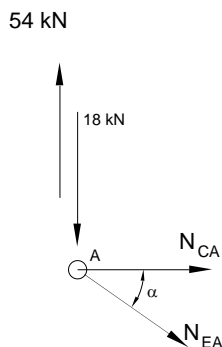
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow R_{Ax} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_{Ay} + R_{By} = 18 + 36 + 36 = 90 \text{ kN}$$

$$\sum \mathcal{M}_{Az} = 0 \Rightarrow -36 \times 2 - 36 \times 4 + 6 \times R_{By} = 0$$

$$R_{By} = \frac{36 \times 6}{6} = 36 \text{ kN} \text{ et } R_{Ay} = 54 \text{ kN}$$

Il y a deux nœuds simples (nœuds où aboutissent seulement 2 barres) = A et B. On commence par exprimer l'équilibre du nœud A. **Les équations seront écrites en considérant que toutes les barres sont en traction.** Le nœud A est donc soumis aux actions suivantes :



$$\alpha = \arctg \frac{1,4}{2} = 34,992^\circ$$

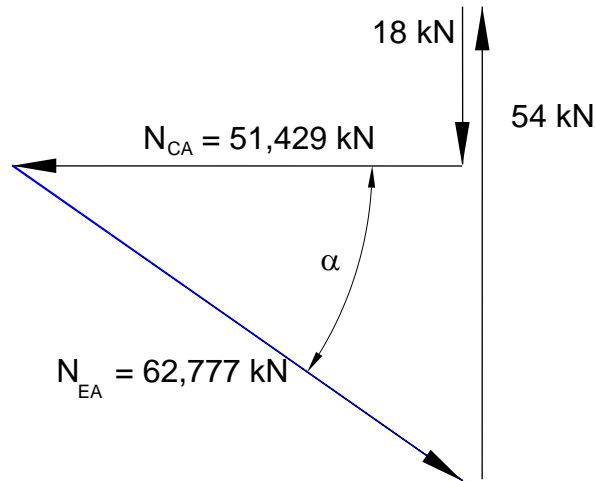
$$\sum F_x = 0 = N_{EA} \cos \alpha + N_{CA} = 0$$

$$\sum F_y = 0 = -N_{EA} \sin \alpha + 54 - 18 = 0$$

$$N_{EA} = \frac{36}{\sin \alpha} = 62,777 \text{ kN}$$

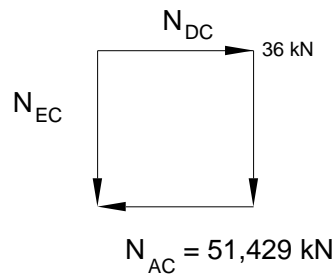
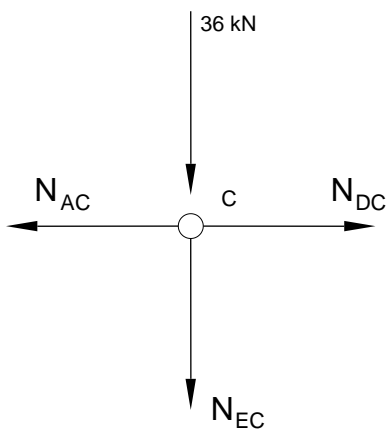
$$N_{CA} = -N_{EA} \cos \alpha = -51,429 \text{ kN}$$

Comme on obtient une valeur de N_{CA} négative, la barre AC est en compression. La valeur de N_{AE} est positive, la barre AE est en traction. La méthode de « Crémone » est la méthode graphique qui permet de déterminer les efforts normaux. Elle consiste à créer un polygone en portant bout à bout des vecteurs ayant la direction et le sens des efforts normaux tout en respectant un facteur d'échelle. Le polygone obtenu doit constituer une figure fermée.



On passe au nœud suivant. Il n'est pas intéressant d'écrire les équations d'équilibre du nœud E car 3 « nouvelles » barres (dont on ne connaît pas les efforts normaux) se joignent en ce nœud. Le point C, par-contre, ne relie que 2 « nouvelles » barres.

Equilibre de C



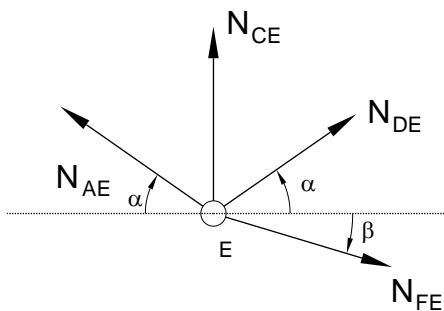
$$\sum F_x = 0 = -N_{AC} + N_{DC} = 0$$

$$\sum F_y = 0 = -N_{EC} - 36 = 0$$

$$N_{DC} = -51,429 \text{ kN (compression)}$$

$$N_{EC} = -36 \text{ kN (compression)}$$

Equilibre de E



$$\sum F_x = -N_{AE} \cos \alpha + N_{DE} \cos \alpha + N_{FE} \cos \beta = 0$$

$$\sum F_y = N_{AE} \sin \alpha + N_{DE} \sin \alpha - N_{FE} \sin \beta + N_{CE} = 0$$

Le système s'écrit :

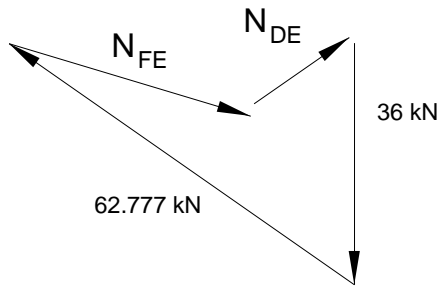
$$N_{DE} \cos \alpha + N_{FE} \cos \beta = N_{AE} \cos \alpha = 51,429$$

$$N_{DE} \sin \alpha - N_{FE} \sin \beta = -N_{CE} - N_{AE} \sin \alpha = 0$$

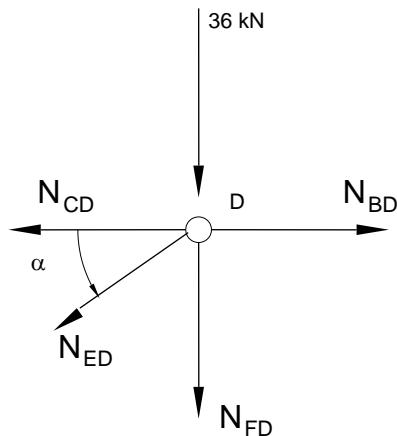
$$N_{FE} = 375,585 \text{ kN (traction)}$$

$$N_{DE} = 18,833 \text{ kN (traction)}$$

$$\beta = \arctan \frac{0.6}{2} = 16,699^\circ$$



Equilibre de D



$$\sum F_x = 0 = -N_{CD} - N_{ED} \cos \alpha + N_{BD} = 0$$

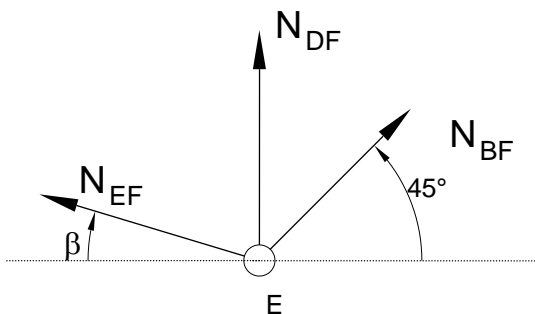
$$N_{BD} = N_{CD} + N_{ED} \cos \alpha = -36 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0 = -36 - N_{FD} - N_{ED} \sin \alpha = 0$$

$$N_{FD} = -36 - N_{ED} \sin \alpha = -46,80 \text{ kN}$$

Les barres BD et FD sont en compression

Equilibre de F



$$\sum F_x = 0 = -N_{EF} \cos \beta + N_{BF} \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$N_{BF} = 50,912 \text{ kN (traction)}$$

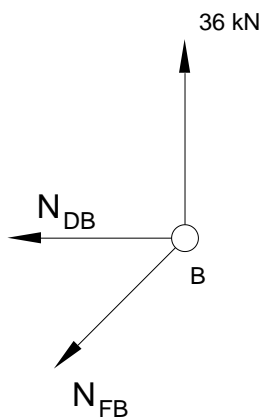
On peut vérifier que l'équilibre de translation vertical est bien vérifié :

$$\sum F_y = ? 0$$

$$N_{EF} \sin \beta + N_{BD} \sin 45^\circ + N_{DF} = ? 0$$

$$37,585 \sin 16,699^\circ + 50,912 \frac{\sqrt{2}}{2} - 46,80 = ? 0$$

De même, équilibre de B :



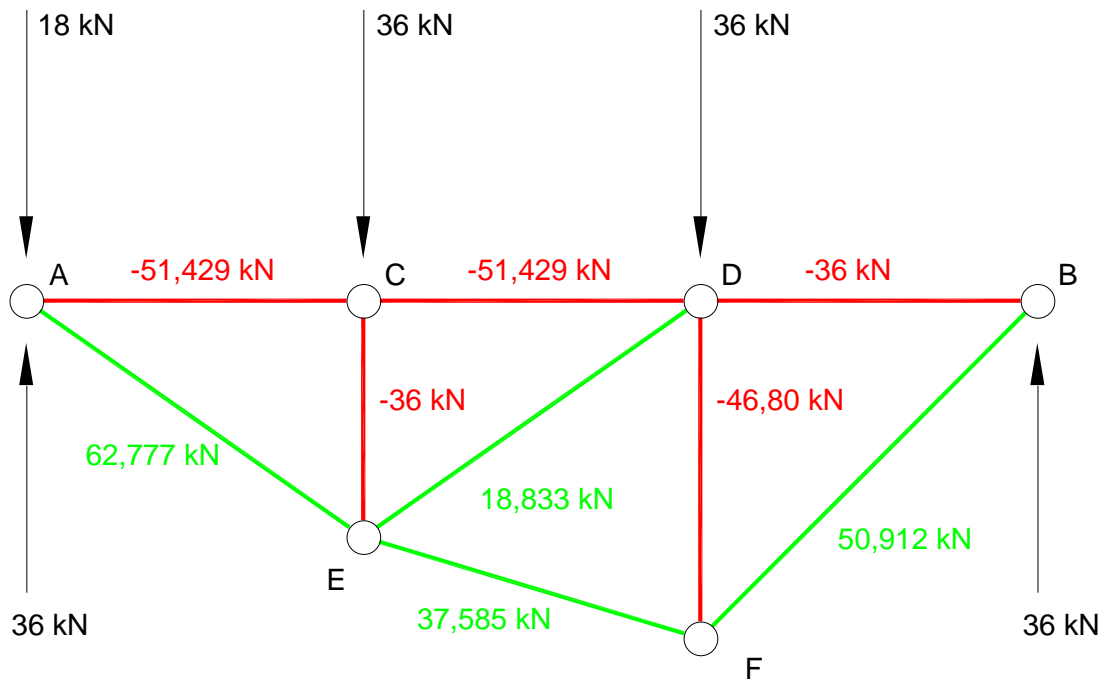
$$\sum F_x = -N_{DB} - N_{FB} \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$36 - 50,912 \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$36 - N_{FB} \frac{\sqrt{2}}{2} = 0$$

La solution finale, en représentant en rouge les barres comprimées et en vert les barres en traction :



6°) Méthode de la coupe de Ritter

Au lieu d'isoler un seul nœud, il est intéressant d'isoler un groupe de nœuds, c'est-à-dire une portion du treillis. Appliquons le principe de la coupe en sectionnant le treillis en *deux fragments*. On peut dessiner le schéma de l'un des fragments, isolé ; si d'éventuelles réactions ont été calculées préalablement par l'équilibre de tout le treillis, alors seul l'effort normal de chaque barre coupée apparaît comme inconnue ; l'équilibre de ce fragment mettant en jeu 3 équations, la coupe ne devrait pas extérioriser plus de 3 inconnues.

La coupe idéale est donc celle qui ne sectionne que *trois* barres ; elle s'appelle **coupe simple**. Mais, plus généralement, *toute coupe permettant de calculer un effort normal inconnu convient, quel que soit le nombre de barres coupées*. Dans la figure 8 par exemple, S_1 est une coupe simple ; elle permet de calculer N_{FD} , N_{GD} et N_{GE} . Par-contre, S_2 coupe 4 barres mais permet néanmoins de calculer directement N_{DF} en exprimant l'équilibre de rotation autour du point G :

$$\sum M_{Gz} = 0$$

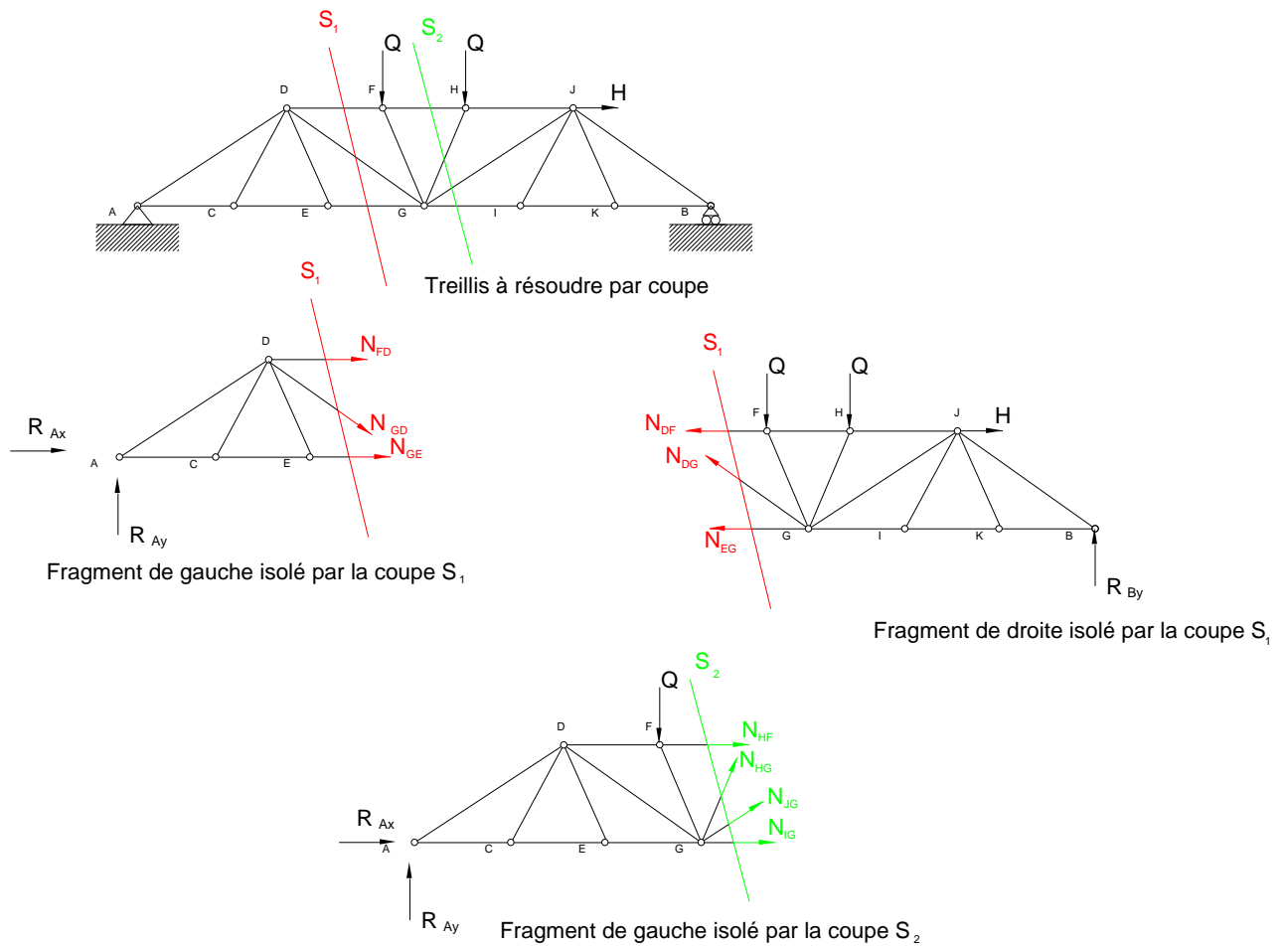


Fig8 : principe de la coupe

De plus, les efforts normaux qui naissent sur les faces des barres coupées sont les mêmes pour les deux fragments. On écrira donc l'équilibre d'un seul fragment, *celui qui fournit les calculs les plus simples*.

La coupe est particulièrement efficace lorsqu'on ne désire trouver l'effort normal que dans quelques barres typiques (les plus sollicitées par exemple); elle fournit d'un coup l'effort normal dans une quelconque barre, évitant une longue succession d'équilibres de nœuds.

Exemple : calculer l'effort normal dans les barres EG et IJ du treillis hyperstatique suivant :

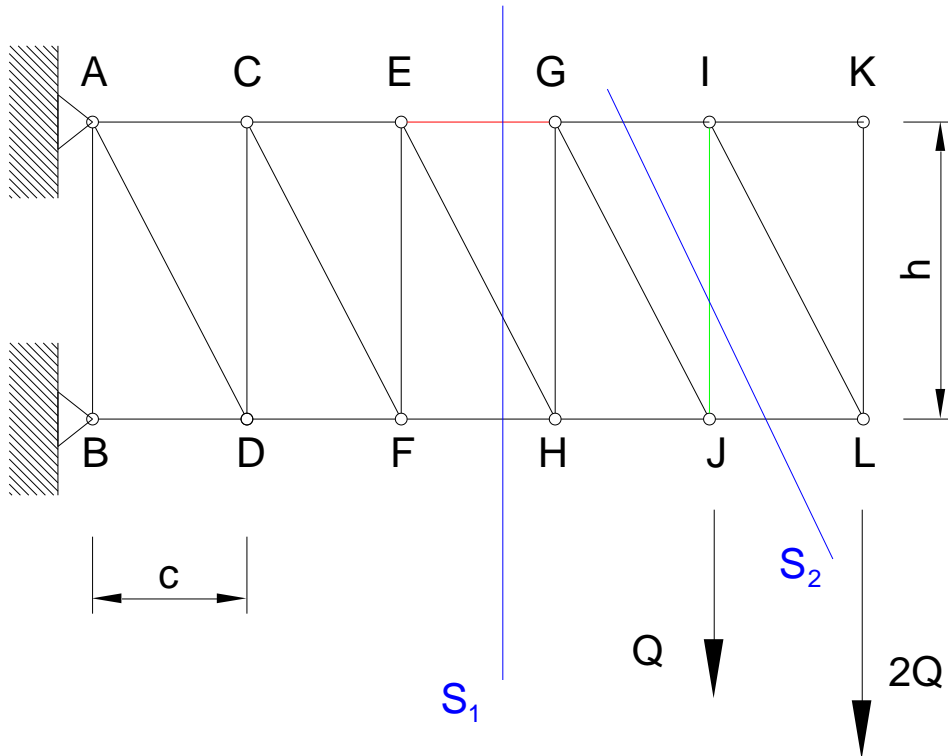


Fig.9

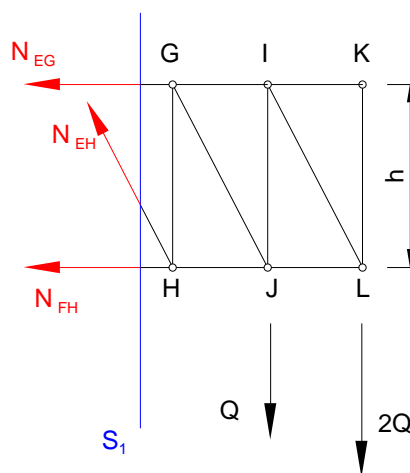
Inutile de chercher une coupe simple pour les barres EG et IJ simultanément, il n'y en a pas ici. L'important est de trouver deux sections qui conduisent au calcul aisé et efficace de N_{EG} , et de N_{IJ} .

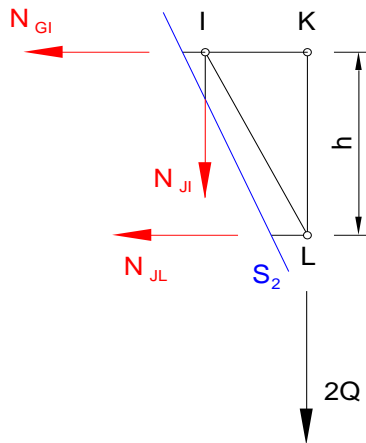
Calcul de N_{EG}

Soit la coupe simple S_1 , traversant bien sûr la barre EG. Le dessin du fragment de treillis situé à droite de S_1 ; et non à gauche puisqu'on n'a pas calculé les réactions - comporte 3 inconnues N_{EG} , N_{EH} et N_{FH} . Comme seul N_{EG} , importe, on écrit l'équation d'équilibre $\Sigma M_{Hz} = 0$.

$$h N_{EG} - cQ - 2c 2Q = 0$$

$$N_{EG} = \frac{5cQ}{h}$$



Calcul de N_{IJ} 

Soit la coupe simple S_2 ; on isole le fragment de droite, puis on écrit l'équation d'équilibre vertical :

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ -N_{JI} - 2Q &= 0 \\ \Rightarrow N_{JI} &= -2Q\end{aligned}$$

Le montant IJ est donc en compression.

7°) Méthode combinée

L'équilibre des nœuds est simple et long; l'équilibre des fragments est élégant et puissant. Prises isolément, ces deux méthodes peuvent être mises en défaut dans les treillis qui, bien que isostatiques, ne sont pas des triangulations simples (fig.10). En les combinant cependant, on résout facilement tous les cas pratiques. Ainsi, pour le treillis de la figure 10, il est impossible de calculer N_1 sans avoir préalablement calculé N_2 .

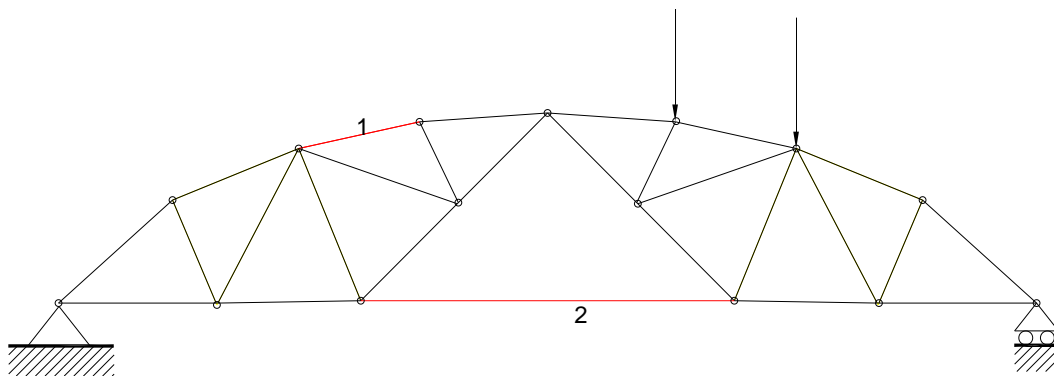


fig.10

8°) Quelques nœuds particuliers

La figure 11 présente quatre nœuds particuliers, isolés et *non chargés* d'actions extérieures. On démontre sans peine les *propriétés* qui en résultent. On observe, dans les géométries 2 et 3, la présence d'efforts normaux nuls, traduisant l'existence de barres à *effort nul*.

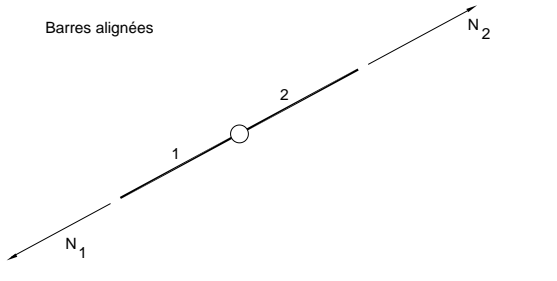
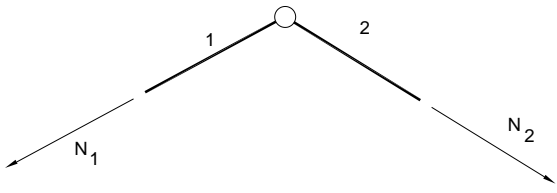
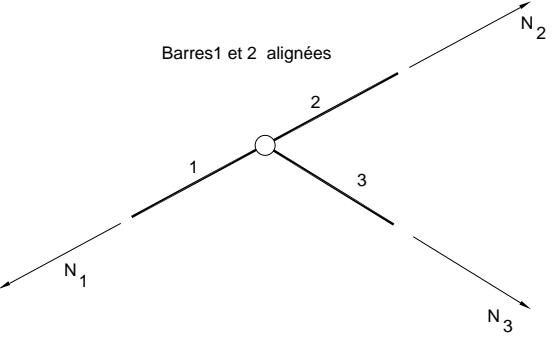
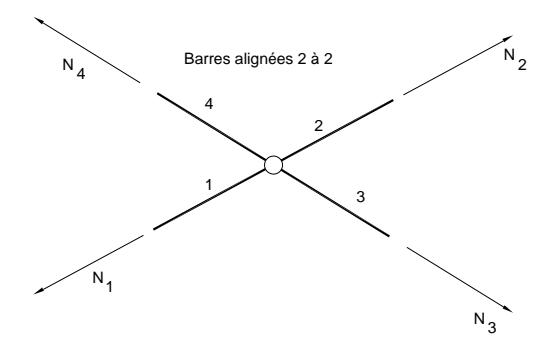
<p>Barres alignées</p> 	$N_1 = N_2$
	$N_1 = N_2 = 0$
<p>Barres 1 et 2 alignées</p> 	$N_1 = N_2$ $N_3 = 0$
<p>Barres alignées 2 à 2</p> 	$N_1 = N_2$ $N_3 = N_4$

fig11. nœuds particuliers

On active souvent l'analyse d'un treillis en recherchant, *avant tout calcul*, s'il contient des barres à effort nul, car on peut ensuite en faire abstraction lors du calcul. Dans la figure 12, par exemple, les barres de couleur rouge sont à effort nul. On en déduit, entre autres, que

l'effort normal est constant dans la membrure inférieure et que, en particulier, l'effort normal de la barre HE n'est pas égal à Q.

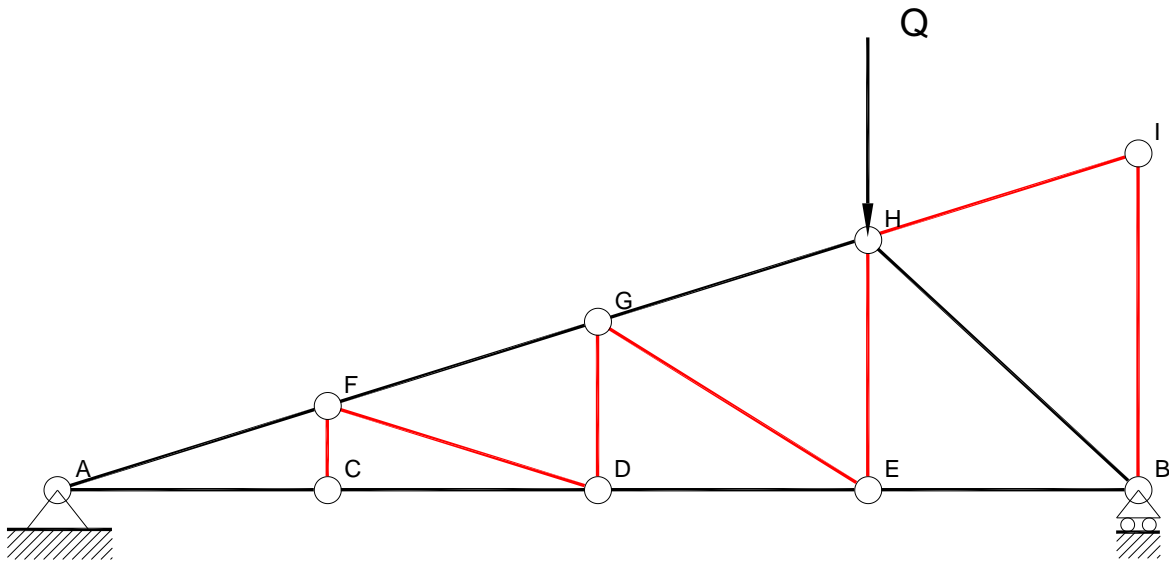


fig.12 : barres à effort nul

Les barres à effort nul ne sont pas inutiles ; elles peuvent être chargées lorsque le cas de charge change.

9°) Calcul par le principe des travaux ou puissance virtuelles.

Pour rappel, le principe des travaux virtuels s'applique à un mécanisme (système hypostatique). Pour exprimer la relation mathématique des travaux virtuels, il suffit d'imaginer un déplacement compatible. Ce dernier sera obtenu en supprimant la barre dont on veut connaître la valeur de l'effort normal. Si l'on veut déterminer l'effort normal dans la barre EG du treillis de la figure 9, il suffit de retirer cette barre et d'extérioriser les efforts N_{GE} et N_{EG} . (fig.13)

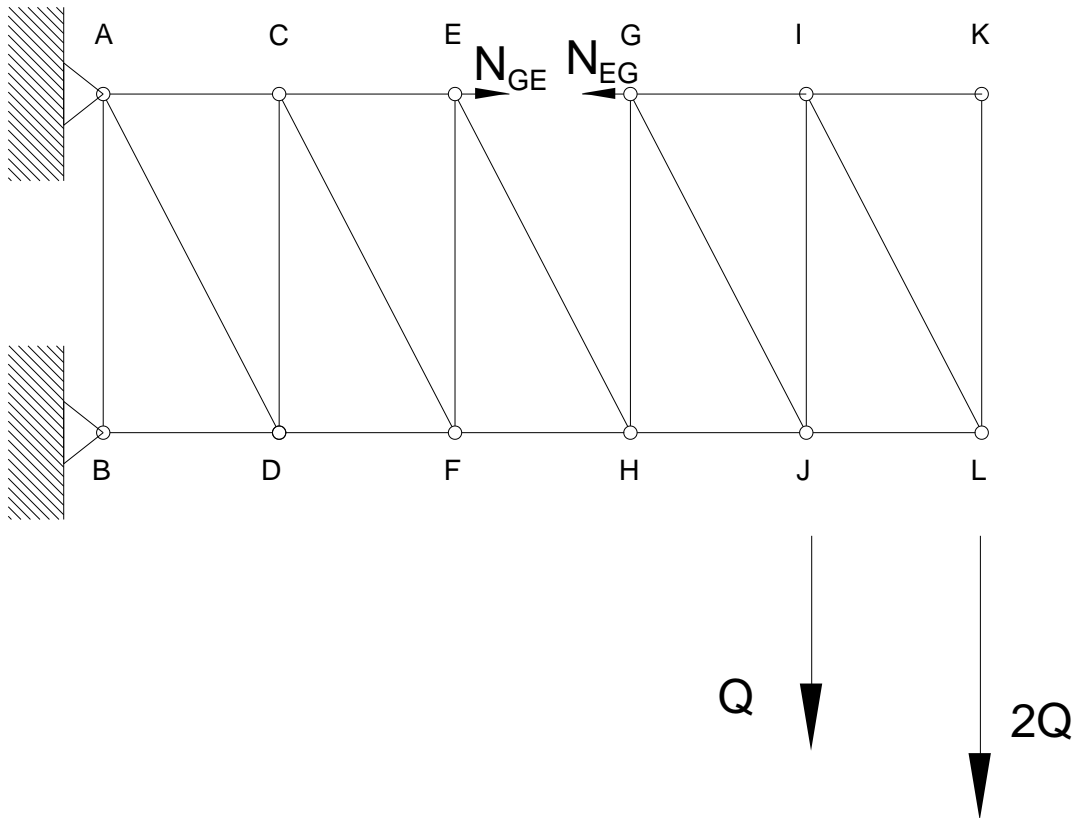
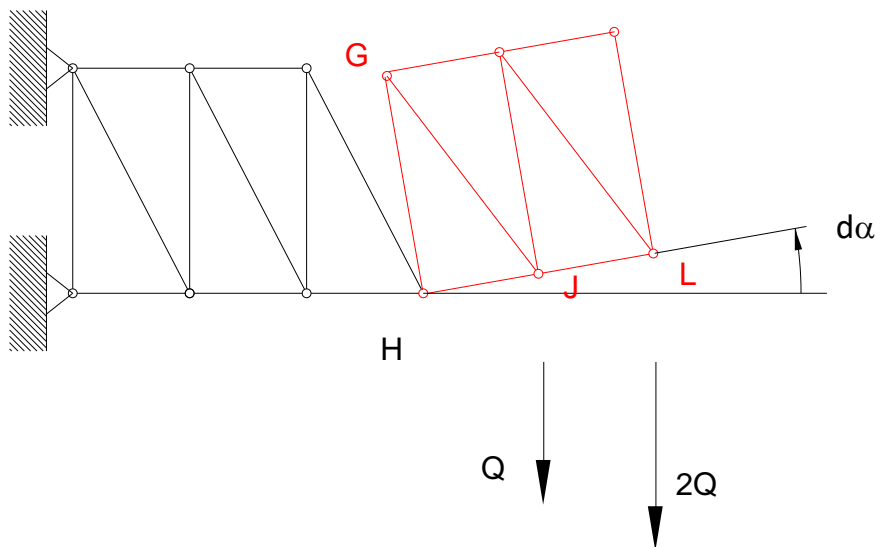


fig.13

Imaginons une rotation $d\alpha$ du solide HGJILK. Exprimons les déplacements des points d'application des charges Q , $2Q$ et N_{EG} en différentiant les vecteurs positions :



$$\vec{HJ} (c \cos \alpha, c \sin \alpha)$$

$$\vec{HL} (2c \cos \alpha, 2c \sin \alpha)$$

$$\vec{HG} (-h \sin \alpha, h \cos \alpha)$$

Les déplacements des points J, L et G peuvent être obtenus en dérivant les vecteurs positions par rapport à l'angle α :

$$\vec{\delta}_J (-c \sin \alpha d\alpha, c \cos \alpha d\alpha)$$

$$\vec{\delta}_L (-2c \sin \alpha d\alpha, 2c \cos \alpha d\alpha)$$

$$\vec{\delta}_G (-h \cos \alpha d\alpha, -h \sin \alpha d\alpha)$$

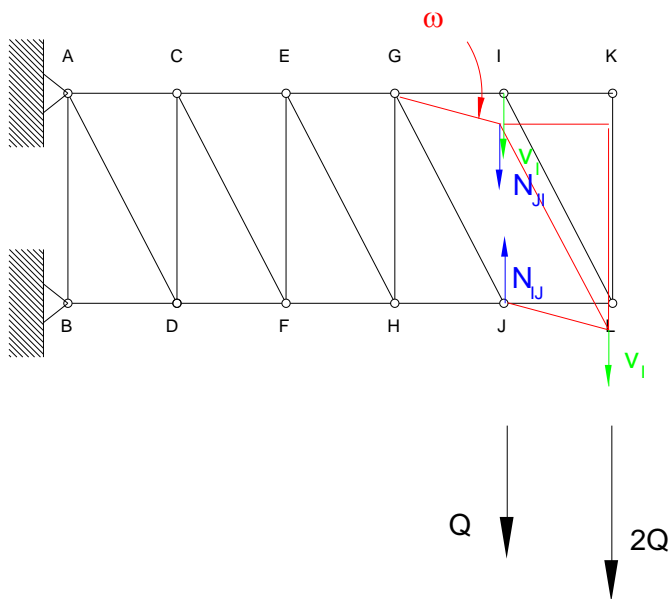
En exprimant que la somme des travaux virtuels est nulle :

$$\vec{N}_{EG} \vec{\delta}_G + \vec{Q} \cdot \vec{\delta}_J + 2\vec{Q} \cdot \vec{\delta}_L = 0$$

$$-h \cos \alpha d\alpha + Q c \cos \alpha d\alpha + 2 Q 2 c \cos \alpha d\alpha = 0$$

$$\Rightarrow N_{EG} = \frac{5cQ}{h}$$

Si l'on veut appliquer le principe des puissances virtuelles, on procède de la même manière mais, au lieu de considérer des déplacements élémentaires, on tient compte d'un champ de vitesses virtuelles. Appliquons ce principe pour le calcul de l'effort normal dans la barre IJ



Envisageons une mise en rotation de la barre GI à la vitesse angulaire ω . La vitesse du point I vaudra $(0, -c \omega)$. La barre IL sera animée s'un mouvement de translation circulaire d'où :

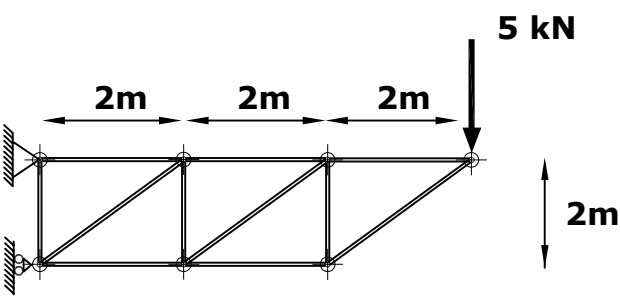
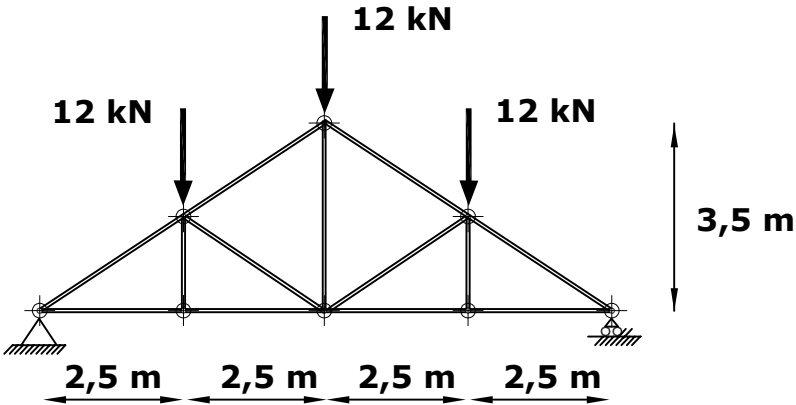
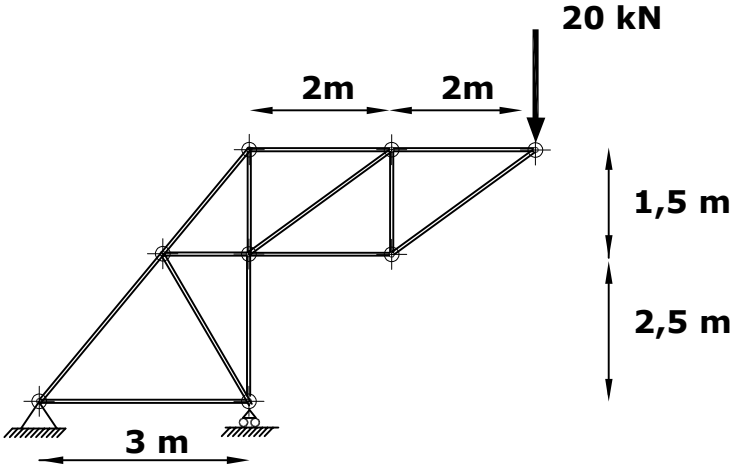
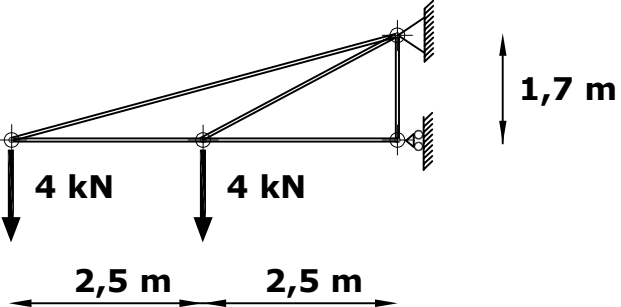
$$\vec{v}_I = \vec{v}_L \quad \text{et} \quad \vec{v}_J = 0$$

La somme des puissances virtuelles est nulle :

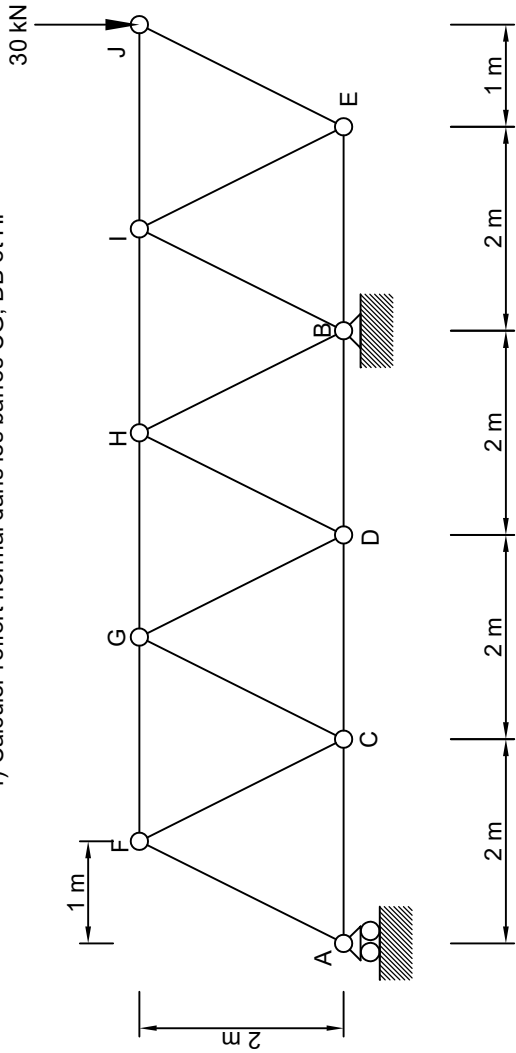
$$\vec{N}_{JI} \cdot \vec{v}_I + \vec{N}_{IJ} \cdot \vec{v}_J + \vec{Q} \cdot \vec{v}_J + 2\vec{Q} \cdot \vec{v}_L = 0$$

Et finalement : $N_{JI} = -2 Q$

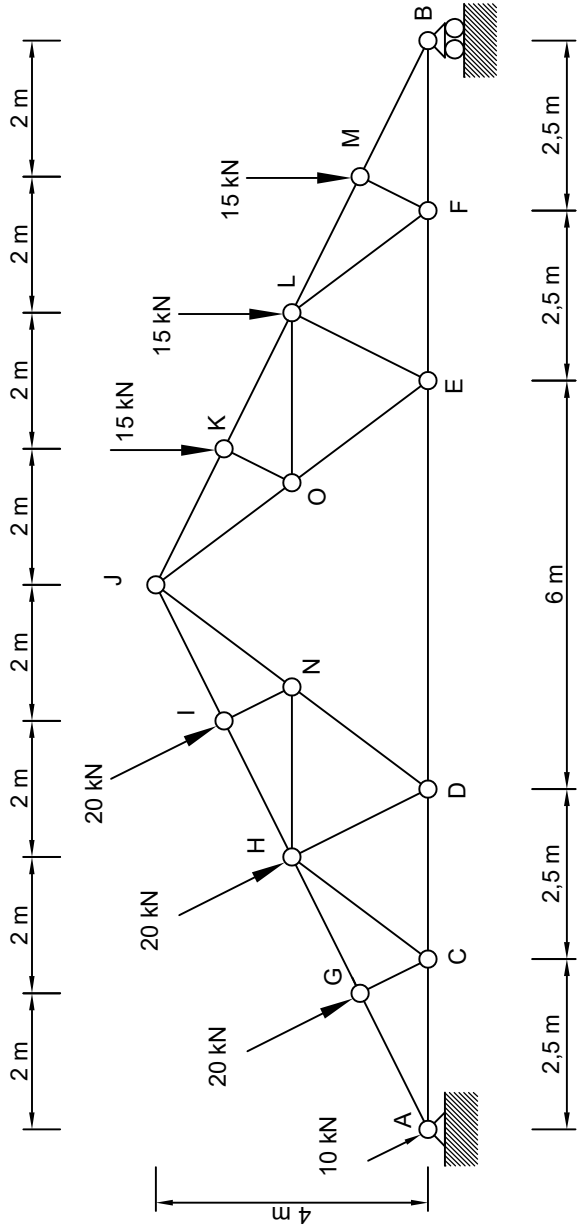
10°) EXERCICES

- 1) 
- 2) 
- 3) 
- 4) 

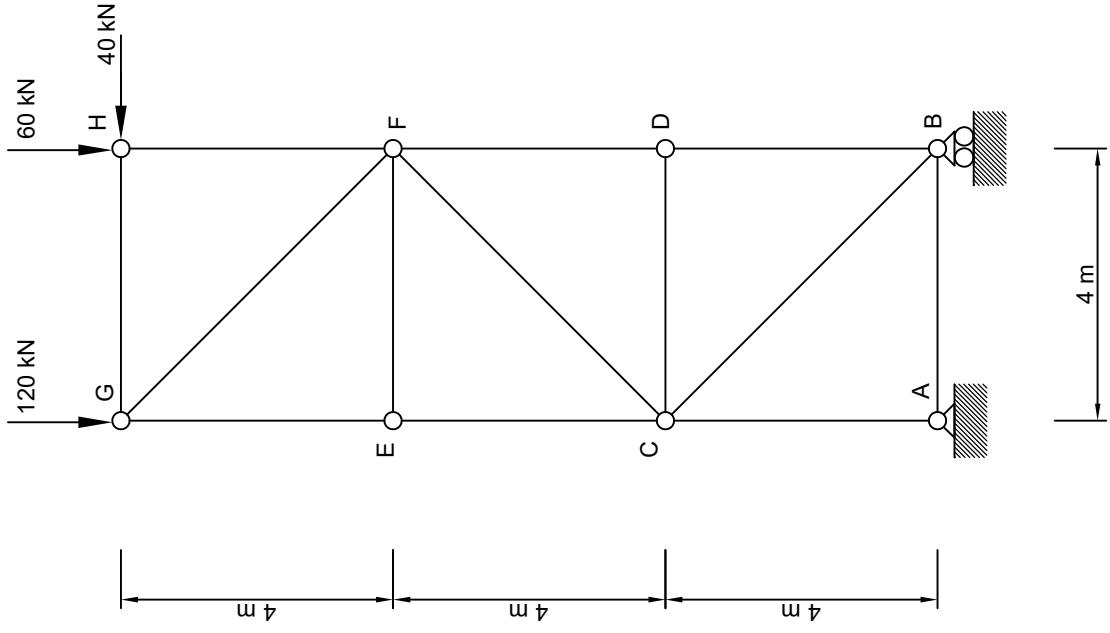
4) Calculer l'effort normal dans les barres CG, DB et HI



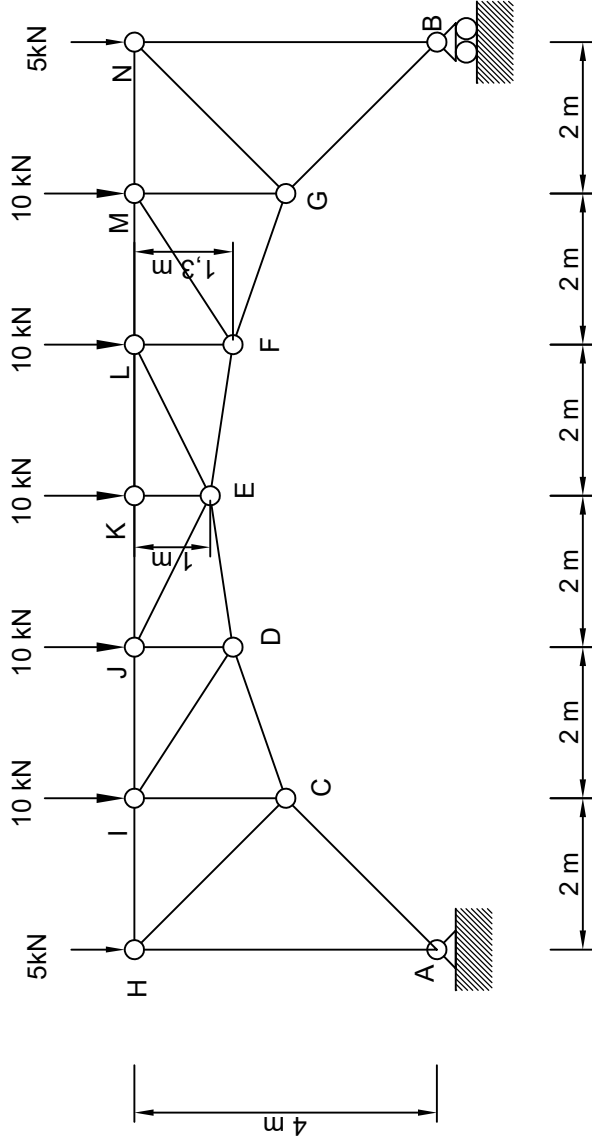
6) Calculer l'effort normal dans les barres IN, KO, KL, OL, EL



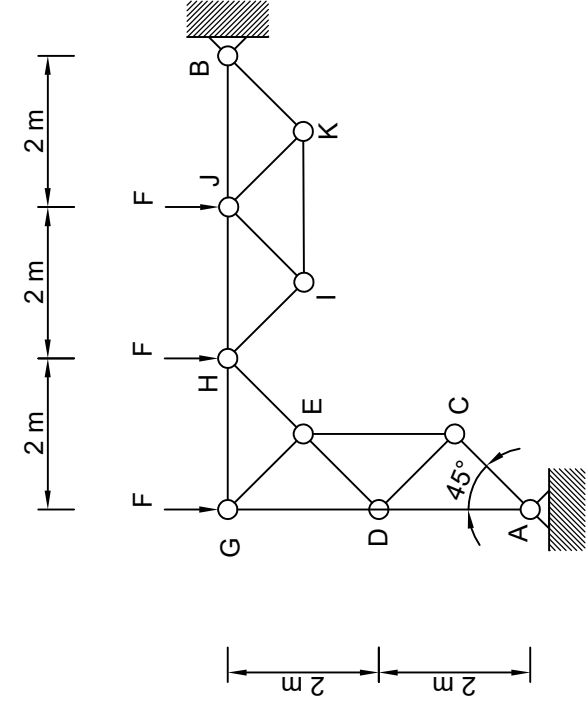
5) Calculer l'effort normal dans les barres CE, CF et CD



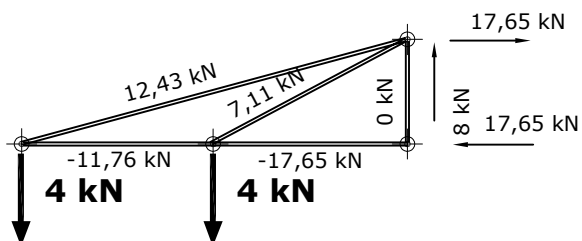
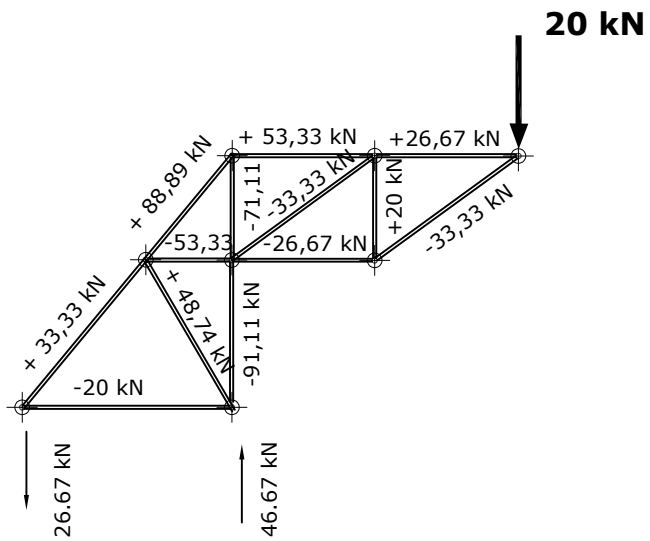
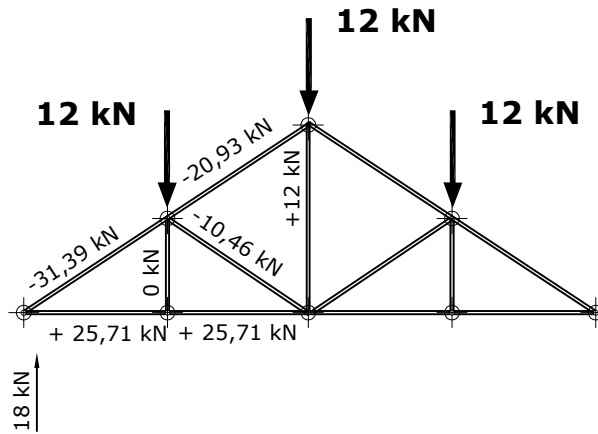
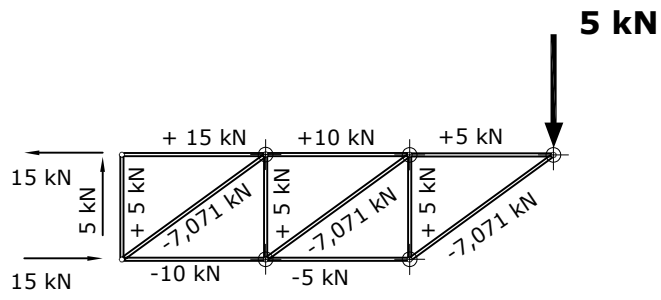
8) Calculer l'effort normal dans les barres AC, CH, HI, CI, CD, ID et IJ



9) La structure suivante est-elle isostatique ? Calculer ses réactions d'appui, puis l'effort normal dans les varres DG, DE, GE et GH en fonction de la grandeur de F.



Solutions



<u>Barres</u>	<u>Efforts normaux</u>
Exercice	5
CG	16,77 kN
DB	-37,5 kN
HI	45 kN
Exercice	6
CE	-160 kN
CF	-56,57 kN
DF	20 kN
Exercice	7
IN	-20 kN
KO	-13,42 kN
KL	-112,05 kN
OL	15 kN
EL	-26,83 kN
Exercice	8
AC	0 kN
CH	35,36 kN
HI	-25 kN
CI	-33,75 kN
CD	26,49 kN
ID	43,58 kN
IJ	-61,84 kN
Exercice	9
R_{Ax}	0,75 F
R_{Ay}	2,5 F
R_{Bx}	-0,75 F
R_{By}	0,5 F
DG	-0,25 F
DE	-1,06 F
GE	-1,06 F
GH	0,75 F

CHAPITRE 3 : PROPRIETES DES SECTIONS DES POUTRES

1°) introduction

Considérons 3 barres constituées du même matériau, de même longueur L et de même masse m mais dont la forme de la section droite diffère : une barre ronde, une cornière et un tube circulaire (figure 1) :

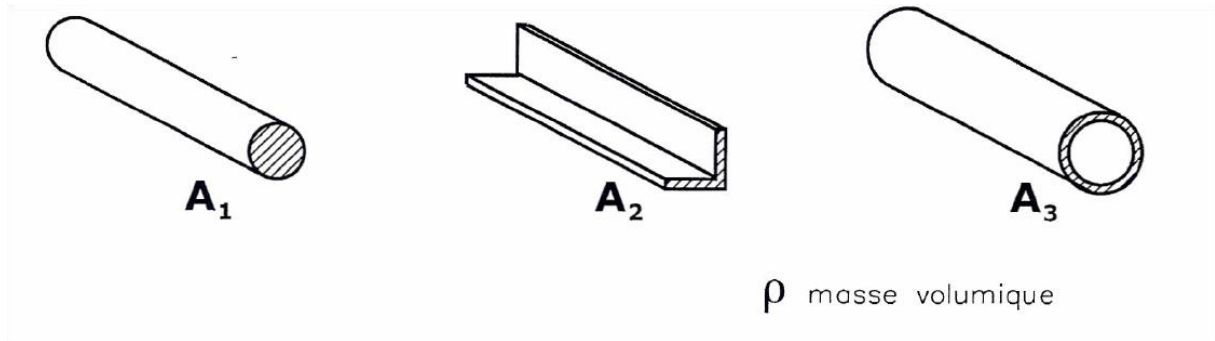


fig.1

Comme $m = \rho L A$, on en déduit que l'aire de la section est identique pour les 3 barres : $A_1 = A_2 = A_3$.

Seule diffère la forme de la section droite qui influencera le comportement de chaque barre vis-à-vis de sollicitations telles que flexion, torsion,....

Toute section droite de poutre sera caractérisée par des propriétés liées à sa géométrie : **aire, centre de gravité, moments statiques, moments d'inertie, rayons de giration.**

Remarques :

1°) Toutes notions sont analogues à celles définies dans le cours de mécanique (cinétique) où le concept de masse de la mécanique est remplacé ici par celui de surface.

	Mécanique		Propriétés des sections	
Moment statique	[ML]	ex : kg.m	[L ³]	ex : cm ³
Moment d'inertie	[ML ²]	ex : kg.cm ²	[L ⁴]	ex : cm ⁴

2°) Dans le cadre des cours de Sciences des Matériaux, la convention utilisée pour le choix du repère sera la suivante :

- Repère x, y, z direct
- x est l'axe de la poutre
- y est dirigé suivant une droite horizontale (sens positif vers la gauche)
- z est dirigé verticalement (sens positif vers le bas)

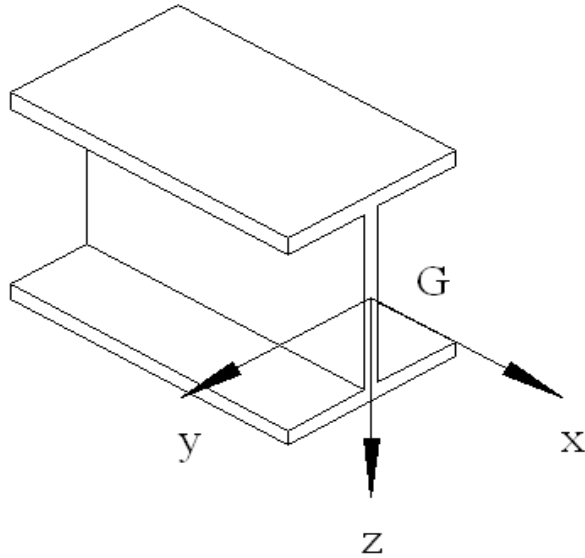


fig. 2

(Rappel : repère direct ou dextrorsum $\Leftrightarrow \vec{u}_z = \vec{u}_x \wedge \vec{u}_y$; $\vec{u}_y = \vec{u}_z \wedge \vec{u}_x$ et $\vec{u}_x = \vec{u}_y \wedge \vec{u}_z$)

Dans le cas de représentation de la section, nous prendrons y horizontal et orienté positivement vers la droite et z vertical orienté positivement vers le haut.

2°) aire, centre géométrique, moment statique

Soit une section quelconque de poutre (fig. 3) représentée dans un système quelconque d'axes cartésiens (y,z). Le moment d'ordre 0 (moment d'ordre zéro) de cette section est l'aire ou (superficie) A de cette section et par définition, l'intégrale :

$$A = \iint_A dA \quad (\text{unité } [L]^2)$$

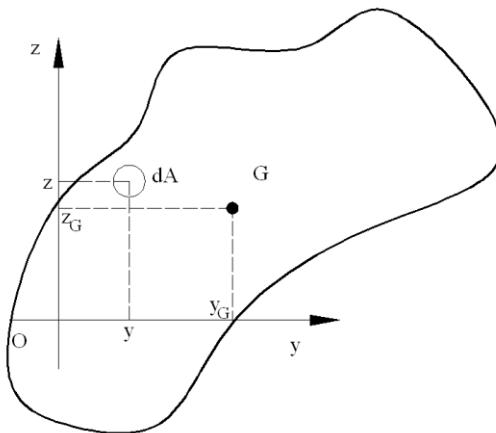
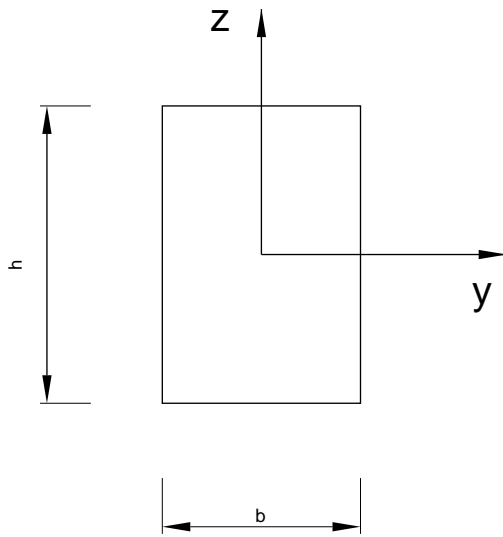
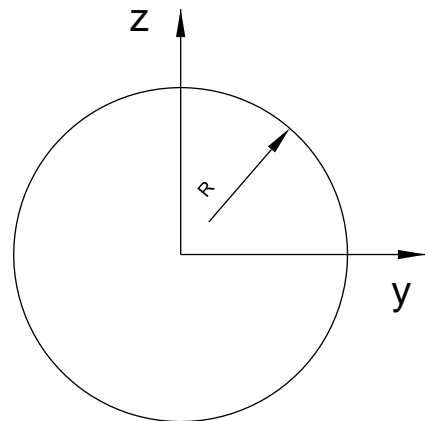


fig. 3

Exemple : cas d'une section rectangulaire et d'une section circulaire



$$A = \iint_A dA = bh$$



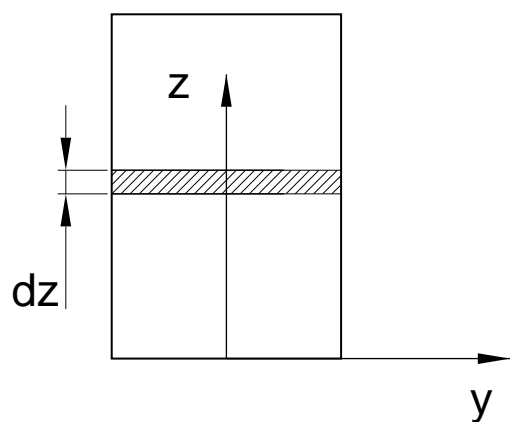
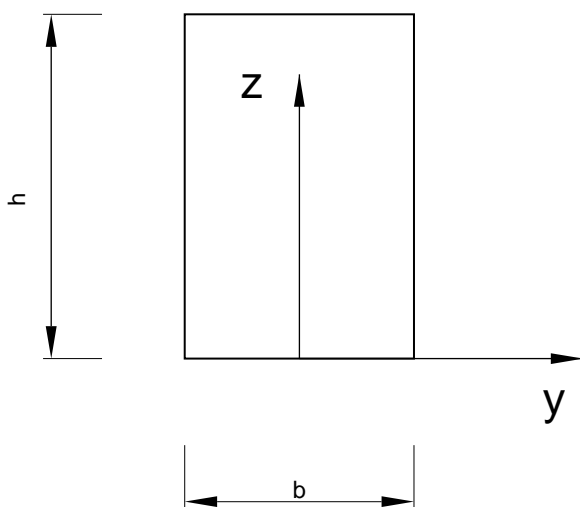
$$A = \iint_A dA = \pi R^2$$

On appelle **moments statiques** (ou moments d'ordre 1) par rapport à l'axe y et à l'axe z respectivement les intégrales :

$$\boxed{S_y = \iint_A z \cdot dA \quad S_z = \iint_A y \cdot dA} \quad (\text{unité [L]}^3)$$

qui peuvent être négatives, nulles ou positives (**remarquez bien qu'on donne l'indice y à l'intégrale contenant z et inversement !**)

Exemple : section rectangulaire

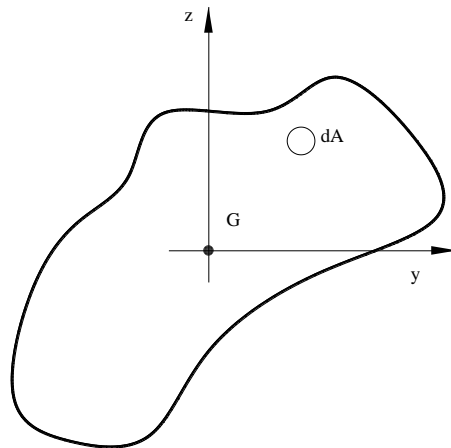


$$S_y = \iint_A z \, dA = \int_0^h \int_0^b z \, dy \, dz = b \int_0^h z \, dz = b \left[\frac{z^2}{2} \right]_0^h = \frac{bh^2}{2}$$

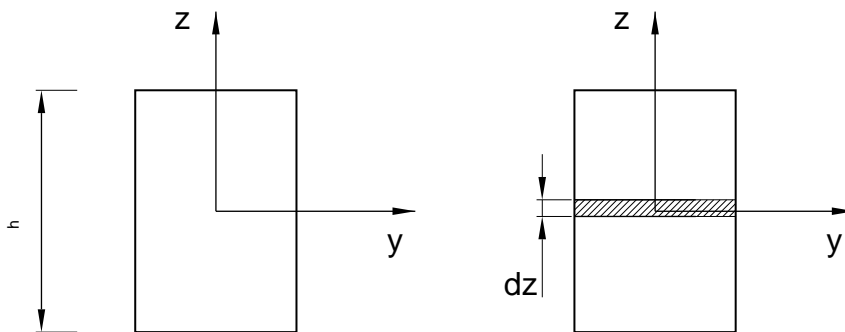
Le centre géométrique de la section (G) est un point de coordonnées (y_G, z_G) :

$$y_G = \frac{\iint_A y \cdot dA}{\iint_A dA} = \frac{S_z}{A}, \quad z_G = \frac{\iint_A z \cdot dA}{\iint_A dA} = \frac{S_y}{A}$$

En particulier si l'origine du repère coïncide avec le centre de gravité de la section, les moments statiques S_y et S_z sont nuls.



cas d'une section rectangulaire:



$$S_y = \iint_A z \, dA = \int_{-h/2}^{+h/2} z \, b \, dz = b \int_{-h/2}^{+h/2} z \, dz = b \left[\frac{z^2}{2} \right]_{-h/2}^{+h/2} = 0$$

Dans la plupart des cas, on évite l'évaluation des intégrales de surface intervenant dans les formules précédentes en tenant compte des propriétés de symétrie de la section et en décomposant une surface compliquée en surfaces plus simples.

3°) Moments d'inertie

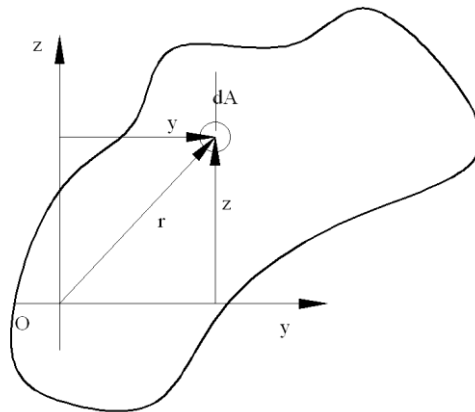


fig.4

On appelle **moments d'inertie** (ou moments d'ordre 2) par rapport à l'axe y ou z respectivement les intégrales (fig.4) (unités $[L]^4$) :

$$I_y = \iint_A z^2 dA, \quad I_z = \iint_A y^2 dA$$

Elles sont toujours positives. On appelle **produit d'inertie** ou **moment d'inertie centrifuge** par rapports aux axes (y,z) l'intégrale (unité $[L]^4$) :

$$I_{yz} = \iint_A y \cdot z \, dA$$

Ce moment peut être positif, négatif ou nul. Enfin, on appelle **moment d'inertie polaire** par rapport au point O, l'intégrale (unité $[L]^4$) :

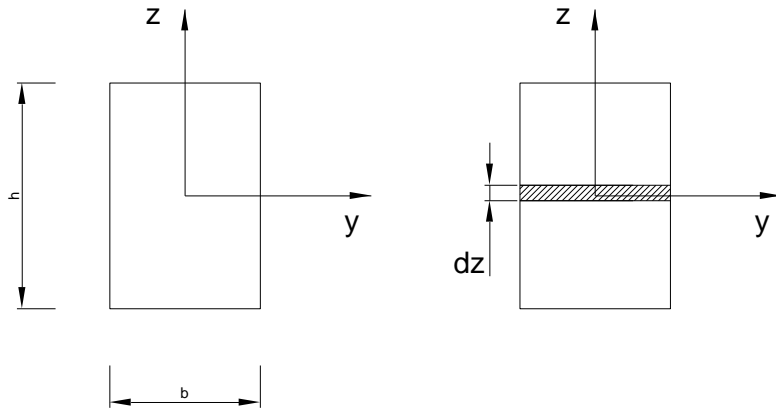
$$I_O = \iint_A r^2 dA$$

Elle est toujours positive; avec $r^2 = y^2 + z^2$, on voit que $I_O = I_y + I_z$ pour deux axes quelconques y et z perpendiculaires l'un à l'autre et passant par O.

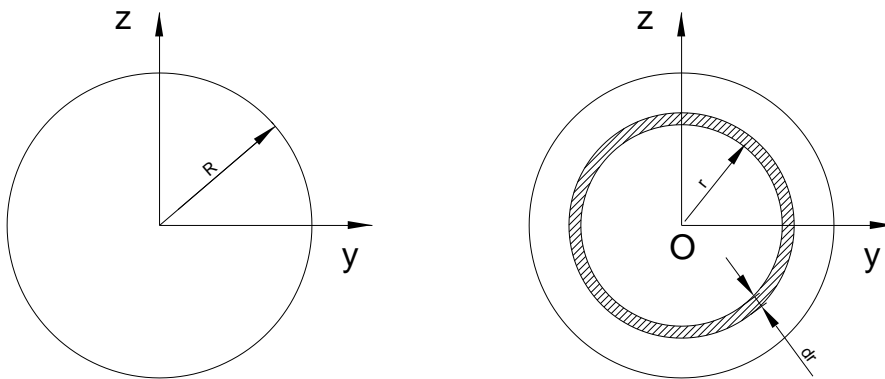
Cas de la section rectangulaire :

(voir figure page 64)

$$I_y = \iint_A z^2 dA = \int_{-h/2}^{+h/2} z^2 b dz = b \int_{-h/2}^{+h/2} z^2 dz = b \left[\frac{z^3}{3} \right]_{-h/2}^{+h/2} = \frac{b}{3} \left[\frac{h^3}{8} + \frac{h^3}{8} \right] = \frac{bh^3}{12}$$



Cas de la section circulaire :



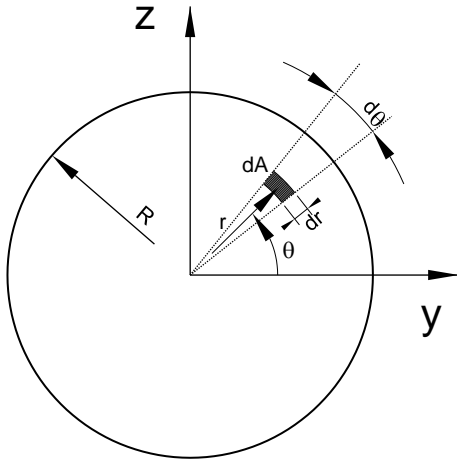
Inertie polaire par rapport au point O (origine) :

$$I_O = \iint_A r^2 dA = \int_0^R r^2 2\pi r dr = 2\pi \int_0^R r^3 dr = 2\pi \left[\frac{r^4}{4} \right]_0^R = \frac{\pi R^4}{2}$$

Vu la symétrie radiale, on peut en déduire que $I_y = I_z$ et comme $I_O = I_y + I_z$, on en déduit que

$$I_y = I_z = \frac{\pi R^4}{4}$$

Calcul direct de I_y par intégration :



$$dA = r d\theta dr$$

$$I_y = \iint_A z^2 dA = \iint_A r^2 \sin^2 \theta r d\theta dr$$

$$\Rightarrow I_y = \int_0^R r^3 dr \int_0^{2\pi} \sin^2 \theta d\theta = \frac{R^4}{4} \int_0^{2\pi} \frac{1 - \cos 2\theta}{2} d\theta$$

$$I_y = \frac{R^4}{4} \int_0^{2\pi} \frac{1}{2} d\theta - \frac{R^4}{4} \int_0^{2\pi} \frac{\cos 2\theta}{2} d\theta$$

$$I_y = \frac{\pi R^4}{4} - \frac{R^4}{4} \int_0^{4\pi} \cos \alpha d\alpha \text{ en posant } \alpha = 2\theta$$

$$= 0$$

4° Théorème du transport (Huygens, Steiner)

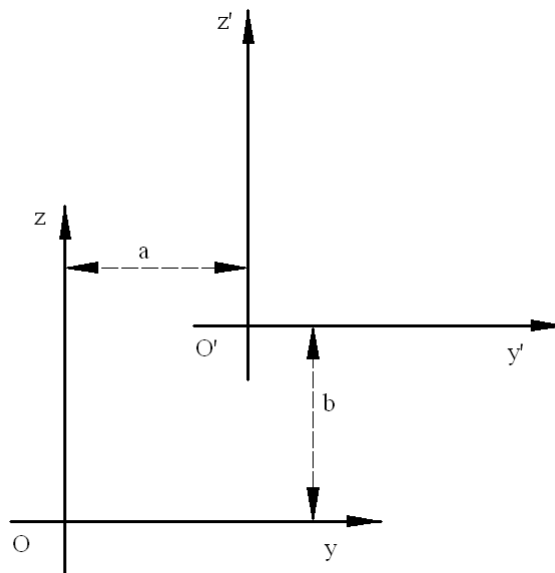


fig.5

Etudions comment varient un moment d'inertie par rapport à un axe, I_y , par exemple, et le moment centrifuge I_{yz} , lorsqu'on opère une translation des axes, définie à la figure 5, si y' et z' désignent les coordonnées d'un point dans le nouveau repère, on a la relation :

$$y' = y - a \text{ et } z' = z - b :$$

$$I_{y'} = \iint_A z'^2 dA = \iint_A (z-b)^2 dA = \iint_A z^2 dA - 2 \iint_A z \cdot b dA + \iint_A b^2 dA = I_y - 2 b S_y + b^2 A$$

$$I_{y'z'} = \iint_A y' \cdot z' \cdot dA = \iint_A (y-a) \cdot (z-b) \cdot dA = I_{yz} - a S_y - b S_z + a b A$$

En général, les moments d'inertie sont calculés par rapport à des axes passant par le centre géométrique (cas pratiques). Dans un tel cas, si l'origine des (y,z) est en G, et si l'on introduit l'indice G pour bien souligner la chose, on a $S_y = S_z = 0$ et les formules précédentes se réduisent à :

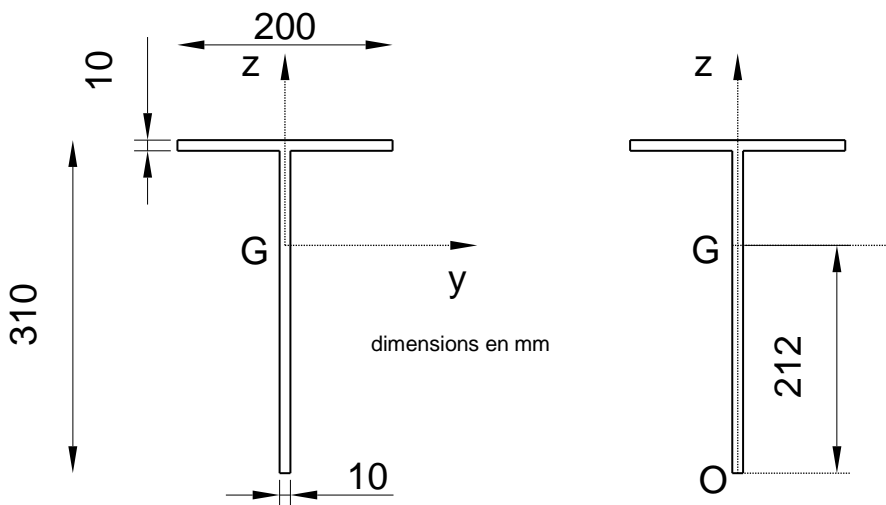
$$I_y = I_{yG} + b^2 A$$

$$I_z = I_{zG} + a^2 A$$

$$I_{y'z'} = I_{yGzG} + a b A$$

Ces relations expriment le théorème du transport, **le terme complémentaire (dit de "transport") représente ce qu'il faut ajouter aux moments basés sur G lorsqu'on transporte les axes en (y',z')**. Ce terme est toujours positif pour le moment d'inertie par rapport à un axe, ce qui montre que ce dernier est minimum pour l'axe passant par le centre de gravité. Le transport peut être positif, nul ou négatif pour le moment centrifuge.

Application 1 : Déterminer les moments d'inertie par rapport aux axes y et z centrés sur le centre de gravité de la section en TE.

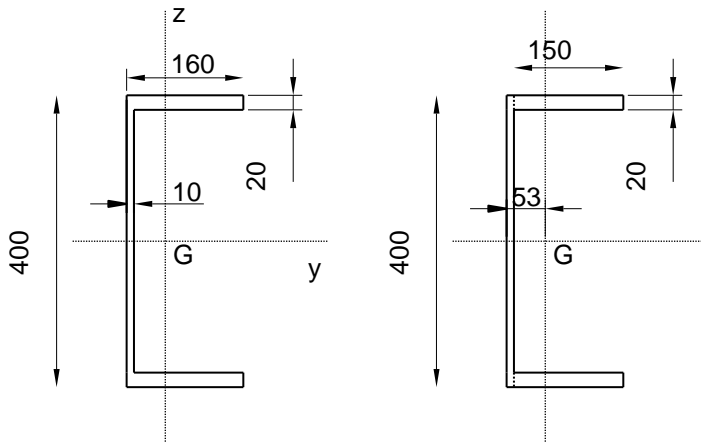


A) Calcul de la position de G : $z_G = \frac{(300 * 10) * 150 + (200 * 10) * 305}{(300 * 10) + (200 * 10)} = 212 \text{ mm}$

B) $I_y = \frac{10 * 300^3}{12} + (10 * 300) * (212 - 150)^2 + \frac{10^3 * 200}{12} + (200 * 10) * (305 - 212)^2 = 51\,346\,667 \text{ mm}^4$
 $= 5\,134,7 \text{ cm}^4$

C) $I_z = \frac{300 * 10^3}{12} + \frac{10 * 200^3}{12} = 6\,691\,667 \text{ mm}^4 = 669,2 \text{ cm}^4$

Application 2 : Déterminer les moments d'inertie par rapport aux axes y et z centrés sur le centre de gravité de la section en U.

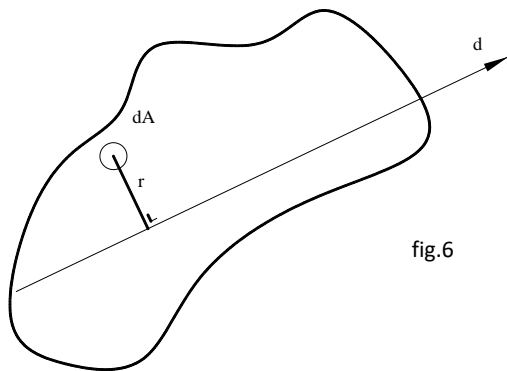


A) Position du centre de gravité : $y_G = \frac{(400 * 10) * 5 + 2 * (150 * 20) * 85}{(400 * 10) + 2 * (150 * 20)} = 53 \text{ mm}$

B) $I_y = \frac{10 * 400^3}{12} + 2 * \left(\frac{150 * 20^3}{12} + 150 * 20 * 190^2 \right) = 270\,133\,333 \text{ mm}^4 = 27\,013,3 \text{ cm}^4$

C) $I_z = \frac{400 * 10^3}{12} + 400 * 10 * (53 - 5)^2 + 2 * \left(\frac{20 * 150^3}{12} + 20 * 150 * (85 - 53)^2 \right) = 26\,643\,333 \text{ mm}^4 = 2\,664,3 \text{ cm}^4$

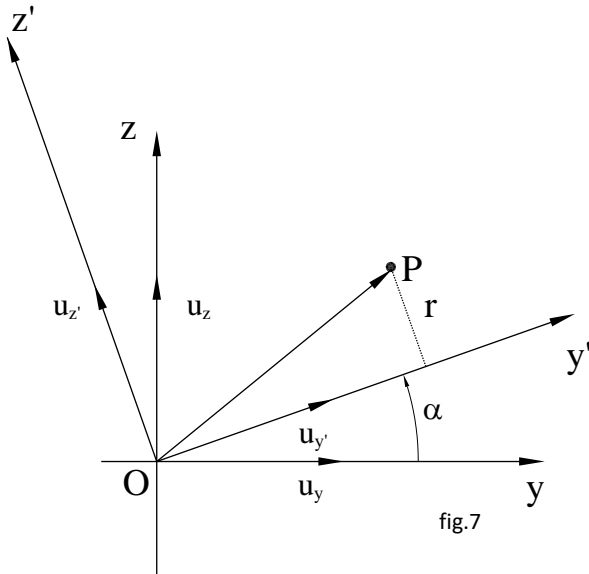
5°) Rotation des axes



Le moment d'inertie par rapport à un axe d d'orientation quelconque, peut être définie par la relation suivante où r représente la distance de l'élément dA de l'axe d :

$$I_d \cong \sum r^2 dA ; I_d = \iint_A r^2 dA$$

Envisageons une rotation du repère de référence ($y \rightarrow y'$ et $z \rightarrow z'$) et calculons $I_{y'}$



La distance d'un point P (de coordonnées y, z) à un axe y' , orienté par le vecteur unitaire $\vec{u}_{y'}$, peut être définie comme la norme du produit vectoriel suivant :

$$r = |\vec{OP} \wedge \vec{u}_{y'}|$$

$$\text{Or } \vec{OP} \wedge \vec{u}_{y'} = \begin{vmatrix} \vec{u}_x & \vec{u}_y & \vec{u}_z \\ 0 & y & z \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \end{vmatrix} =$$

$$(y \sin \alpha - z \cos \alpha, 0, 0)$$

$$I_{y'} = \iint_A r^2 dA = \iint_A (y \sin \alpha - z \cos \alpha)^2 dA$$

De même, on peut établir que :

$$I_z' = \iint_A y'^2 dA = \iint_A (y \cos \alpha + z \sin \alpha)^2 dA$$

$$I_{y'z'} = \iint_A y' z' dA = \iint_A (y \cos \alpha + z \sin \alpha)(-y \sin \alpha + z \cos \alpha) dA$$

en tenant compte des relations trigonométriques suivantes :

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cos \alpha; \cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha;$$

$$\sin^2 \alpha = 0.5 (1 - \cos 2\alpha); \cos^2 \alpha = 0.5 (1 + \cos 2\alpha);$$

on obtient :

$$\begin{aligned} I_{y'} &= \frac{I_y + I_z}{2} + \cos 2\alpha \frac{I_y - I_z}{2} - \sin 2\alpha I_{yz} \\ I_z' &= \frac{I_y + I_z}{2} + \cos 2\alpha \frac{I_z - I_y}{2} + \sin 2\alpha I_{yz} \\ I_{y'z'} &= \frac{1}{2} (I_y - I_z) \sin(2\alpha) + I_{yz} \cos(2\alpha) \end{aligned} \quad (1)$$

6°) Axes principaux, directions principales et moment d'inertie principaux.

Considérons une rotation du repère de référence d'angle α et cherchons la valeur de

α pour laquelle $I_{y'}$ est extremum, on exprime que $\frac{dI_{y'}}{d\alpha} = 0$, on trouve alors que :

$$\boxed{\operatorname{tg} 2 \alpha = \frac{2 I_{yz}}{I_z - I_y}} \quad (2)$$

ce qui revient aussi à exprimer que $I_{y'z'} = 0$.

En pratique, la fonction arctangente de la calculatrice donne toujours la solution comprise dans l'intervalle $[-\pi/2, +\pi/2]$ (β_1). Il ne faut pas oublier l'autre solution (β_2) obtenue en ajoutant π radians. Si l'on pose $\beta = 2 \alpha$, deux angles α_1 et α_2 satisfont l'équation (2) et sont distants de $\pi/2$ (figure 8)

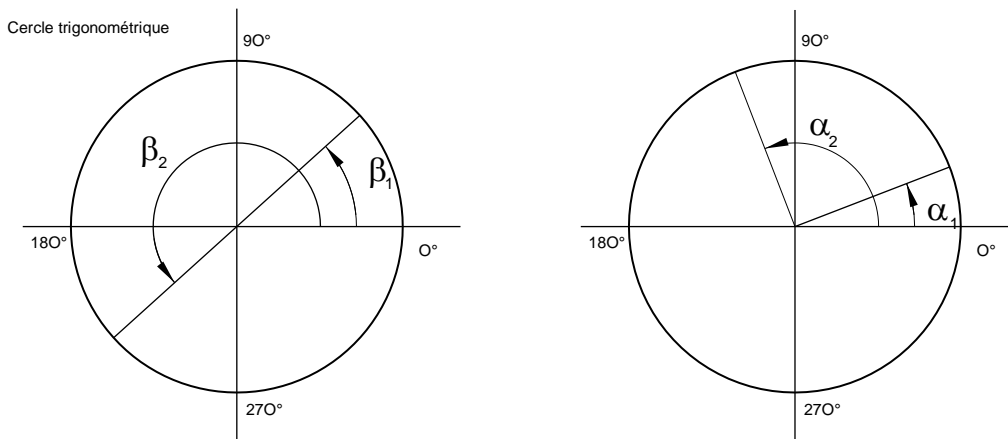


fig.8

Les angles α_1 et α_2 définissent les **directions principales d'inertie**.

Comme $I_{y'}$ est toujours positif, on en déduit qu'il existe **deux axes perpendiculaires, appelés axes principaux d'inertie**, par rapport auxquels le moment d'inertie est une fois maximum et l'autre fois minimum (moments principaux d'inertie); dans ces axes, le produit d'inertie est nul.

En exprimant $\sin 2\alpha$ et $\cos 2\alpha$ en fonction de $\operatorname{tg} 2\alpha$ dans les équations (1), on détermine les extrema de $I_{y'}$:

$$I_{\max} = \frac{I_y + I_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_y - I_z}{2}\right)^2 + I_{yz}^2}$$

$$I_{\min} = \frac{I_y + I_z}{2} - \sqrt{\left(\frac{I_y - I_z}{2}\right)^2 + I_{yz}^2}$$

Lorsque ces calculs sont exécutés pour des axes passant par le centre géométrique de la section, ce qui est usuellement le cas, on parle d'**axes et de moments principaux centraux**.

7°) Tenseur d'inertie

Le tenseur d'inertie est la matrice Φ_O définie comme suit :

$$\Phi_O = \begin{pmatrix} I_y & -I_{yz} \\ -I_{yz} & I_z \end{pmatrix}$$

Le moment d'inertie par rapport à un axe d, faisant un angle α avec l'axe y (figure 9) peut s'écrire comme suit :

$$I_d = \vec{u}_d \Phi_O \vec{u}_d = (\cos \alpha, \sin \alpha) \begin{bmatrix} I_y & -I_{yz} \\ -I_{yz} & I_z \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha \\ \sin \alpha \end{pmatrix}$$

La connaissance de I_y , I_z et I_{yz} par rapport à 2 axes orthogonaux se coupant en O permet de déterminer le tenseur d'inertie Φ_O et donc le moment d'inertie I_d de n'importe quelle axe passant par O

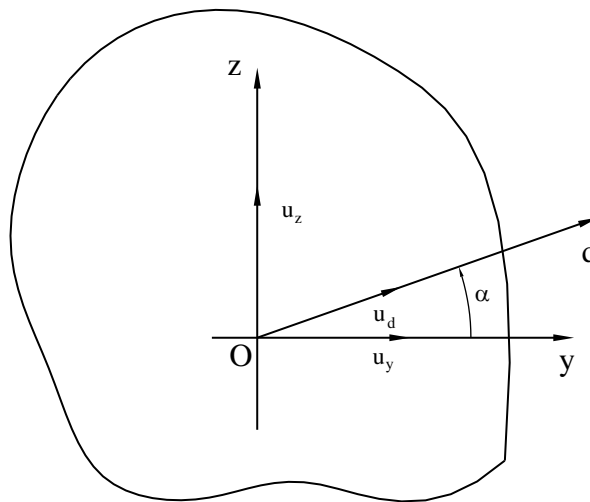


fig.9

Les valeurs propres de cette matrice ne sont autres que les moments d'inertie principaux de la section, les vecteurs propres définissent les directions principales d'inertie.

I_{\max} et I_{\min} sont racines de l'équation caractéristique des valeurs propres :

$$\det \begin{pmatrix} I_y - \lambda & -I_{yz} \\ -I_{yz} & I_z - \lambda \end{pmatrix} = 0$$

En développant et en résolvant cette équation (l'inconnue est λ), on trouve finalement

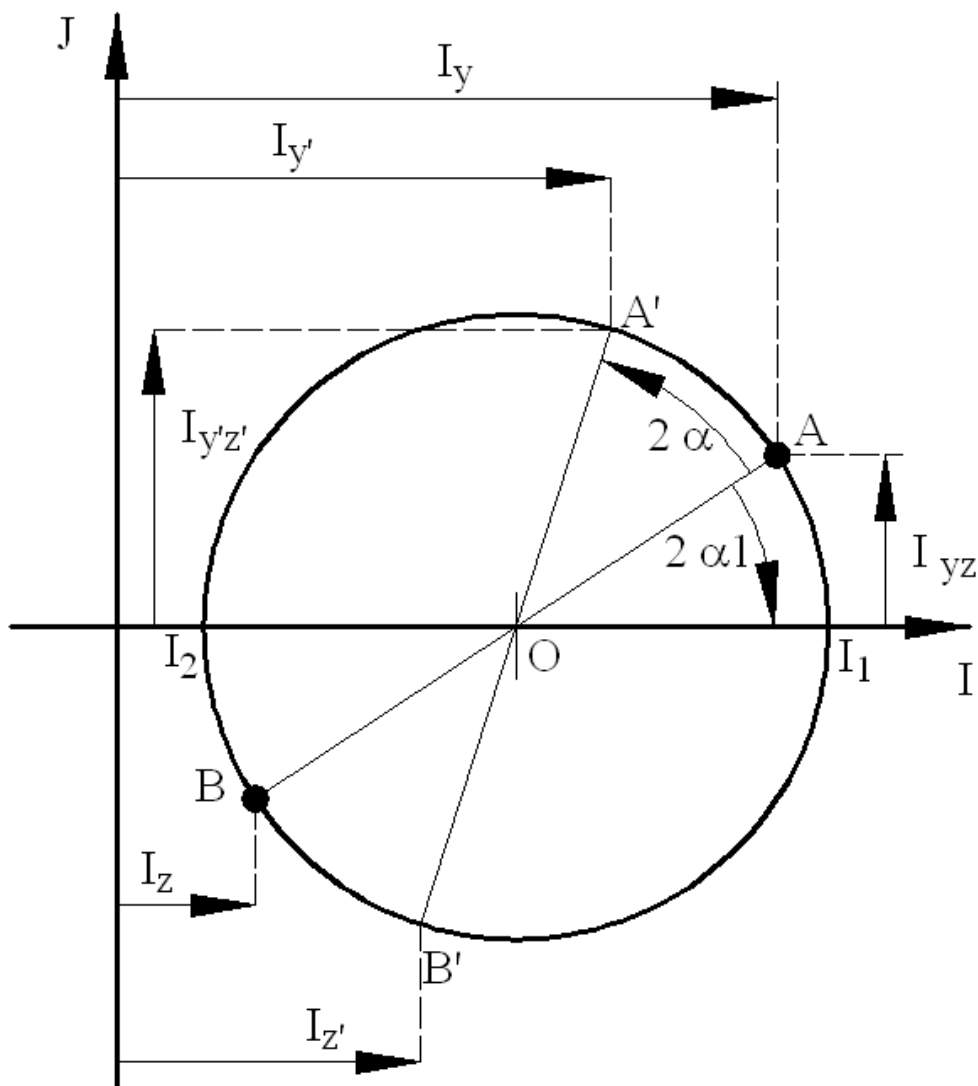
$$I_{\max} = \frac{I_y + I_z}{2} + \sqrt{\left(\frac{I_y - I_z}{2}\right)^2 + I_{yz}^2}$$

$$I_{\min} = \frac{I_y + I_z}{2} - \sqrt{\left(\frac{I_y - I_z}{2}\right)^2 + I_{yz}^2}$$

La détermination des directions principales s'obtient en recherchant les vecteurs propres correspondant.

8°) Cercle de Mohr

On peut représenter graphiquement les résultats précédents à l'aide d'un cercle (cercle de Mohr). Dans des axes I (moments d'inertie) - J (produits d'inertie), on porte le point A (I_y, I_{yz}) et le point B ($I_z, -I_{yz}$), et on trace le cercle de diamètre AB, centré en O de coordonnées $((I_y + I_z)/2, 0)$ sur l'axe I (fig.10). Il coupe l'axe I en deux points I_1 et I_2 qui donnent la valeur des moments principaux (puisque $J=0$); l'angle $AOI_1 = 2\alpha_1$ donne l'orientation de l'axe principal d'inertie maximale. Pour tout angle quelconque α , on reporte 2α à partir de OA et on définit deux points A' et B' qui donnent les valeurs $I_{y'}$, $I_{z'}$ et $I_{y'z'}$. On peut vérifier par la géométrie que cette construction graphique fournit bien les formules précédentes.



9°) Rayons de giration

i_y et i_z , les rayons de giration par rapport aux axes y et z sont définis par les relations suivantes :

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}, \quad i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}}$$

10°) Remarques

1°) Lorsque les calculs sont effectués pour un repère localisé au centre de gravité, ce qui est habituellement le cas, on parle d'**axes** et de **moments principaux centraux**.

2°) Tout comme en mécanique rationnelle, la recherche des axes principaux d'inertie est immédiate dans le cas où la section présente des propriétés de symétrie.

Exemple : dans le cas d'une cornière à ailes égales, la bissectrice G1 est axe de symétrie et donc axe principal d'inertie. Par conséquent, l'axe G2 perpendiculaire à G1 est le deuxième axe principal central d'inertie.

Pour distinguer sans calcul l'inertie la plus grande de la plus petite, il faut se rappeler que, plus la surface s'éloigne de l'axe, plus l'inertie augmente.

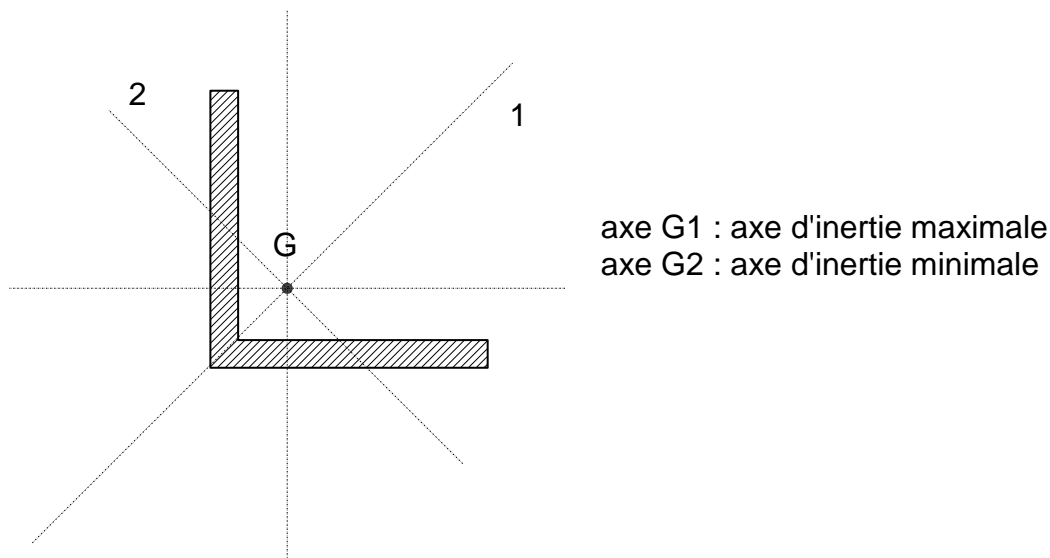
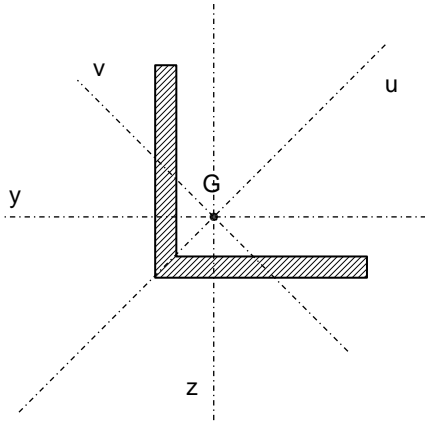
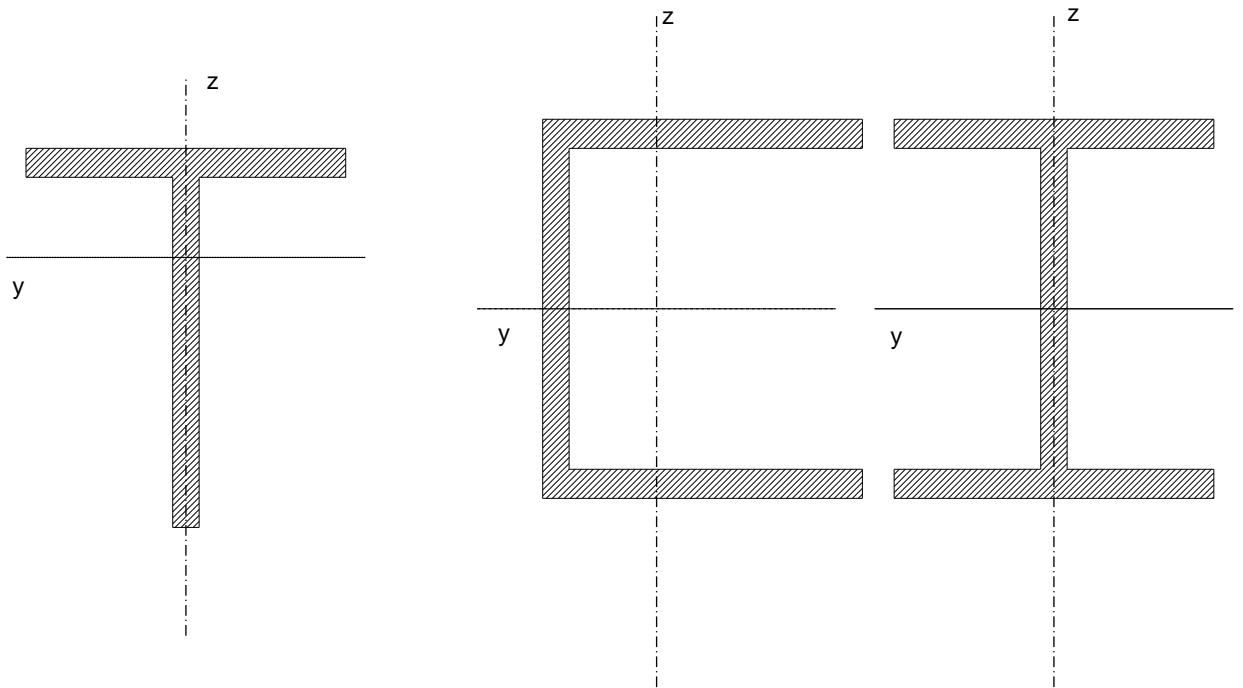


fig.11

Pour une section de type cornière, les normes européennes (EUROCODES) et les catalogues de profilés désignent par **u l'axe fort** (axe d'inertie maximale) et par **v l'axe faible** (axe d'inertie minimale).



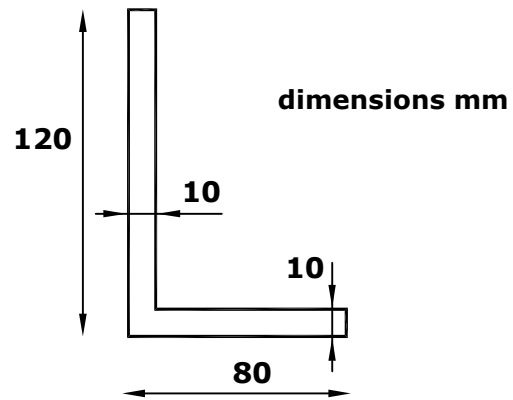
Pour les sections du type I, U et T, l'axe fort est y et l'axe faible est l'axe z.



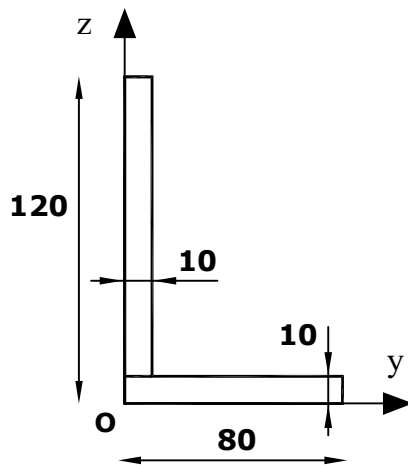
Application

Cornière à ailes inégales

Détermination des axes et moments principaux centraux d'inertie de la section ci-contre



→ Recherche du centre de gravité



$$Y_G = \frac{(80 \times 10)40 + (110 \times 10)5}{(80 \times 10) + (110 \times 10)} = \underline{19,7 \text{ mm}}$$

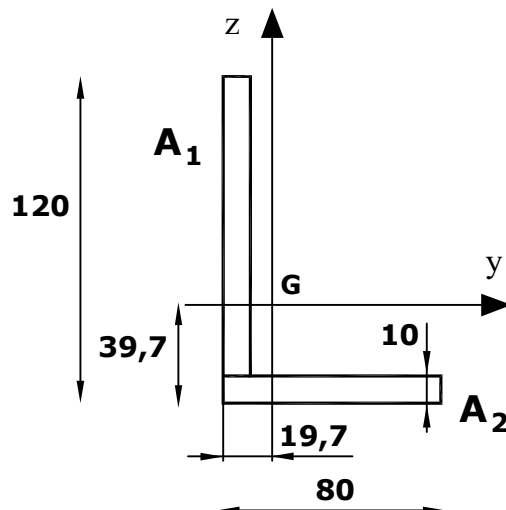
$$Z_G = \frac{(80 \times 10)5 + (110 \times 10)65}{(80 \times 10) + (110 \times 10)} = \underline{39,7 \text{ mm}}$$

$$A = (80 \times 10) + (110 \times 10) = \underline{1.900 \text{ mm}^2}$$

→ Recherche de I_y , I_z et I_{yz} (repère centré en G)

$$G_1 (20,3, -34,7) \text{ mm}$$

$$G_2 (-14,7, 25,3) \text{ mm}$$



$$I_y = \frac{80 \times 10^3}{12} + (80 \times 10)(-34,7)^2 + \frac{10 \times 110^3}{12} + (10 \times 110)(25,3)^2 = 2.783.204 \text{ mm}^4 = \underline{278,3 \text{ cm}^4}$$

$$I_z = \frac{10 \times 80^3}{12} + (10 \times 80)(20,3)^2 + \frac{110 \times 10^3}{12} + (110 \times 10)(-14,7)^2 = 1.003.204 \text{ mm}^4 = \underline{100,3 \text{ cm}^4}$$

$$I_{yz} = (80 \times 10)(20,3)(-34,7) + (110 \times 10)(-14,7)(25,3) = -972.629 \text{ mm}^4 = \underline{-97,3 \text{ cm}^4}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{2.783.204}{1.900}} = 38,3 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{1.003.204}{1.900}} = 23 \text{ mm}$$

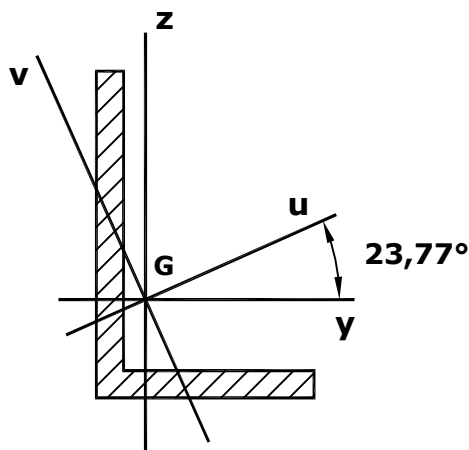
→ Recherche de I_{\max} et I_{\min}

$$\begin{aligned} \begin{matrix} I_{\max} \\ I_{\min} \end{matrix} &> = \frac{I_y + I_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_y - I_z}{2}\right)^2 + I_{yz}^2} \\ &= \frac{278,3 + 100,3}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{278,3 - 100,3}{2}\right)^2 + (-97,3)^2} = \begin{cases} 321,2 \text{ cm}^4 \\ 57,4 \text{ cm}^4 \end{cases} \end{aligned}$$

→ Recherche des axes principaux centraux d'inertie

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{I_{yz}}{\frac{1}{2}(I_z - I_y)} = \frac{-97,3}{\frac{1}{2}(100,3 - 278,3)} = 1,093$$

$$2\alpha = 47,54^\circ + \pi \quad \alpha = 23,77^\circ + \frac{\pi}{2}$$



axe u (axe fort) → I_{\max}

axe v (axe faible) → I_{\min}

→ **Alternative:** recherche graphique des moments et axes principaux centraux

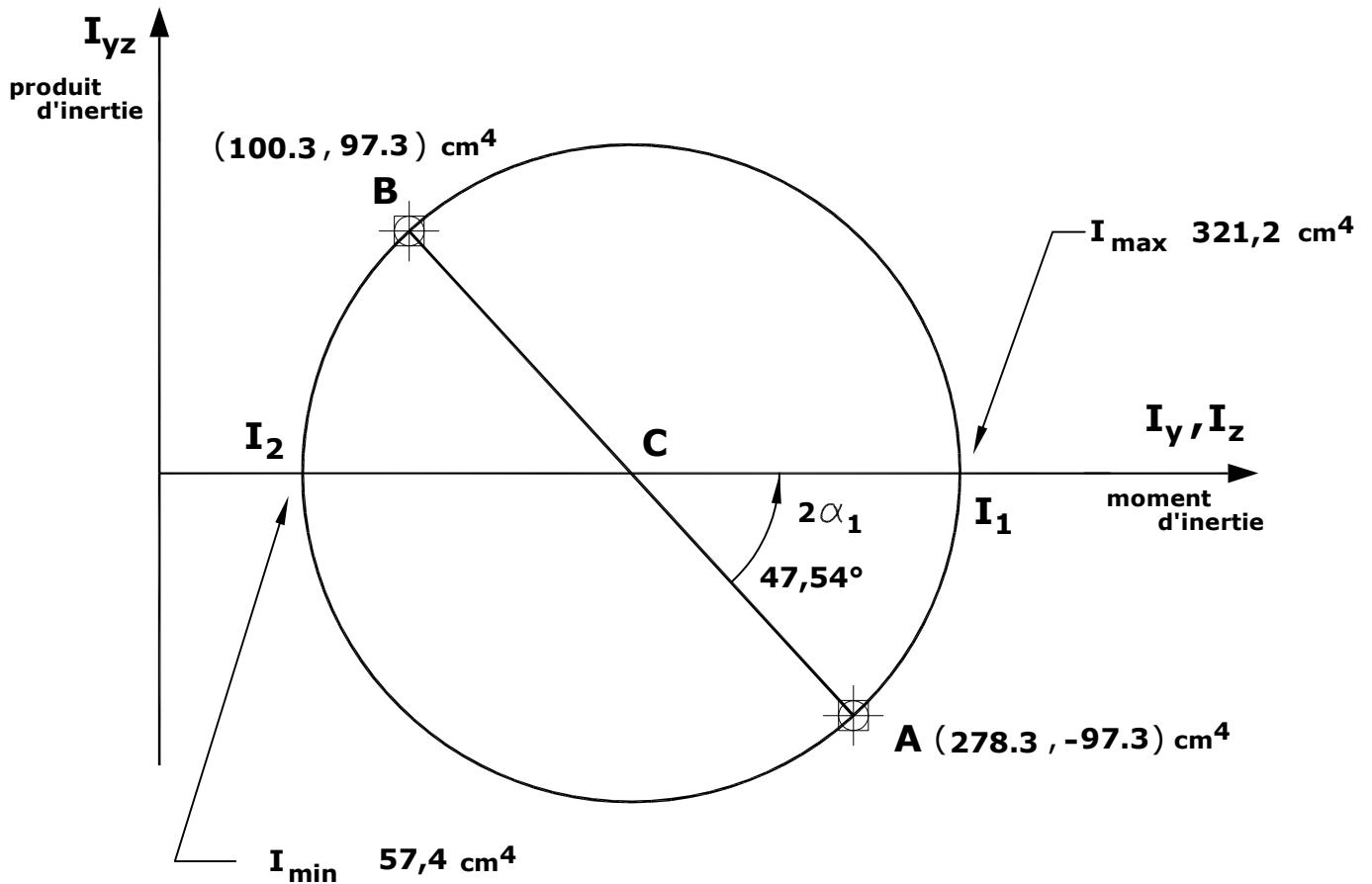
voir schéma page suivante

On porte le point $A(I_y, I_{yz})$ soit $(278,3, -97,3) \text{ cm}^4$
et le point $B(I_z, -I_{yz})$ soit $(100,3, 97,3) \text{ cm}^4$

Le cercle de diamètre AB coupe l'axe horizontal en 2 points I_1 et I_2 correspondant respectivement à $I_{\max} = 321,2 \text{ cm}^4$ et $I_{\min} = 57,4 \text{ cm}^4$.

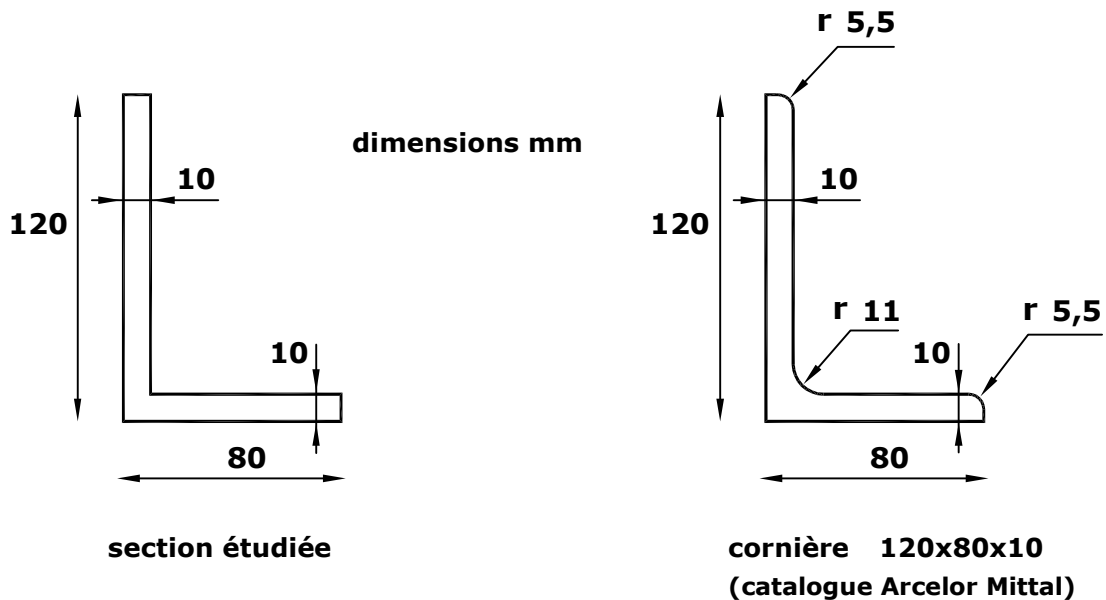
L'angle $ACI_1 = 2\alpha_1 = 47,54^\circ$

→ $\alpha_1 = 23,77^\circ$ donne l'inclinaison du repère (u, v)



Les valeurs trouvées dans cette application sont proches de celles d'une cornière à ailes inégales **120x80x10** (voir catalogue Arcelor Mittal).

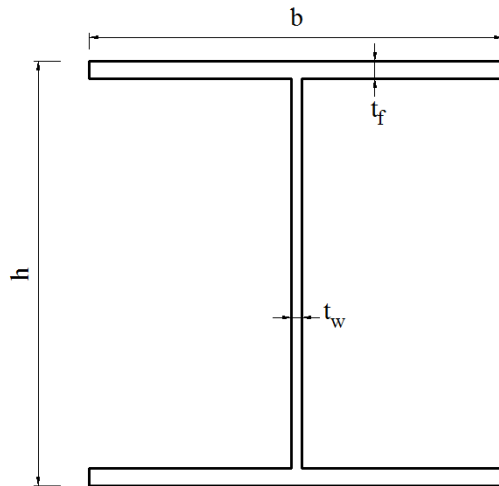
Les différences s'expliquent par l'absence des rayons de raccordement dans l'exemple traité.



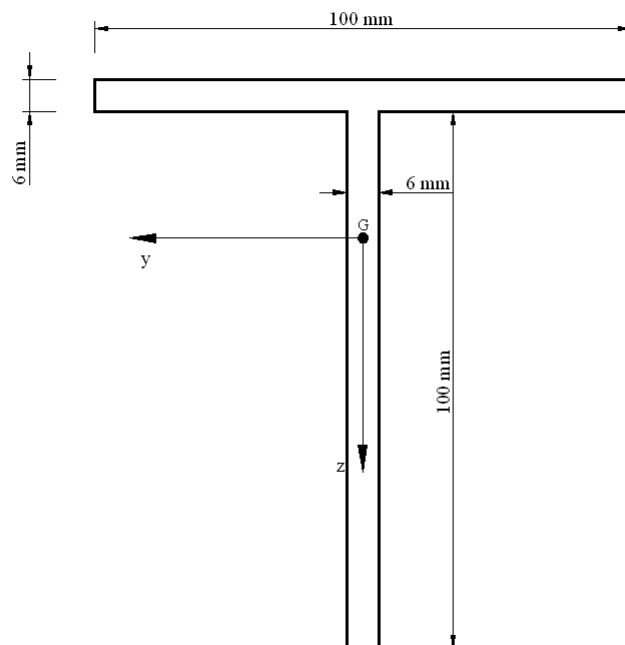
A	(cm ²)	19	19,1
(y_G, z_G)	(cm)	(1,97, 3,97)	(1,95, 3,92)
I_y	(cm ⁴)	278,3	275,5
I_z	(cm ⁴)	100,3	98,11
I_{max}	(cm ⁴)	321,2	317
I_{min}	(cm ⁴)	57,4	56,6
α	(°)	23,77	23,53

12°) Exercices

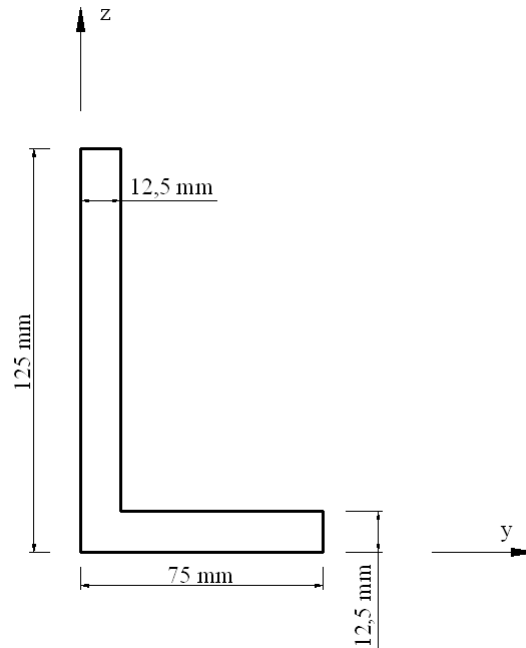
- 1) Calculer le moment d'inertie d'une poutre de section en double T par rapport à l'axe y passant par le centre de gravité de la section.



- 2) Calculer le moment d'inertie d'une poutre de section en T par rapport aux axes z et y passant par le centre de gravité de la section.



- 3) Calculer les moments d'inertie centraux I_{GY} et I_{GZ} ainsi que le produit d'inertie I_{GYZ} de la cornière suivante représentée. Calculer les moments d'inertie principaux centraux ainsi que les directions principales de la cornière.

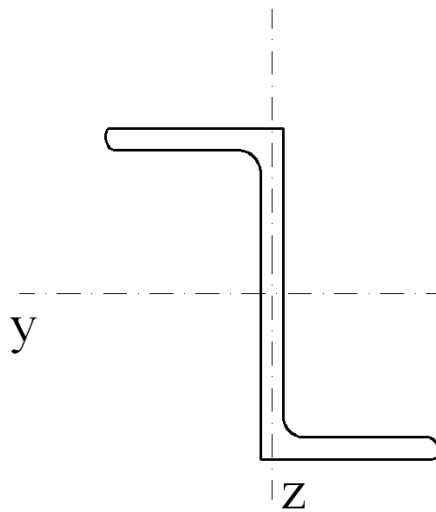


- 4) Soit le profilé métallique Z8, donné dans des tables de caractéristiques suivantes :

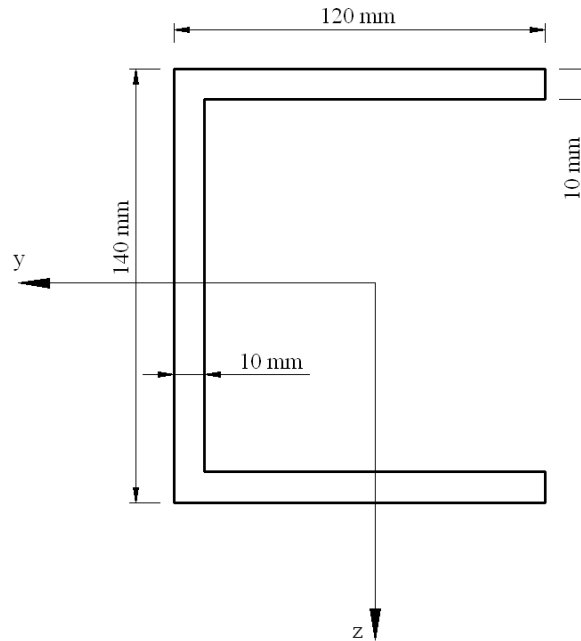
$$I_y = 109 \text{ cm}^4, I_z = 47,4 \text{ cm}^4$$

$$I_{yz} = -55,6 \text{ cm}^4$$

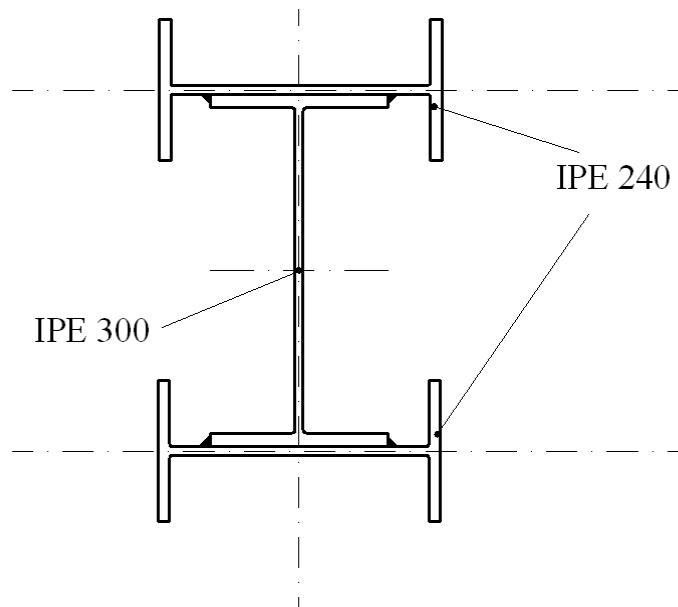
on demande de déterminer l'orientation des axes principaux centraux d'inertie ainsi que la valeur des moments principaux.



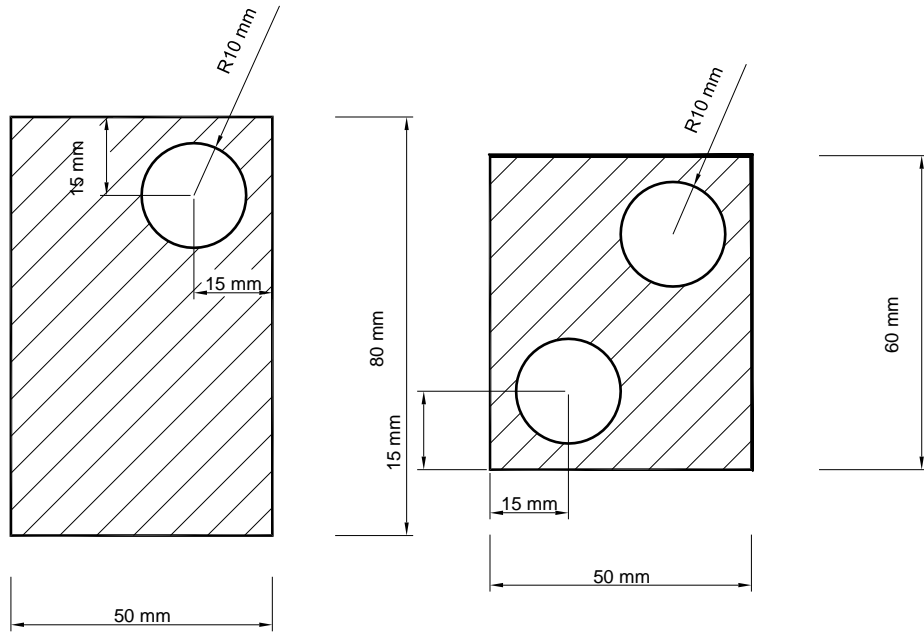
- 5) Soit une poutre de section en U. On demande de déterminer la position du centre de gravité de la section, de calculer I_{GY} , I_{GZ} et I_{GYZ} .



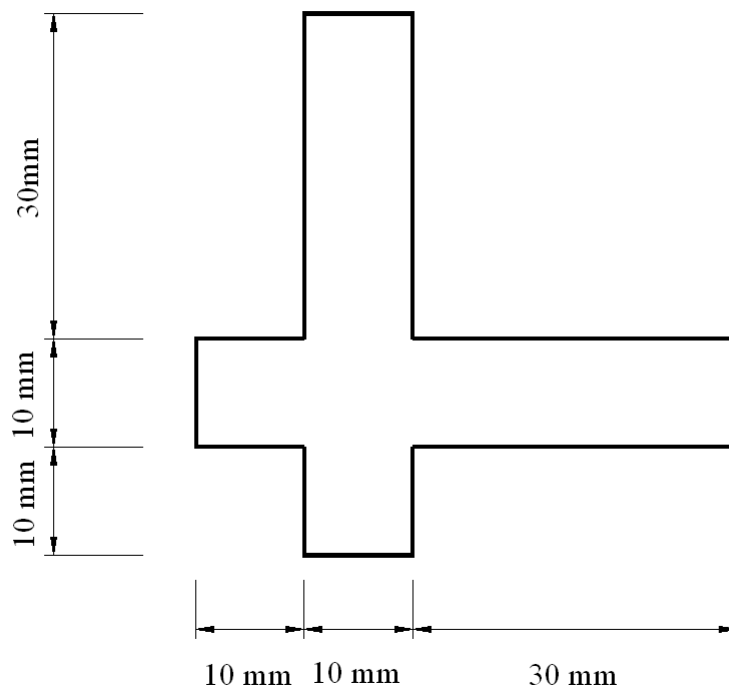
- 6) La section droite d'une colonne métallique est composée de trois IPE solidaires, soudées l'un à l'autre. Rechercher les axes centraux principaux d'inertie, puis calculer l'aire et les moments principaux d'inertie par rapport à ces axes.



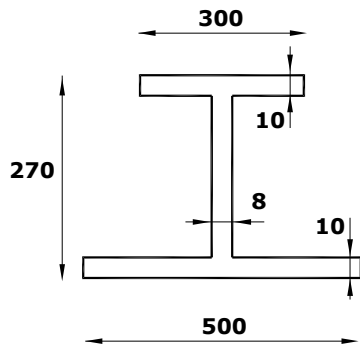
- 7) Déterminer les moments d'inertie principaux centraux ainsi que les directions principales des 2 sections suivantes :



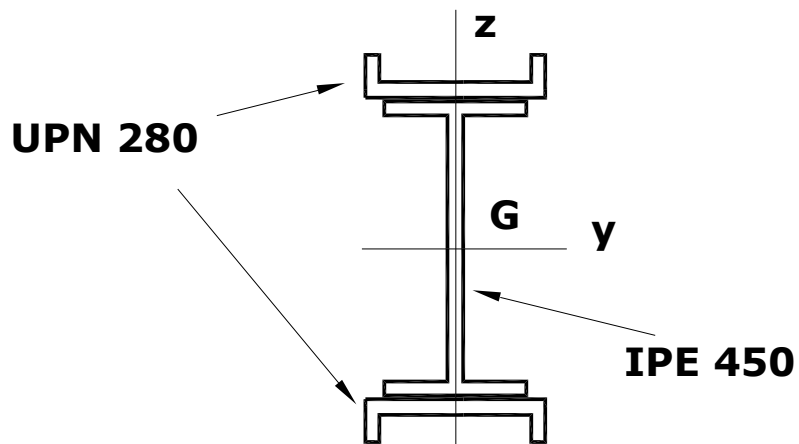
8) Déterminer les moments et directions principaux centraux de la section suivante :



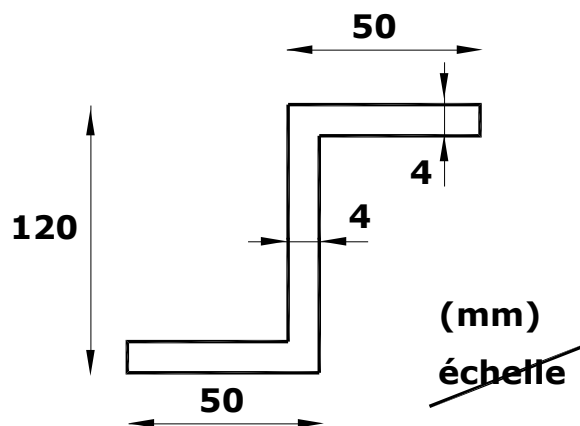
9) Pour la section suivante, déterminer la position du centre de gravité et les moments principaux centraux d'inertie.



10) Pour le PRS (Profile Reconstitué Soudé), déterminer l'aire de la section totale et les moments principaux d'inertie de la section totale



11) Pour la section suivante, déterminer I_y , I_z , I_{yz} , l'orientation des axes principaux d'inertie, I_{\max} et I_{\min} .



Solutions

2) $I_y : 134.45 \text{ cm}^4$, $I_z : 50.18 \text{ cm}^4$

- 3) $y_G : 18.75 \text{ mm}; z_G : 43.75 \text{ mm}$
 $I_{GY} : 3.6926 \cdot 10^6 \text{ mm}^4; I_{GZ} : 1.0071 \cdot 10^6 \text{ mm}^4;$
 $I_{GYZ} : -1.0986 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$
 $I_{\max} : 4.0848 \cdot 10^6 \text{ mm}^4; I_{\min} : 6.1495 \cdot 10^5 \text{ mm}^4; \alpha : 19,64^\circ$
- 4) $\alpha = 30.5^\circ, I_{\max} = 141.76 \text{ cm}^4, I_{\min} = 14.63 \text{ cm}^4$
- 5) $I_{GY} : 1.16 \cdot 10^7 \text{ mm}^4; I_{GZ} = 5.309 \cdot 10^6 \text{ mm}^4; I_{GYZ} = 0$
- 6) $I_1 : 27262 \text{ cm}^4, I_2 : 8388 \text{ cm}^4, \text{axe faible} = \text{axe vertical de symétrie}$
- 7) $I_1 : 191,8838 \text{ cm}^4, I_2 : 78,4942 \text{ cm}^4, \alpha : 4,323^\circ$
 $I_1 : 78,0822 \text{ cm}^4, I_2 : 50,8558 \text{ cm}^4, \alpha : 21,9074^\circ$
- 8) $I_{\min} = 101.944 \text{ mm}^4, I_{\max} = 157.500 \text{ mm}^4$
- 9) $z_G : 109 \text{ mm}; I_y : 13\,892 \text{ cm}^4, I_z : 12\,668 \text{ cm}^4$
- 10) $A : 205,4 \text{ cm}^2, I_y : 101\,323 \text{ cm}^4, I_z : 14\,236 \text{ cm}^4$
- 11) $I_y : 181,44 \text{ cm}^4, I_z : 29,55 \text{ cm}^4, I_{yz} : 53,36 \text{ cm}^4, \alpha : -17,55^\circ, I_{\max} : 198,31 \text{ cm}^4,$
 $I_{\min} : 12,68 \text{ cm}^4$

ANNEXES

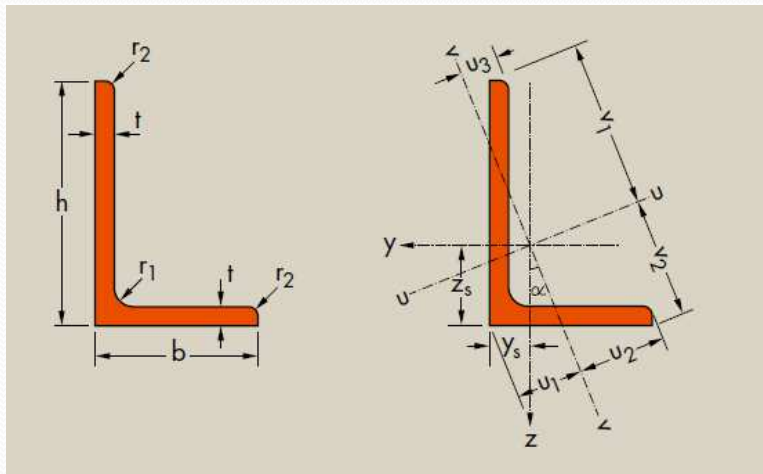
- 1°) Utilisation d'AUTOCAD pour calculer les caractéristiques d'une section droite
- 2°) Extrait du catalogue WILLY NAESSENS (poutres en béton précontraint et armé)
- 3°) Extrait du catalogue MITTAL
- 4°) Examen 2005 avec correction

11. AUTOCAD

Il est possible de calculer les caractéristiques d'une section droite après l'avoir dessiné dans AUTOCAD.

Exemple : cornière L120x80x10

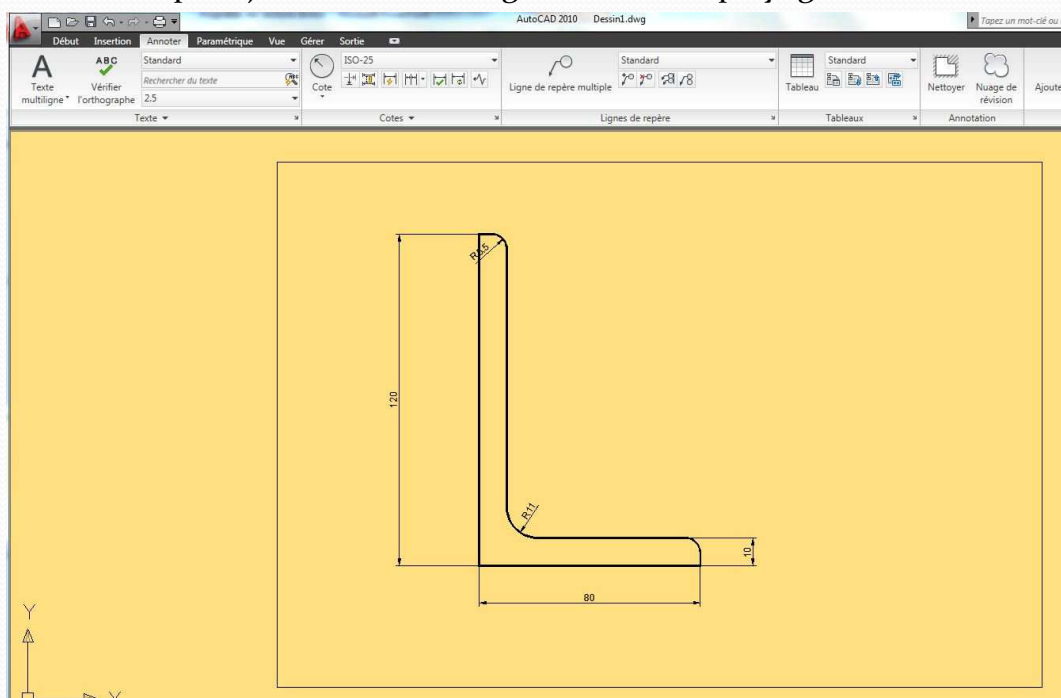
Dimensions	
h	120 mm
b	80 mm
t	10 mm
r ₁	11 mm
r ₂	5,5 mm



11. AUTOCAD

Etape 1 : dessiner une polyligne. Utiliser les commandes :

- RACCORD pour les arrondis
- PEDIT pour joindre tous les segments en une polyligne



11. AUTOCAD

Etape 2 : Définir une région. Taper `_region` et sélectionner la polyligne.

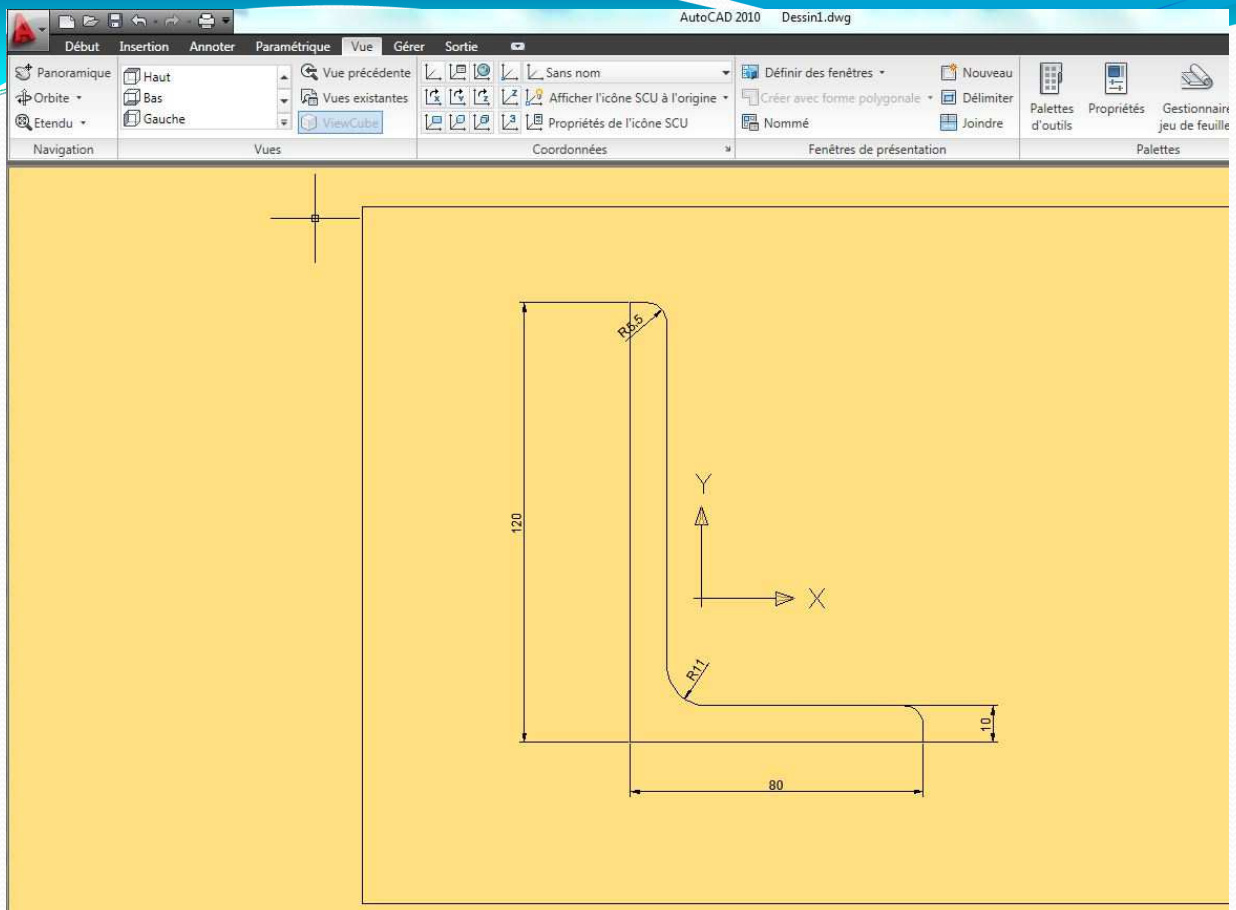
Etape 3 : taper `PROPMECA`.

```
----- REGIONS -----  
  
Aire: 1912.9834  
Périmètre: 390.5575  
Zone de contour: X: 83.2243 -- 163.2243  
Y: 53.9339 -- 173.9339  
Centre de gravité: X: 102.6992  
Y: 93.1373  
Moments d'inertie: X: 19349585.7476  
Y: 21157603.2433  
Produits d'inertie: XY: 17347616.1287  
Rayon de giration: X: 100.5727  
Y: 105.1666  
Moments principaux et directions X-Y autour du centre de gravité:  
I: 568222.3024 le long de [0.3985 -0.9172]  
J: 3168219.6731 le long de [0.9172 0.3985]
```

Etape 4 : éventuellement déplacer l'origine du repère au centre de gravité (utiliser la commande `SCU`)

Etape 5 : taper `PROPMECA`

73



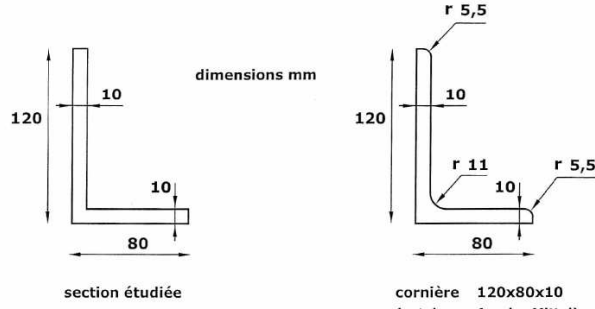
74

----- REGIONS -----

Aire: 1912.9834
 Périmètre: 390.5575
 Zone de contour: X: -19.4749 -- 60.5251
 Y: -39.2034 -- 80.7966
 Centre de gravité: X: 0.0000
 Y: 0.0000
 Moments d'inertie: X: 2755303.4158
 Y: 981138.5596
 Produits d'inertie: XY: -950305.9232
 Rayon de giration: X: 37.9515
 Y: 22.6469
 Moments principaux et directions X-Y autour du centre de gravité:
 I: 568222.3024 le long de [0.3985 -0.9172]
 J: 3168219.6731 le long de [0.9172 0.3985]

Ecrire analyse dans un fichier ? [Oui/Non] <N>: 0

Les valeurs trouvées dans cette application sont proches de celles d'une cornière à ailes inégales **120x80x10** (voir catalogue Arcelor Mittal).
 Les différences s'expliquent par l'absence des rayons de raccordement dans l'exemple traité.



A	(cm ²)	19
(y_G, z_G)	(cm)	(1.97, 3.97)
I_y	(cm ⁴)	278,3
I_z	(cm ⁴)	100,3
I_{max}	(cm ⁴)	321,2
I_{min}	(cm ⁴)	57,4
α	(°)	23,77

cornière 120x80x10
(catalogue Arcelor Mittal)

19,1
(1.95, 3.92)
275,5
98,11
317
56,6
23,53

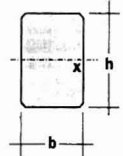
Exemple: **Poutres en béton précontraint ou armé**
(extrait catalogue Willy Naessens)

Poutre à section rectangulaire
en béton précontraint (BX) ou armé (BM)



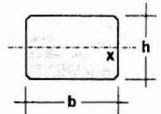
BX avec hauteur $h >$ largeur b

Section	b	h	poids	A_c	I_x	I_x/V	L_{max}	M_{max}
	mm	mm	kN/m	mm ²	mm ⁴ x 10 ⁶	mm ³ x 10 ⁶	m	kNm
BX 200/350	200	350	1,75	70.000	715	4,08	8,75	78,8
BX 200/400	200	400	2,00	80.000	1.067	5,33	10,00	104,7
BX 200/450	200	450	2,25	90.000	1.519	6,75	11,25	134,8
BX 300/500	300	500	3,75	150.000	3.125	12,50	12,50	253,7
BX 300/550	300	550	4,13	165.000	4.159	15,13	13,75	312,1
BX 300/600	300	600	4,50	180.000	5.400	18,00	15,00	337,6
BX 400/600	400	600	6,00	240.000	7.200	24,00	15,00	450,2
BX 400/650	400	650	6,50	260.000	9.154	28,17	16,25	532,5
BX 400/700	400	700	7,00	280.000	11.433	32,67	17,50	622,4
BX 400/750	400	750	7,50	300.000	14.063	37,50	18,75	719,9
BX 400/800	400	800	8,00	320.000	17.067	42,67	20,00	825,4



BX avec hauteur $h <$ largeur b

Section	b	h	poids	A_c	I_x	I_x/V	L_{max}	M_{max}
	mm	mm	kN/m	mm ²	mm ⁴ x 10 ⁶	mm ³ x 10 ⁶	m	kNm
BX 400/300	400	300	3,00	120.000	900	6,00	7,50	113,9
BX 400/350	400	350	3,50	140.000	1.429	8,17	8,75	157,7
BX 400/400	400	400	4,00	160.000	2.133	10,67	10,00	209,5
BX 500/300	500	300	3,75	150.000	1.125	7,50	7,50	142,3
BX 500/350	500	350	4,38	175.000	1.786	10,21	8,75	197,2
BX 500/400	500	400	5,00	200.000	2.667	13,33	10,00	261,8
BX 500/450	500	450	5,63	225.000	3.797	16,88	11,25	309,2
BX 500/500	500	500	6,25	250.000	5.208	20,83	12,50	384,6
BX 600/300	600	300	4,50	180.000	1.350	9,00	15,00	170,8
BX 600/350	600	350	5,25	210.000	2.144	12,25	8,75	236,5
BX 600/400	600	400	6,00	240.000	3.200	16,00	10,00	314,2
BX 600/450	600	450	6,75	270.000	4.556	20,25	11,25	371,0
BX 600/500	600	500	7,50	300.000	6.250	25,00	12,50	461,6
BX 600/550	600	550	8,25	330.000	8.319	30,25	13,75	563,0
BX 600/600	600	600	9,00	360.000	10.800	36,00	15,00	675,3



Sur demande, dimensionnement des poutres tenant compte d'un béton de deuxième phase

Les moments maximum admissibles ne tiennent pas compte de la stabilité au déversement. Cette stabilité est à examiner pour chaque cas.

Légende

- b = largeur
- h = hauteur
- A_c = section de béton
- I_x = moment d'inertie pour l'axe X
- I_x/V = moment de résistance
- L_{max} = longueur maximale
- M_{max} = moment fléchissant maximum admissible

Profils européens et aciers marchands

- 16 IPE Poutrelles I européennes
- 22 IPN Poutrelles normales européennes
- 24 HE Poutrelles européennes à larges ailes
- 32 HL Poutrelles européennes à très larges ailes
- 36 HD Poutrelles-poteaux à larges ailes
- 40 HP Poutrelles-pieux à larges ailes
- 44 UPE Fers U à ailes parallèles
- 46 UPN Fers U normaux européens
- 48 U Fers U à ailes inclinées
- 52 L Cornières à ailes égales
- 62 L Cornières à ailes inégales
- 68 Fers plats + Larges plats
- 69 Carrés
- 70 Ronds laminés à chaud
- 71 T en acier à ailes égales

European Sections and merchant bars

- 16 IPE European I beams
- 22 IPN European standard beams
- 24 HE European wide flange beams
- 32 HL European extra wide flange beams
- 36 HD Wide flange columns
- 40 HP Wide flange bearing piles
- 44 UPE Channels with parallel flanges
- 46 UPN European standard channels
- 48 U Channels with taper flanges
- 52 L Equal leg angles
- 62 L Unequal leg angles
- 68 Narrow flat bars + Flat bars
- 69 Square bars
- 70 Hot rolled round steel bars
- 71 Equal flange tees

Europäische Profile und Stabstahl

- 16 IPE Europäische I-Profile
- 22 IPN Europäische Normalträger
- 24 HE Europäische Breiflanschträger
- 32 HL Europäische Träger mit besonders breiten Flanschen
- 36 HD Breiflansch-Stützenprofile
- 40 HP Breiflanschpfähle
- 44 UPE U-Profile mit parallelen Flanschen
- 46 UPN Europäische U-Stahl-Normalprofile
- 48 U-Profile mit geneigten inneren Flanschflächen
- 52 L Gleichschenkliger Winkelstahl
- 62 L Ungleichschenkliger Winkelstahl
- 68 Flachstahl + Breiflachstahl
- 69 Vierkantstahl
- 70 Warmgewalzte Rundstäbe
- 71 Gleichschenkliger T-Stahl



Poutrelles I européennes

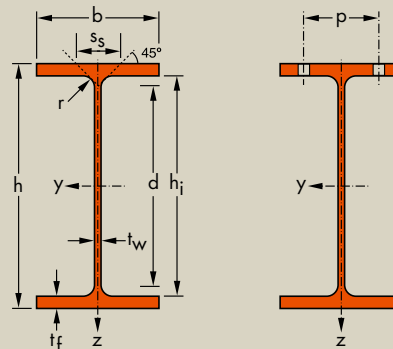
Dimensions: IPE 80 - 600 conformes à la norme antérieure EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 suivant norme AM
 Tolérances: EN 10034: 1993
 Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European I beams

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 in accordance with AM standard
 Tolerances: EN 10034: 1993
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische I-Profile

Abmessungen: IPE 80 - 600 gemäß früherer Norm EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 gemäß AM Standard
 Toleranzen: EN 10034: 1993
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	G kg/m	Dimensions Abmessungen					A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
		h mm	b mm	t _w mm	t _r mm	r mm		h _i mm	d mm	∅	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
IPE AA 80*	4,9	78	46	3,2	4,2	5,0	6,31	69,6	59,6	-	-	-	0,325	65,62
IPE A 80·/*	5,0	78	46	3,3	4,2	5,0	6,38	69,6	59,6	-	-	-	0,325	64,90
IPE 80*	6,0	80	46	3,8	5,2	5,0	7,64	69,6	59,6	-	-	-	0,328	54,64
IPE AA 100*	6,7	97,6	55	3,6	4,5	7,0	8,56	88,6	74,6	-	-	-	0,396	58,93
IPE A 100·/*	6,9	98	55	3,6	4,7	7,0	8,8	88,6	74,6	-	-	-	0,397	57,57
IPE 100*	8,1	100	55	4,1	5,7	7,0	10,3	88,6	74,6	-	-	-	0,400	49,33
IPE AA 120*	8,4	117	64	3,8	4,8	7,0	10,7	107,4	93,4	-	-	-	0,470	56,26
IPE A 120·	8,7	117,6	64	3,8	5,1	7,0	11,0	107,4	93,4	-	-	-	0,472	54,47
IPE 120	10,4	120	64	4,4	6,3	7,0	13,2	107,4	93,4	-	-	-	0,475	45,82
IPE AA 140*	10,1	136,6	73	3,8	5,2	7,0	12,8	126,2	112,2	-	-	-	0,546	54,26
IPE A 140·	10,5	137,4	73	3,8	5,6	7,0	13,4	126,2	112,2	-	-	-	0,547	52,05
IPE 140	12,9	140	73	4,7	6,9	7,0	16,4	126,2	112,2	-	-	-	0,551	42,70
IPE AA 160*	12,1	156,4	82	4,0	5,6	7,0	15,4	145,2	131,2	-	-	-	0,621	50,40
IPE A 160·	12,7	157	82	4,0	5,9	9,0	16,2	145,2	127,2	-	-	-	0,619	48,70
IPE 160	15,8	160	82	5,0	7,4	9,0	20,1	145,2	127,2	-	-	-	0,623	39,47
IPE AA 180*	14,9	176,4	91	4,3	6,2	9,0	19,0	164,0	146,0	M 10	48	48	0,693	46,37
IPE A 180·	15,4	177	91	4,3	6,5	9,0	19,6	164,0	146,0	M 10	48	48	0,694	45,15
IPE 180	18,8	180	91	5,3	8,0	9,0	23,9	164,0	146,0	M 10	48	48	0,698	37,13
IPE O 180+	21,3	182	92	6,0	9,0	9,0	27,1	164,0	146,0	M 10	50	50	0,705	33,12
IPE AA 200*	18,0	196,4	100	4,5	6,7	12,0	22,9	183,0	159,0	M 10	54	58	0,763	42,51
IPE A 200·	18,4	197	100	4,5	7,0	12,0	23,5	183,0	159,0	M 10	54	58	0,764	41,49
IPE 200	22,4	200	100	5,6	8,5	12,0	28,5	183,0	159,0	M 10	54	58	0,768	34,36
IPE O 200+	25,1	202	102	6,2	9,5	12,0	32,0	183,0	159,0	M 10	56	60	0,779	31,05
IPE AA 220*	21,2	216,4	110	4,7	7,4	12,0	27,0	201,6	177,6	M 12	60	62	0,843	39,78
IPE A 220·	22,2	217	110	5,0	7,7	12,0	28,3	201,6	177,6	M 12	60	62	0,843	38,02
IPE 220	26,2	220	110	5,9	9,2	12,0	33,4	201,6	177,6	M 12	60	62	0,848	32,36
IPE O 220+	29,4	222	112	6,6	10,2	12,0	37,4	201,6	177,6	M 10	58	66	0,858	29,24

* Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 222; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

* Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

* Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 222; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 205–209 / Bezeichnungen Seiten 205–209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G kg/m	I_y mm ⁴ x10 ⁴	$W_{el,y}$ mm ³ x10 ³	$W_{ply,y}$ mm ³ x10 ³	i_y mm x10	A_z mm ² x10 ²	I_z mm ⁴ x10 ⁴	$W_{el,z}$ mm ³ x10 ³	$W_{ply,z}$ mm ³ x10 ³	i_z mm x10	s_s mm	I_t mm ⁴ x10 ⁴	I_w mm ⁶ x10 ⁹	S235	S355	S460	S235	S355				S460
IPE AA 80	4,9	64,1	16,4	18,9	3,19	3,00	6,85	2,98	4,7	1,04	17,5	0,40	0,09	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 80	5,0	64,4	16,5	19,0	3,18	3,07	6,85	2,98	4,7	1,04	17,6	0,42	0,09	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 80	6,0	80,1	20,0	23,2	3,24	3,58	8,49	3,69	5,8	1,05	20,1	0,70	0,12	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE AA 100	6,7	136	27,9	31,9	3,98	4,40	12,6	4,57	7,2	1,21	20,8	0,73	0,27	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 100	6,9	141	28,8	33,0	4,01	4,44	13,1	4,77	7,5	1,22	21,2	0,77	0,28	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 100	8,1	171	34,2	39,4	4,07	5,08	15,9	5,79	9,2	1,24	23,7	1,20	0,35	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE AA 120	8,4	244	41,7	47,6	4,79	5,36	21,1	6,59	10,4	1,41	21,6	0,95	0,66	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE A 120	8,7	257	43,8	49,9	4,83	5,41	22,4	7,00	11,0	1,42	22,2	1,04	0,71	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE 120	10,4	318	53,0	60,7	4,90	6,31	27,7	8,65	13,6	1,45	25,2	1,74	0,89	1	1	-	1	1	-	✓		
IPE AA 140	10,1	407	59,7	67,6	5,64	6,14	33,8	9,27	14,5	1,63	22,4	1,19	1,46	1	1	-	1	2	-	✓		
IPE A 140	10,5	435	63,3	71,6	5,70	6,21	36,4	10,0	15,5	1,65	23,2	1,36	1,58	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE 140	12,9	541	77,3	88,3	5,74	7,64	44,9	12,3	19,3	1,65	26,7	2,45	1,98	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 160	12,1	646	82,6	93,3	6,47	7,24	51,6	12,6	19,6	1,83	23,4	1,57	2,93	1	1	-	1	3	-	✓		
IPE A 160	12,7	689	87,8	99,1	6,53	7,80	54,4	13,3	20,7	1,83	26,3	1,96	3,09	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE 160	15,8	869	109	124	6,58	9,66	68,3	16,7	26,1	1,84	30,3	3,60	3,96	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 180	14,9	1020	116	131	7,32	9,13	78,1	17,2	26,7	2,03	27,2	2,48	5,64	1	1	-	2	3	-	✓		
IPE A 180	15,4	1063	120	135	7,37	9,20	81,9	18,0	28,0	2,05	27,8	2,70	5,93	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
IPE 180	18,8	1317	146	166	7,42	11,3	101	22,2	34,6	2,05	31,8	4,79	7,43	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE O 180	21,3	1505	165	189	7,45	12,7	117	25,5	39,9	2,08	34,5	6,76	8,74	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 200	18,0	1533	156	176	8,19	11,4	112	22,4	35,0	2,21	32,0	3,84	10,1	1	1	-	2	4	-	✓		
IPE A 200	18,4	1591	162	182	8,23	11,5	117	23,4	36,5	2,23	32,6	4,11	10,5	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE 200	22,4	1943	194	221	8,26	14,0	142	28,5	44,6	2,24	36,7	6,98	13,0	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE O 200	25,1	2211	219	249	8,32	15,5	169	33,1	51,9	2,30	39,3	9,45	15,6	1	1	1	1	1	2	✓	✓	✓
IPE AA 220	21,2	2219	205	230	9,07	12,8	165	29,9	46,5	2,47	33,6	5,02	17,9	1	1	-	2	4	-	✓		
IPE A 220	22,2	2317	214	240	9,05	13,6	171	31,2	48,5	2,46	34,5	5,69	18,7	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE 220	26,2	2772	252	285	9,11	15,9	205	37,3	58,1	2,48	38,4	9,07	22,7	1	1	1	1	2	4	✓	✓	✓
IPE O 220	29,4	3134	282	321	9,16	17,7	240	42,8	66,9	2,53	41,1	12,3	26,8	1	1	1	1	2	2	✓	✓	✓

♦ W_{pl} : pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 209.

♦ W_{pl} : for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.

♦ W_{pl} : bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 209.

Poutrelles I européennes (suite)

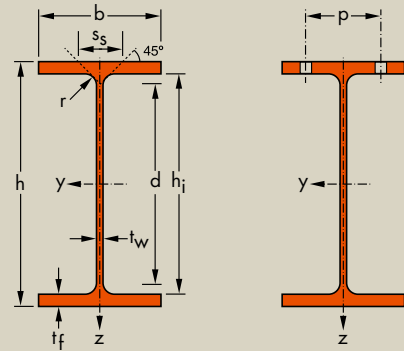
Dimensions: IPE 80 - 600 conformes à la norme antérieure EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 suivant norme AM
 Tolérances: EN 10034: 1993
 Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European I beams (continued)

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 in accordance with AM standard
 Tolerances: EN 10034: 1993
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische I-Profile (Fortsetzung)

Abmessungen: IPE 80 - 600 gemäß früherer Norm EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 gemäß AM Standard
 Toleranzen: EN 10034: 1993
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		h _i mm	d mm	Ø mm	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _C m ² /t
IPE AA 240*	24,9	236,4	120	4,8	8,0	15,0	31,7	220,4	190,4	M 12	64	68	0,917	36,86
IPE A 240·	26,2	237	120	5,2	8,3	15,0	33,3	220,4	190,4	M 12	64	68	0,918	35,10
IPE 240	30,7	240	120	6,2	9,8	15,0	39,1	220,4	190,4	M 12	66	68	0,922	30,02
IPE O 240+	34,3	242	122	7,0	10,8	15,0	43,7	220,4	190,4	M 12	66	70	0,932	27,17
IPE A 270·	30,7	267	135	5,5	8,7	15,0	39,2	249,6	219,6	M 16	70	72	1,037	33,75
IPE 270	36,1	270	135	6,6	10,2	15,0	45,9	249,6	219,6	M 16	72	72	1,041	28,86
IPE O 270+	42,3	274	136	7,5	12,2	15,0	53,8	249,6	219,6	M 16	72	72	1,051	24,88
IPE A 300·	36,5	297	150	6,1	9,2	15,0	46,5	278,6	248,6	M 16	72	86	1,156	31,65
IPE 300	42,2	300	150	7,1	10,7	15,0	53,8	278,6	248,6	M 16	72	86	1,160	27,46
IPE O 300+	49,3	304	152	8,0	12,7	15,0	62,8	278,6	248,6	M 16	74	88	1,174	23,81
IPE A 330·	43,0	327	160	6,5	10,0	18,0	54,7	307,0	271,0	M 16	78	96	1,250	29,09
IPE 330	49,1	330	160	7,5	11,5	18,0	62,6	307,0	271,0	M 16	78	96	1,254	25,52
IPE O 330+	57,0	334	162	8,5	13,5	18,0	72,6	307,0	271,0	M 16	80	98	1,268	22,24
IPE A 360·	50,2	357,6	170	6,6	11,5	18,0	64,0	334,6	298,6	M 22	86	88	1,351	26,91
IPE 360	57,1	360	170	8,0	12,7	18,0	72,7	334,6	298,6	M 22	88	88	1,353	23,70
IPE O 360+	66,0	364	172	9,2	14,7	18,0	84,1	334,6	298,6	M 22	90	90	1,367	20,69
IPE A 400·	57,4	397	180	7,0	12,0	21,0	73,1	373,0	331,0	M 22	94	98	1,464	25,51
IPE 400	66,3	400	180	8,6	13,5	21,0	84,5	373,0	331,0	M 22	96	98	1,467	22,12
IPE O 400+	75,7	404	182	9,7	15,5	21,0	96,4	373,0	331,0	M 22	96	100	1,481	19,57
IPE A 450·	67,2	447	190	7,6	13,1	21,0	85,6	420,8	378,8	M 24	100	102	1,603	23,87
IPE 450	77,6	450	190	9,4	14,6	21,0	98,8	420,8	378,8	M 24	100	102	1,605	20,69
IPE O 450+	92,4	456	192	11,0	17,6	21,0	118	420,8	378,8	M 24	102	104	1,622	17,56
IPE A 500·	79,4	497	200	8,4	14,5	21,0	101	468,0	426,0	M 24	100	112	1,741	21,94
IPE 500	90,7	500	200	10,2	16,0	21,0	116	468,0	426,0	M 24	102	112	1,744	19,23
IPE O 500+	107	506	202	12,0	19,0	21,0	137	468,0	426,0	M 24	104	114	1,760	16,4

* Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 222; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

* Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

* Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 222; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 205–209 / Bezeichnungen Seiten 205–209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G	I_y	$W_{el,y}$	$W_{pl,y} \blacklozenge$	i_y	A_z	I_z	$W_{el,z}$	$W_{pl,z} \blacklozenge$	i_z	s_s	I_t	I_w	S235	S355	S460	S235	S355				S460
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹										
IPE AA 240	24,9	3154	267	298	9,97	15,3	231	38,6	60,0	2,70	38,4	7,33	30,1	1	1	-	3	4	-	✓	✓	✓
IPE A 240	26,2	3290	278	312	9,94	16,3	240	40,0	62,4	2,68	39,4	8,35	31,3	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE 240	30,7	3892	324	367	9,97	19,1	284	47,3	73,9	2,69	43,4	12,9	37,4	1	1	1	1	2	4	✓	✓	✓
IPE O 240	34,3	4369	361	410	10,0	21,4	329	53,9	84,4	2,74	46,2	17,2	43,7	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE A 270	30,7	4917	368	413	11,2	18,8	358	53,0	82,3	3,02	40,5	10,3	59,5	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE 270	36,1	5790	429	484	11,2	22,1	420	62,2	97,0	3,02	44,6	15,9	70,6	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
IPE O 270	42,3	6947	507	575	11,4	25,2	514	75,5	118	3,09	49,5	24,9	87,6	1	1	1	1	2	3	✓	✓	✓
IPE A 300	36,5	7173	483	542	12,4	22,3	519	69,2	107	3,34	42,1	13,4	107	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE 300	42,2	8356	557	628	12,5	25,7	604	80,5	125	3,35	46,1	20,1	126	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE O 300	49,3	9994	658	744	12,6	29,1	746	98,1	153	3,45	51,0	31,1	158	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE A 330	43	10230	626	702	13,7	27,0	685	85,6	133	3,54	47,6	19,6	172	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE 330	49,1	11770	713	804	13,7	30,8	788	98,5	154	3,55	51,6	28,2	199	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE O 330	57	13910	833	943	13,8	34,9	960	119	185	3,64	56,6	42,2	246	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE A 360	50,2	14520	812	907	15,1	29,8	944	111	172	3,84	50,7	26,5	282	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 360	57,1	16270	904	1019	15,0	35,1	1043	123	191	3,79	54,5	37,3	314	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE O 360	66	19050	1047	1186	15,1	40,2	1251	146	227	3,86	59,7	55,8	380	1	1	1	1	3	4	✓	✓	✓
IPE A 400	57,4	20290	1022	1144	16,7	35,8	1171	130	202	4,00	55,6	34,8	432	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 400	66,3	23130	1160	1307	16,6	42,7	1318	146	229	3,95	60,2	51,1	490	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE O 400	75,7	26750	1324	1502	16,7	48,0	1564	172	269	4,03	65,3	73,1	588	1	1	1	2	3	4	✓	✓	✓
IPE A 450	67,2	29760	1331	1494	18,7	42,3	1502	158	246	4,19	58,4	45,7	705	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 450	77,6	33740	1500	1702	18,5	50,9	1676	176	276	4,12	63,2	66,9	791	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE O 450	92,4	40920	1795	2046	18,7	59,4	2085	217	341	4,21	70,8	109	998	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓
IPE A 500	79,4	42930	1728	1946	20,6	50,4	1939	194	302	4,38	62,0	62,8	1125	1	1	1	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 500	90,7	48200	1930	2194	20,4	59,9	2142	214	336	4,31	66,8	89,3	1249	1	1	1	3	4	4	✓	✓	✓
IPE O 500	107	57780	2284	2613	20,6	70,2	2622	260	409	4,38	74,6	144	1548	1	1	1	2	4	4	✓	✓	✓

◆ W_{pl} : pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 209.

◆ W_{pl} : for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.

◆ W_{pl} : bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 209.

Poutrelles I européennes (suite)

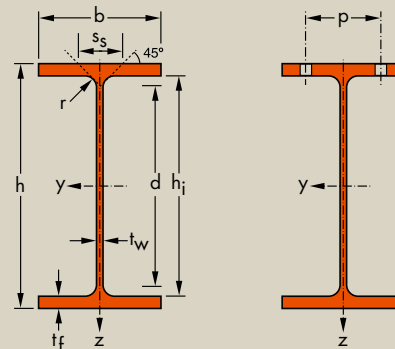
Dimensions: IPE 80 - 600 conformes à la norme antérieure EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 suivant norme AM
 Tolérances: EN 10034: 1993
 Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European I beams (continued)

Dimensions: IPE 80 - 600 in accordance with former standard EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 in accordance with AM standard
 Tolerances: EN 10034: 1993
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische I-Profile (Fortsetzung)

Abmessungen: IPE 80 - 600 gemäß früherer Norm EU 19-57
 IPE AA 80 - 550, IPE A 80 - 600, IPE O 180 - 600, IPE 750 gemäß AM Standard
 Toleranzen: EN 10034: 1993
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm		h _i mm	d mm	Ø	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
IPE A 550•	92,1	547	210	9,0	15,7	24,0	117	515,6	467,6	M 24	106	122	1,875	20,36
IPE 550	106	550	210	11,1	17,2	24,0	134	515,6	467,6	M 24	110	122	1,877	17,78
IPE O 550+	123	556	212	12,7	20,2	24,0	156	515,6	467,6	M 24	110	122	1,893	15,45
IPE A 600•	108	597	220	9,8	17,5	24,0	137	562,0	514,0	M 27	114	118	2,013	18,72
IPE 600	122	600	220	12,0	19,0	24,0	156	562,0	514,0	M 27	116	118	2,015	16,45
IPE O 600+	154	610	224	15,0	24,0	24,0	197	562,0	514,0	M 27	118	122	2,045	13,24
IPE 750 x 137*	137	753	263	11,5	17,0	17,0	175	719,0	685,0	M 27	102	162	2,506	18,28
IPE 750 x 147	147	753	265	13,2	17,0	17,0	188	719,0	685,0	M 27	104	164	2,510	17,06
IPE 750 x 173+	173	762	267	14,4	21,6	17,0	221	718,8	684,8	M 27	104	166	2,534	14,58
IPE 750 x 196+	196	770	268	15,6	25,4	17,0	251	719,2	685,2	M 27	106	166	2,552	12,96

• Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 222; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

• Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

• Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 222; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 205–209 / Bezeichnungen Seiten 205–209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G	I_y	$W_{el,y}$	$W_{pl,y} \blacklozenge$	i_y	A_z	I_z	$W_{el,z}$	$W_{pl,z} \blacklozenge$	i_z	s_s	I_t	I_w	S235	S355	S460	S235	S355				S460
kg/m	mm^4 $\times 10^4$	mm^3 $\times 10^3$	mm^3 $\times 10^3$	mm $\times 10$	mm^2 $\times 10^2$	mm^4 $\times 10^4$	mm^3 $\times 10^3$	mm^3 $\times 10^3$	mm $\times 10$	mm	mm^4 $\times 10^4$	mm^6 $\times 10^9$										
IPE A 550	92,1	59980	2193	2475	22,6	60,3	2432	232	362	4,55	68,5	86,5	1710	1	1	2	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 550	106	67120	2440	2787	22,4	72,3	2668	254	401	4,45	73,6	123	1884	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
IPE O 550	123	79160	2847	3263	22,5	82,7	3224	304	481	4,55	81,2	188	2302	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
IPE A 600	108	82920	2778	3141	24,6	70,1	3116	283	442	4,77	72,9	119	2607	1	1	2	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 600	122	92080	3070	3512	24,3	83,8	3387	308	486	4,66	78,1	165	2846	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
IPE O 600	154	118300	3879	4471	24,5	104	4521	404	640	4,79	91,1	318	3860	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
IPE 750 x 137	137	159900	4246	4865	30,3	92,9	5166	393	614	5,44	65,4	137	6980	1	2	-	4	4	-	✓	✓	✓
IPE 750 x 147	147	166100	4411	5110	29,8	105	5289	399	631	5,31	67,1	162	7141	1	1	2	4	4	4	✓	✓	✓
IPE 750 x 173	173	205800	5402	6218	30,5	116	6873	515	810	5,57	77,5	274	9391	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI
IPE 750 x 196	196	240300	6241	7174	31,0	127	8175	610	959	5,71	86,3	409	11290	1	1	1	4	4	4	✓	HI	HI

HI = HISTAR®

\blacklozenge W_{pl} : pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 209.
 \blacklozenge W_{pl} : for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.
 \blacklozenge W_{pl} : bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 209.

Poutrelles européennes à larges ailes

Dim.: HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme antérieure EU 53-62; HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$ conformes à ASTM A 6/A 6M - 07

HE C conforme à PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 suivant norme AM

Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European wide flange beams

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07

HE C in accordance with PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 in accordance with AM standard

Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$

Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische Breitflanschträger

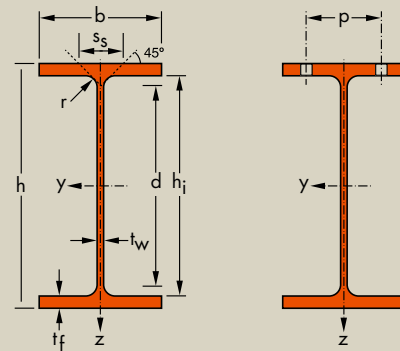
Abmessungen: HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß früherer Norm EU 53-62; HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$ gemäß ASTM A 6/A 6M - 07

HE C gemäß PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 gemäß AM Standard

Toleranzen: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _r mm	r mm		h _i mm	d mm	Ø mm	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
HE 100 AA*	12,2	91	100	4,2	5,5	12	15,6	80	56	M 10	54	58	0,553	45,17
HE 100 A	16,7	96	100	5	8	12	21,2	80	56	M 10	54	58	0,561	33,68
HE 100 B	20,4	100	100	6	10	12	26,0	80	56	M 10	56	58	0,567	27,76
HE 100 C*	30,9	110	103	9	15	12	39,3	80	56	M 10	59	61	0,593	19,23
HE 100 M	41,8	120	106	12	20	12	53,2	80	56	M 10	62	64	0,619	14,82
HE 120 AA*	14,6	109	120	4,2	5,5	12	18,6	98	74	M 12	58	68	0,669	45,94
HE 120 A	19,9	114	120	5	8	12	25,3	98	74	M 12	58	68	0,677	34,06
HE 120 B	26,7	120	120	6,5	11	12	34,0	98	74	M 12	60	68	0,686	25,71
HE 120 C*	39,2	130	123	9,5	16	12	49,9	98	74	M 12	63	72	0,712	18,19
HE 120 M	52,1	140	126	12,5	21	12	66,4	98	74	M 12	66	74	0,738	14,16
HE 140 AA*	18,1	128	140	4,3	6	12	23,0	116	92	M 16	64	76	0,787	43,53
HE 140 A	24,7	133	140	5,5	8,5	12	31,4	116	92	M 16	64	76	0,794	32,21
HE 140 B	33,7	140	140	7	12	12	43,0	116	92	M 16	66	76	0,805	23,88
HE 140 C*	48,2	150	143	10	17	12	61,5	116	92	M 16	69	79	0,831	17,22
HE 140 M	63,2	160	146	13	22	12	80,6	116	92	M 16	72	82	0,857	13,56
HE 160 AA*	23,8	148	160	4,5	7	15	30,4	134	104	M 20	76	84	0,901	37,81
HE 160 A	30,4	152	160	6	9	15	38,8	134	104	M 20	78	84	0,906	29,78
HE 160 B	42,6	160	160	8	13	15	54,3	134	104	M 20	80	84	0,918	21,56
HE 160 C*	59,2	170	163	11	18	15	75,4	134	104	M 20	84	88	0,944	15,95
HE 160 M	76,2	180	166	14	23	15	97,1	134	104	M 20	86	90	0,970	12,74
HE 180 AA*	28,7	167	180	5	7,5	15	36,5	152	122	M 24	84	92	1,018	35,51
HE 180 A	35,5	171	180	6	9,5	15	45,3	152	122	M 24	86	92	1,024	28,83
HE 180 B	51,2	180	180	8,5	14	15	65,3	152	122	M 24	88	92	1,037	20,25
HE 180 C*	69,8	190	183	11,5	19	15	89,0	152	122	M 27	92	96	1,063	15,22
HE 180 M	88,9	200	186	14,5	24	15	113,3	152	122	M 24	94	98	1,089	12,25
HE 200 AA*	34,6	186	200	5,5	8	18	44,1	170	134	M 27	96	100	1,130	32,62
HE 200 A	42,3	190	200	6,5	10	18	53,8	170	134	M 27	98	100	1,136	26,89
HE 200 B	61,3	200	200	9	15	18	78,1	170	134	M 27	100	100	1,151	18,78
HE 200 C*	81,9	210	203	12	20	18	104,4	170	134	M 27	104	104	1,177	14,36
HE 200 M	103	220	206	15	25	18	131,3	170	134	M 27	106	106	1,203	11,67

* Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 222; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

* Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.
* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

* Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 222; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.
* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 205-209 / Bezeichnungen Seiten 205-209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G kg/m	I_y mm ⁴ x10 ⁴	W_{ely} mm ³ x10 ³	$W_{ply}♦$ mm ³ x10 ³	i_y mm	A_vz mm ² x10 ²	I_z mm ⁴ x10 ⁴	W_{elz} mm ³ x10 ³	$W_{plz}♦$ mm ³ x10 ³	i_z mm	s_s mm	I_t mm ⁴ x10 ⁴	I_w mm ⁶ x10 ⁹	S235	S355	S460	S235	S355				S460
HE 100 AA	12,2	236,5	51,98	58,36	3,89	6,15	92,06	18,41	28,44	2,43	29,26	2,51	1,68	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 100 A	16,7	349,2	72,76	83,01	4,06	7,56	133,8	26,76	41,14	2,51	35,06	5,24	2,58	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 B	20,4	449,5	89,91	104,2	4,16	9,04	167,3	33,45	51,42	2,53	40,06	9,25	3,38	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 100 C	30,9	758,7	137,9	165,8	4,39	13,39	274,4	53,28	82,08	2,64	53,06	29,30	6,16	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 100 M	41,8	1143	190,4	235,8	4,63	18,04	399,2	75,31	116,3	2,74	66,06	68,21	9,93	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 AA	14,6	413,4	75,85	84,12	4,72	6,90	158,8	26,47	40,62	2,93	29,26	2,78	4,24	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 120 A	19,9	606,2	106,3	119,5	4,89	8,46	230,9	38,48	58,85	3,02	35,06	5,99	6,47	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 B	26,7	864,4	144,1	165,2	5,04	10,96	317,5	52,92	80,97	3,06	42,56	13,84	9,41	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 120 C	39,2	1388	213,6	252,9	5,27	15,91	497,7	80,92	124,2	3,16	55,56	40,96	16,12	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 120 M	52,1	2018	288,2	350,6	5,51	21,15	702,8	111,6	171,6	3,25	68,56	91,66	24,79	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 AA	18,1	719,5	112,4	123,8	5,59	7,92	274,8	39,26	59,93	3,45	30,36	3,54	10,21	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 140 A	24,7	1033	155,4	173,5	5,73	10,12	389,3	55,62	84,85	3,52	36,56	8,13	15,06	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 140 B	33,7	1509	215,6	245,4	5,93	13,08	549,7	78,52	119,8	3,58	45,06	20,06	22,48	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 140 C	48,2	2330	310,6	363,8	6,16	18,62	830,3	116,1	177,7	3,68	58,06	55,68	36,64	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 140 M	63,2	3291	411,4	493,8	6,39	24,46	1144	156,8	240,5	3,77	71,06	120,0	54,33	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 160 AA	23,8	1283	173,4	190,4	6,50	10,38	478,7	59,84	91,36	3,97	36,07	6,33	23,75	1	3	3	1	3	3	✓	✓	✓
HE 160 A	30,4	1673	220,1	245,1	6,57	13,21	615,6	76,95	117,6	3,98	41,57	12,19	31,41	1	1	2	1	1	2	✓	✓	✓
HE 160 B	42,6	2492	311,5	354,0	6,78	17,59	889,2	111,2	170,0	4,05	51,57	31,24	47,94	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 160 C	59,2	3704	435,8	507,6	7,01	24,05	1302	159,8	244,9	4,16	64,57	79,21	75,04	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 160 M	76,2	5098	566,5	674,6	7,25	30,81	1759	211,9	325,5	4,26	77,57	162,4	108,1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 180 AA	28,7	1967	235,6	258,2	7,34	12,16	730,0	81,11	123,6	4,47	37,57	8,33	46,36	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 180 A	35,5	2510	293,6	324,9	7,45	14,47	924,6	102,7	156,5	4,52	42,57	14,80	60,21	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 180 B	51,2	3831	425,7	481,4	7,66	20,24	1363	151,4	231,0	4,57	54,07	42,16	93,75	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 180 C	69,8	5543	583,5	675,0	7,89	27,30	1944	212,5	324,9	4,68	67,07	102,1	141,9	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 180 M	88,9	7483	748,3	883,4	8,13	34,65	2580	277,4	425,2	4,77	80,07	203,3	199,3	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 200 AA	34,6	2944	316,6	347,1	8,17	15,45	1068	106,8	163,2	4,92	42,59	12,69	84,49	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 200 A	42,3	3692	388,6	429,5	8,28	18,08	1336	133,6	203,8	4,98	47,59	20,98	108,0	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 200 B	61,3	5696	569,6	642,5	8,54	24,83	2003	200,3	305,8	5,07	60,09	59,28	171,1	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 200 C	81,9	8029	764,7	880,6	8,77	32,78	2794	275,3	421,0	5,17	73,09	135,1	251,7	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 200 M	103	10640	967,4	1135	9,00	41,03	3651	354,5	543,2	5,27	86,09	259,4	346,3	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓

♦ W_{pl} : pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 209.

♦ W_{pl} : for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.

♦ W_{pl} : bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 209.

Poutrelles européennes à larges ailes (suite)

Dim.: HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme antérieure EU 53-62; HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$ conformes à ASTM A 6/A 6M - 07

HE C conforme à PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 suivant norme AM

Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European wide flange beams (continued)

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07

HE C in accordance with PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 in accordance with AM standard

Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$

Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische Breitflanschträger (Fortsetzung)

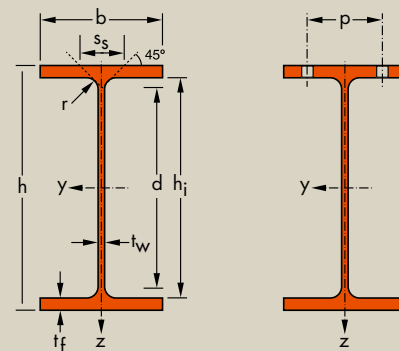
Abmessungen: HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß früherer Norm EU 53-62; HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$ gemäß ASTM A 6/A 6M - 07

HE C gemäß PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 gemäß AM Standard

Toleranzen: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M

ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _r mm	r mm		h _i mm	d mm	Ø mm	p _{min} mm	p _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
HE 220 AA*	40,4	205	220	6	8,5	18	51,5	188	152	M 27	98	118	1,247	30,87
HE 220 A	50,5	210	220	7	11	18	64,3	188	152	M 27	98	118	1,255	24,85
HE 220 B	71,5	220	220	9,5	16	18	91,0	188	152	M 27	100	118	1,270	17,77
HE 220 C*	94,1	230	223	12,5	21	18	119,9	188	152	M 27	104	122	1,296	13,77
HE 220 M	117	240	226	15,5	26	18	149,4	188	152	M 27	108	124	1,322	11,27
HE 240 AA*	47,4	224	240	6,5	9	21	60,4	206	164	M 27	104	138	1,359	28,67
HE 240 A	60,3	230	240	7,5	12	21	76,8	206	164	M 27	104	138	1,369	22,70
HE 240 B	83,2	240	240	10	17	21	106,0	206	164	M 27	108	138	1,384	16,63
HE 240 C*	119	255	244	14	24,5	21	152,2	206	164	M 27	112	142	1,422	11,90
HE 240 M	157	270	248	18	32	21	199,6	206	164	M 27	116	146	1,460	9,318
HE 260 AA*	54,1	244	260	6,5	9,5	24	69,0	225	177	M 27	110	158	1,474	27,22
HE 260 A	68,2	250	260	7,5	12,5	24	86,8	225	177	M 27	110	158	1,484	21,77
HE 260 B	93,0	260	260	10	17,5	24	118,4	225	177	M 27	114	158	1,499	16,12
HE 260 C*	132	275	264	14	25	24	168,4	225	177	M 27	118	162	1,537	11,63
HE 260 M	172	290	268	18	32,5	24	219,6	225	177	M 27	122	166	1,575	9,133
HE 280 AA*	61,2	264	280	7	10	24	78,0	244	196	M 27	110	178	1,593	26,01
HE 280 A	76,4	270	280	8	13	24	97,3	244	196	M 27	112	178	1,603	20,99
HE 280 B	103	280	280	10,5	18	24	131,4	244	196	M 27	114	178	1,618	15,69
HE 280 C*	145	295	284	14,5	25,5	24	185,2	244	196	M 27	118	182	1,656	11,39
HE 280 M	189	310	288	18,5	33	24	240,2	244	196	M 27	122	186	1,694	8,984
HE 300 AA*	69,8	283	300	7,5	10,5	27	88,9	262	208	M 27	116	198	1,705	24,42
HE 300 A	88,3	290	300	8,5	14	27	112,5	262	208	M 27	118	198	1,717	19,43
HE 300 B	117	300	300	11	19	27	149,1	262	208	M 27	120	198	1,732	14,80
HE 300 C*	177	320	305	16	29	27	225,1	262	208	M 27	126	204	1,782	10,08
HE 300 M	238	340	310	21	39	27	303,1	262	208	M 27	132	208	1,832	7,699
HE 320 AA*	74,2	301	300	8	11	27	94,6	279	225	M 27	118	198	1,740	23,43
HE 320 A	97,6	310	300	9	15,5	27	124,4	279	225	M 27	118	198	1,756	17,98
HE 320 B	127	320	300	11,5	20,5	27	161,3	279	225	M 27	122	198	1,771	13,98
HE 320 C*	186	340	305	16	30,5	27	236,9	279	225	M 27	126	204	1,822	9,796
HE 320 M	245	359	309	21	40	27	312,0	279	225	M 27	132	204	1,866	7,616

* Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 222; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

* Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.
* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

* Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 222; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.
* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 205–209 / Bezeichnungen Seiten 205–209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G kg/m	I _y mm ⁴ x10 ⁴	W _{el,y} mm ³ x10 ³	W _{ply} ♦ mm ³ x10 ³	i _y mm x10	A _{vz} mm ² x10 ²	I _z mm ⁴ x10 ⁴	W _{el,z} mm ³ x10 ³	W _{pl,z} ♦ mm ³ x10 ³	i _z mm x10	s _s mm	I _t mm ⁴ x10 ⁴	I _w mm ⁶ x10 ⁹	S235	S355	S460	S235	S355				S460
HE 220 AA	40,4	4170	406,9	445,5	9,00	17,63	1510	137,3	209,3	5,42	44,09	15,93	145,6	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 220 A	50,5	5410	515,2	568,5	9,17	20,67	1955	177,7	270,6	5,51	50,09	28,46	193,3	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 220 B	71,5	8091	735,5	827,0	9,43	27,92	2843	258,5	393,9	5,59	62,59	76,57	295,4	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 220 C	94,1	11180	972,2	1114	9,65	36,47	3888	348,7	532,4	5,69	75,59	168,2	423,9	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 220 M	117	14600	1217	1419	9,89	45,31	5012	443,5	678,6	5,79	88,59	315,3	572,7	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 240 AA	47,4	5835	521,0	570,6	9,83	21,54	2077	173,1	264,4	5,87	49,10	22,98	239,6	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 240 A	60,3	7763	675,1	744,6	10,05	25,18	2769	230,7	351,7	6,00	56,10	41,55	328,5	1	2	3	1	2	3	✓	✓	✓
HE 240 B	83,2	11260	938,3	1053	10,31	33,23	3923	326,9	498,4	6,08	68,60	102,7	486,9	1	1	1	1	1	1	✓	✓	✓
HE 240 C	119	17330	1359	1564	10,67	46,35	5942	487,1	743,8	6,25	87,60	288,7	787,9	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 240 M	157	24290	1799	2117	11,03	60,07	8153	657,5	1006	6,39	106,6	627,9	1152	1	1	-	1	1	-	✓	✓	✓
HE 260 AA	54,1	7981	654,1	714,5	10,76	24,75	2788	214,5	327,7	6,36	53,62	30,31	382,6	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 260 A	68,2	10450	836,4	919,8	10,97	28,76	3668	282,1	430,2	6,50	60,62	52,37	516,4	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 260 B	93,0	14920	1148	1283	11,22	37,59	5135	395,0	602,2	6,58	73,12	123,8	753,7	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 260 C	132	22590	1643	1880	11,58	51,94	7680	581,8	888,3	6,75	92,12	336,4	1198	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 260 M	172	31310	2159	2524	11,94	66,89	10450	779,7	1192	6,90	111,1	719,0	1728	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 280 AA	61,2	10560	799,8	873,1	11,63	27,52	3664	261,7	399,4	6,85	55,12	36,22	590,1	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 280 A	76,4	13670	1013	1112	11,86	31,74	4763	340,2	518,1	7,00	62,12	62,10	785,4	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 280 B	103	19270	1376	1534	12,11	41,09	6595	471,0	717,6	7,09	74,62	143,7	1130	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 280 C	145	28810	1953	2225	12,47	56,26	9750	686,6	1047	7,26	93,62	382,5	1768	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 280 M	189	39550	2551	2966	12,83	72,03	13160	914,1	1397	7,40	112,6	807,3	2520	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 300 AA	69,8	13800	975,6	1065	12,46	32,37	4734	315,6	482,3	7,30	60,13	49,35	877,2	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 300 A	88,3	18260	1260	1383	12,74	37,28	6310	420,6	641,2	7,49	68,13	85,17	1200	1	3	3	1	3	3	✓	HI	HI
HE 300 B	117	25170	1678	1869	12,99	47,43	8563	570,9	870,1	7,58	80,63	185,0	1688	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 300 C	177	40950	2559	2927	13,49	68,48	13736	900,7	1374	7,81	105,6	598,3	2903	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 300 M	238	59200	3482	4078	13,98	90,53	19400	1252	1913	8,00	130,6	1408	4386	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 320 AA	74,2	16450	1093	1196	13,19	35,40	4959	330,6	505,7	7,24	61,63	55,87	1041	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 320 A	97,6	22930	1479	1628	13,58	41,13	6985	465,7	709,7	7,49	71,63	108,0	1512	1	2	3	1	2	3	✓	HI	HI
HE 320 B	127	30820	1926	2149	13,82	51,77	9239	615,9	939,1	7,57	84,13	225,1	2069	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 320 C	186	48710	2865	3274	14,34	72,25	14446	947	1445	7,81	108,6	679,1	3454	1	1	-	1	1	-	✓		
HE 320 M	245	68130	3796	4435	14,78	94,85	19710	1276	1951	7,95	132,6	1501	5004	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI

HI = HISTAR®

♦ W_{pl}: pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 209.
 ♦ W_{pl}: for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.
 ♦ W_{pl}: bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 209.

Poutrelles européennes à larges ailes (suite)

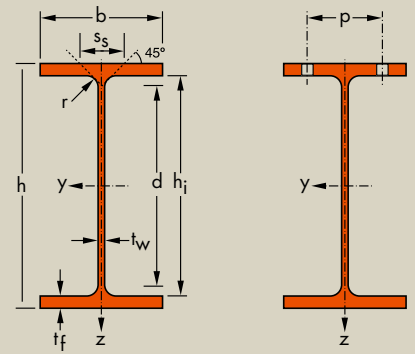
Dim.: HE A, HE B et HE M 100-1000 conformes à la norme antérieure EU 53-62; HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$ conformes à ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C conforme à PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 suivant norme AM
 Tolérances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 avec $G_{HE} > G_{HEM}$
 Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European wide flange beams (continued)

Dim.: HE A, HE B and HE M 100 - 1000 in accordance with former standard EU 53-62; HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$ in accordance with ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C in accordance with PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 in accordance with AM standard
 Tolerances: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 with $G_{HE} > G_{HEM}$
 Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische Breitflanschträger (Fortsetzung)

Abmessungen: HE A, HE B und HE M 100 - 1000 gemäß früherer Norm EU 53-62; HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$ gemäß ASTM A 6/A 6M - 07
 HE C gemäß PN-H-93452: 2005; HE AA 100-1000 gemäß AM Standard
 Toleranzen: EN 10034: 1993 HE 100 - 900; HE 1000 AA-M
 ASTM A 6/A 6M - 07 HE 1000 mit $G_{HE} > G_{HEM}$
 Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen						Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße						Surface Oberfläche	
	G	h	b	t _w	t _r	r	A	h _i	d	∅	p _{min}	p _{max}	A _L	A _G
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm ² x10 ²	mm	mm	mm	mm	mm	m ² /m	m ² /t
HE 340 AA*	78,9	320	300	8,5	11,5	27	100,5	297	243	M 27	118	198	1,777	22,52
HE 340 A	105	330	300	9,5	16,5	27	133,5	297	243	M 27	118	198	1,795	17,13
HE 340 B	134	340	300	12	21,5	27	170,9	297	243	M 27	122	198	1,810	13,49
HE 340 M	248	377	309	21	40	27	315,8	297	243	M 27	132	204	1,902	7,670
HE 360 AA*	83,7	339	300	9	12	27	106,6	315	261	M 27	118	198	1,814	21,67
HE 360 A	112	350	300	10	17,5	27	142,8	315	261	M 27	120	198	1,834	16,36
HE 360 B	142	360	300	12,5	22,5	27	180,6	315	261	M 27	122	198	1,849	13,04
HE 360 M	250	395	308	21	40	27	318,8	315	261	M 27	132	204	1,934	7,730
HE 400 AA*	92,4	378	300	9,5	13	27	117,7	352	298	M 27	118	198	1,891	20,46
HE 400 A	125	390	300	11	19	27	159,0	352	298	M 27	120	198	1,912	15,32
HE 400 B	155	400	300	13,5	24	27	197,8	352	298	M 27	124	198	1,927	12,41
HE 400 M	256	432	307	21	40	27	325,8	352	298	M 27	132	202	2,004	7,835
HE 450 AA*	99,7	425	300	10	13,5	27	127,1	398	344	M 27	120	198	1,984	19,89
HE 450 A	140	440	300	11,5	21	27	178,0	398	344	M 27	122	198	2,011	14,39
HE 450 B	171	450	300	14	26	27	218,0	398	344	M 27	124	198	2,026	11,84
HE 450 M	263	478	307	21	40	27	335,4	398	344	M 27	132	202	2,096	7,959
HE 500 AA*	107	472	300	10,5	14	27	136,9	444	390	M 27	120	198	2,077	19,33
HE 500 A	155	490	300	12	23	27	197,5	444	390	M 27	122	198	2,110	13,60
HE 500 B	187	500	300	14,5	28	27	238,6	444	390	M 27	124	198	2,125	11,34
HE 500 M	270	524	306	21	40	27	344,3	444	390	M 27	132	202	2,184	8,079
HE 550 AA*	120	522	300	11,5	15	27	152,8	492	438	M 27	122	198	2,175	18,13
HE 550 A	166	540	300	12,5	24	27	211,8	492	438	M 27	122	198	2,209	13,29
HE 550 B	199	550	300	15	29	27	254,1	492	438	M 27	124	198	2,224	11,15
HE 550 M	278	572	306	21	40	27	354,4	492	438	M 27	132	202	2,280	8,195
HE 600 AA*	129	571	300	12	15,5	27	164,1	540	486	M 27	122	198	2,272	17,64
HE 600 A	178	590	300	13	25	27	226,5	540	486	M 27	122	198	2,308	12,98
HE 600 B	212	600	300	15,5	30	27	270,0	540	486	M 27	126	198	2,323	10,96
HE 600 M	285	620	305	21	40	27	363,7	540	486	M 27	132	200	2,372	8,308
HE 600 x 337*	337	632	310	25,5	46	27	429,2	540	486	M 27	138	202	2,407	7,144
HE 600 x 399*	399	648	315	30	54	27	508,5	540	486	M 27	142	208	2,450	6,137

- Commande minimale: pour S235 JR, cf. conditions de livraison page 222; pour toute autre qualité 40t ou suivant accord.
- Minimum order: for the S235 JR grade cf. delivery conditions page 222; for any other grade 40t or upon agreement.
- Mindestbestellmenge: für S235 JR gemäß Lieferbedingungen Seite 222; für jede andere Güte 40t oder nach Vereinbarung.

Notations pages 205–209 / Bezeichnungen Seiten 205–209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte												Classification EN 1993-1-1: 2005						EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z						Pure bending y-y			Pure compression						
	G kg/m	I_y mm ⁴ x10 ⁴	$W_{el,y}$ mm ³ x10 ³	$W_{ply}♦$ mm ³ x10 ³	i_y mm x10	A_vz mm ² x10 ²	I_z mm ⁴ x10 ⁴	$W_{el,z}$ mm ³ x10 ³	$W_{pl,z}♦$ mm ³ x10 ³	i_z mm x10	s_s mm	I_t mm ⁴ x10 ⁴	I_w mm ⁶ x10 ⁹	S235	S355	S460	S235	S355				S460
HE 340 AA	78,9	19550	1222	1341	13,95	38,69	5185	345,6	529,3	7,18	63,13	63,07	1231	3	3	4	3	3	4	✓	✓	✓
HE 340 A	105	27690	1678	1850	14,40	44,95	7436	495,7	755,9	7,46	74,13	127,2	1824	1	1	3	1	1	3	✓	HI	HI
HE 340 B	134	36660	2156	2408	14,65	56,09	9690	646,0	985,7	7,53	86,63	257,2	2454	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 340 M	248	76370	4052	4718	15,55	98,63	19710	1276	1953	7,90	132,6	1506	5584	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 360 AA	83,7	23040	1359	1495	14,70	42,17	5410	360,7	553,0	7,12	64,63	70,99	1444	2	3	3	2	3	3	✓	✓	✓
HE 360 A	112	33090	1891	2088	15,22	48,96	7887	525,8	802,3	7,43	76,63	148,8	2177	1	1	2	1	1	2	✓	HI	HI
HE 360 B	142	43190	2400	2683	15,46	60,60	10140	676,1	1032	7,49	89,13	292,5	2883	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 360 M	250	84870	4297	4989	16,32	102,4	19520	1268	1942	7,83	132,6	1507	6137	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 400 AA	92,4	31250	1654	1824	16,30	47,95	5861	390,8	599,7	7,06	67,13	84,69	1948	2	3	3	2	3	4	✓	✓	✓
HE 400 A	125	45070	2311	2562	16,84	57,33	8564	570,9	872,9	7,34	80,63	189,0	2942	1	1	1	1	2	2	✓	HI	HI
HE 400 B	155	57680	2884	3232	17,08	69,98	10820	721,3	1104	7,40	93,13	355,7	3817	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 400 M	256	104100	4820	5571	17,88	110,2	19340	1260	1934	7,70	132,6	1515	7410	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 450 AA	99,7	41890	1971	2183	18,16	54,70	6088	405,8	624,4	6,92	68,63	95,61	2572	1	3	3	2	4	4	✓	✓	✓
HE 450 A	140	63720	2896	3216	18,92	65,78	9465	631,0	965,5	7,29	85,13	243,8	4148	1	1	1	1	2	3	✓	HI	HI
HE 450 B	171	79890	3551	3982	19,14	79,66	11720	781,4	1198	7,33	97,63	440,5	5258	1	1	1	1	1	2	✓	HI	HI
HE 450 M	263	131500	5501	6331	19,80	119,8	19340	1260	1939	7,59	132,6	1529	9251	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 500 AA	107	54640	2315	2576	19,98	61,91	6314	420,9	649,3	6,79	70,13	107,7	3304	1	3	3	2	4	4	✓	✓	✓
HE 500 A	155	86970	3550	3949	20,98	74,72	10370	691,1	1059	7,24	89,63	309,3	5643	1	1	1	1	3	4	✓	HI	HI
HE 500 B	187	107200	4287	4815	21,19	89,82	12620	841,6	1292	7,27	102,1	538,4	7018	1	1	1	1	2	2	✓	HI	HI
HE 500 M	270	161900	6180	7094	21,69	129,5	19150	1252	1932	7,46	132,6	1539	11190	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 550 AA	120	72870	2792	3128	21,84	72,66	6767	451,1	698,6	6,65	73,13	133,7	4338	1	2	3	3	4	4	✓	✓	✓
HE 550 A	166	111900	4146	4622	22,99	83,72	10820	721,3	1107	7,15	92,13	351,5	7189	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
HE 550 B	199	136700	4971	5591	23,20	100,1	13080	871,8	1341	7,17	104,6	600,3	8856	1	1	1	1	2	3	✓	HI	HI
HE 550 M	278	198000	6923	7933	23,64	139,6	19160	1252	1937	7,35	132,6	1554	13520	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 600 AA	129	91900	3218	3623	23,66	81,29	6993	466,2	724,5	6,53	74,63	149,8	5381	1	2	3	3	4	4	✓	✓	✓
HE 600 A	178	141200	4787	5350	24,97	93,21	11270	751,4	1156	7,05	94,63	397,8	8978	1	1	1	2	4	4	✓	HI	HI
HE 600 B	212	171000	5701	6425	25,17	110,8	13530	902,0	1391	7,08	107,1	667,2	10970	1	1	1	1	3	4	✓	HI	HI
HE 600 M	285	237400	7660	8772	25,55	149,7	18980	1244	1930	7,22	132,6	1564	15910	1	1	1	1	1	1	✓	HI	HI
HE 600 x 337	337	283200	8961	10380	25,69	180,5	22940	1480	2310	7,31	149,1	2451	19610	1	1	1	1	1	1	✓	HI	
HE 600 x 399	399	344600	10640	12460	26,03	213,6	28280	1796	2814	7,46	169,6	3966	24810	1	1	1	1	1	1	✓	HI	

HI = HISTAR®

♦ W_{pl} : pour un dimensionnement plastique, la section doit appartenir à la classe 1 ou 2 suivant la capacité de rotation requise. Voir page 209.
 ♦ W_{pl} : for plastic design, the shape must belong to class 1 or 2 according to the required rotation capacity. See page 209.
 ♦ W_{pl} : bei einer plastischen Berechnung muss das Profil je nach erforderlicher Rotationskapazität der Klasse 1 oder 2 angehören. Siehe Seite 209.

Cornières à ailes égales[▼] (suite)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

Equal leg angles[▼] (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

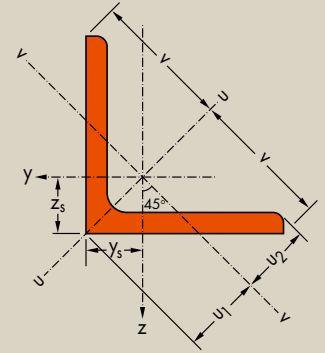
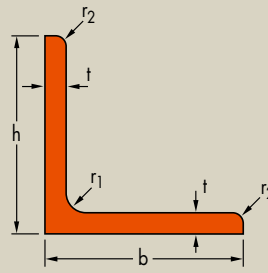
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Gleichschenkliger Winkelstahl[▼] (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	G kg/m	Dimensions Abmessungen				A mm ² x10 ²	Position des axes Position of axes Lage der Achsen				Surface Oberfläche	
		h=b mm	t mm	r ₁ mm	r ₂ mm		z _s =y _s mm x10	v mm x10	u ₁ mm x10	u ₂ mm x10	A _L m ² /m	A _G m ² /t
L 70 x 70 x 6 ⁻	6,38	70	6	9	4,5	8,13	1,93	4,95	2,73	2,46	0,272	42,68
L 70 x 70 x 7 ⁻	7,38	70	7	9	4,5	9,40	1,97	4,95	2,79	2,47	0,272	36,91
L 70 x 70 x 8 ^{*/▶}	8,37	70	8	10	5,0	10,7	2,01	4,95	2,84	2,47	0,271	32,41
L 70 x 70 x 9 ^{*/◄}	9,32	70	9	9	4,5	11,9	2,05	4,95	2,90	2,50	0,272	29,20
L 75 x 75 x 4 [*]	4,65	75	4	9	4,5	5,93	1,96	5,30	2,76	2,63	0,292	62,82
L 75 x 75 x 5 [*]	5,76	75	5	9	4,5	7,34	2,01	5,30	2,84	2,63	0,292	50,75
L 75 x 75 x 6 ⁻	6,85	75	6	9	4,5	8,73	2,05	5,30	2,90	2,64	0,292	42,66
L 75 x 75 x 7 [*]	7,93	75	7	9	4,5	10,1	2,10	5,30	2,96	2,65	0,292	36,88
L 75 x 75 x 8 ⁻	8,99	75	8	9	4,5	11,4	2,14	5,30	3,02	2,66	0,292	32,53
L 75 x 75 x 10 [*]	11,1	75	10	9	4,5	14,1	2,22	5,30	3,13	2,69	0,292	26,43
L 80 x 80 x 5 [*]	6,17	80	5	10	5,0	7,86	2,12	5,66	3,00	2,81	0,311	50,49
L 80 x 80 x 6 ^{*/◄}	7,34	80	6	10	5,0	9,35	2,17	5,66	3,07	2,81	0,311	42,44
L 80 x 80 x 7 [*]	8,49	80	7	10	5,0	10,8	2,21	5,66	3,13	2,82	0,311	36,67
L 80 x 80 x 8 ⁻	9,63	80	8	10	5,0	12,3	2,26	5,66	3,19	2,83	0,311	32,34
L 80 x 80 x 10 ⁻	11,9	80	10	10	5,0	15,1	2,34	5,66	3,30	2,85	0,311	26,26
L 90 x 90 x 6 ^{*/▶}	8,28	90	6	10	5,0	10,5	2,42	6,36	3,42	3,16	0,351	42,44
L 90 x 90 x 7 ⁻	9,61	90	7	11	5,5	12,2	2,45	6,36	3,47	3,16	0,351	36,48
L 90 x 90 x 8 ⁻	10,9	90	8	11	5,5	13,9	2,50	6,36	3,53	3,17	0,351	32,15
L 90 x 90 x 9 ⁻	12,2	90	9	11	5,5	15,5	2,54	6,36	3,59	3,18	0,351	28,77
L 90 x 90 x 10 ⁻	13,4	90	10	11	5,5	17,1	2,58	6,36	3,65	3,19	0,351	26,07
L 90 x 90 x 11 [*]	14,7	90	11	11	5,5	18,7	2,62	6,36	3,70	3,21	0,351	23,86
L 100 x 100 x 6 ^{*/▶}	9,26	100	6	12	6,0	11,8	2,64	7,07	3,74	3,51	0,390	42,09
L 100 x 100 x 7 [*]	10,7	100	7	12	6,0	13,7	2,69	7,07	3,81	3,51	0,390	36,33
L 100 x 100 x 8 ^{*/-}	12,2	100	8	12	6,0	15,5	2,74	7,07	3,87	3,52	0,390	32,00
L 100 x 100 x 10 ^{*/-}	15,0	100	10	12	6,0	19,2	2,82	7,07	3,99	3,54	0,390	25,92
L 100 x 100 x 12 ^{*/-}	17,8	100	12	12	6,0	22,7	2,90	7,07	4,11	3,57	0,390	21,86
L 110 x 110 x 8 ^{*/▶}	13,4	110	8	12	6,0	17,1	2,99	7,78	4,22	3,87	0,430	31,98
L 110 x 110 x 10 ^{*/◄}	16,6	110	10	13	6,5	21,2	3,06	7,78	4,33	3,88	0,429	25,79
L 110 x 110 x 12 [*]	19,7	110	12	13	6,5	25,1	3,15	7,78	4,45	3,91	0,429	21,73

▼ Autres dimensions sur demande. Le rayon r₂ peut être inférieur en fonction du procédé de laminage.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

◄ Profilé conforme à DIN 1028: 1994

▶ Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.

▲ Avec arêtes vives sur demande.

▼ Other dimensions on request. The r₂ radius may be smaller depending on the rolling process.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

◄ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

▶ Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage. Der Radius r₂ kann je nach Walzprozess kleiner sein.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

◄ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

▶ Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.



Notations pages 205-209 / Bezeichnungen Seiten 205-209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte									Classification EN 1993-1-1: 2005		EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001
	axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v				Pure compression				
	G	$I_y = I_z$	$W_{ely} = W_{elz}$	$i_y = i_z$	I_u	i_u	I_v	i_v	I_{yz}	S235	S355			
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴						
L 70 x 70 x 6	6,38	36,88	7,27	2,13	58,60	2,69	15,16	1,37	-21,72	2	3	✓		
L 70 x 70 x 7	7,38	42,30	8,41	2,12	67,19	2,67	17,41	1,36	-24,89	1	2	✓		
L 70 x 70 x 8	8,37	47,27	9,46	2,10	75,01	2,65	19,52	1,35	-27,75	1	1	✓		
L 70 x 70 x 9	9,32	52,47	10,60	2,10	83,18	2,65	21,76	1,35	-30,71	1	1	✓		
L 75x75x4	4,65	31,43	5,67	2,30	49,85	2,90	13,01	1,48	-18,42	4	4	✓		
L 75x75x5	5,76	38,77	7,06	2,30	61,59	2,90	15,96	1,47	-22,82	3	3	✓		
L 75 x 75 x 6	6,85	45,83	8,41	2,29	72,84	2,89	18,82	1,47	-27,01	2	3	✓		
L 75x75x7	7,93	52,61	9,74	2,28	83,60	2,88	21,62	1,46	-30,99	1	3	✓		
L 75 x 75 x 8	8,99	59,13	11,03	2,27	93,91	2,86	24,35	1,46	-34,78	1	1	✓		
L 75x75x10	11,1	71,43	13,52	2,25	113,2	2,83	29,68	1,45	-41,75	1	1	✓		
L 80 x 80 x 5	6,17	47,14	8,02	2,45	74,83	3,09	19,45	1,57	-27,69	3	4	✓		
L 80 x 80 x 6	7,34	55,82	9,57	2,44	88,69	3,08	22,96	1,57	-32,87	3	3	✓		
L 80 x 80 x 7	8,49	64,19	11,09	2,44	102,0	3,07	26,38	1,56	-37,81	1	3	✓		
L 80 x 80 x 8	9,63	72,25	12,58	2,43	114,8	3,06	29,72	1,56	-42,52	1	2	✓		
L 80 x 80 x 10	11,9	87,50	15,45	2,41	138,8	3,03	36,24	1,55	-51,27	1	1	✓		
L 90 x 90 x 6	8,28	80,72	12,26	2,77	128,3	3,49	33,16	1,77	-47,57	3	4	✓		
L 90 x 90 x 7	9,61	92,55	14,13	2,75	147,1	3,47	38,03	1,76	-54,52	3	3	✓		
L 90 x 90 x 8	10,9	104,4	16,05	2,74	165,9	3,46	42,89	1,76	-61,50	1	3	✓		
L 90 x 90 x 9	12,2	115,8	17,93	2,73	184,0	3,44	47,65	1,75	-68,19	1	2	✓		
L 90 x 90 x 10	13,4	126,9	19,77	2,72	201,5	3,43	52,33	1,75	-74,59	1	1	✓		
L 90 x 90 x 11	14,7	137,6	21,57	2,71	218,3	3,42	56,94	1,74	-80,70	1	1	✓		
L 100 x 100 x 6	9,26	111,1	15,09	3,07	176,3	3,87	45,80	1,97	-65,25	3	4	✓		
L 100 x 100 x 7	10,7	128,2	17,54	3,06	203,7	3,86	52,72	1,96	-75,48	3	3	✓		
L 100 x 100 x 8	12,2	144,8	19,94	3,06	230,2	3,85	59,49	1,96	-85,35	2	3	✓		
L 100 x 100 x 10	15,0	176,7	24,62	3,04	280,7	3,83	72,66	1,95	-104,0	1	2	✓		
L 100 x 100 x 12	17,8	206,7	29,12	3,02	327,9	3,80	85,44	1,94	-121,3	1	1	✓		
L 110 x 110 x 8	13,4	195,3	24,37	3,38	310,5	4,26	80,11	2,16	-115,2	3	3	✓		
L 110 x 110 x 10	16,6	238,0	29,99	3,35	378,2	4,23	97,74	2,15	-140,2	1	3	✓		
L 110 x 110 x 12	19,7	279,1	35,54	3,33	443,2	4,20	115,0	2,14	-164,1	1	1	✓		

Cornières à ailes égales▼ (suite)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolérances: EN 10056-2: 1993

Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998

Tolerances: EN 10056-2: 1993

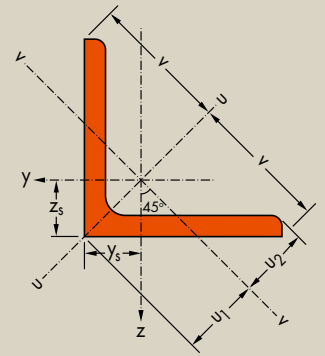
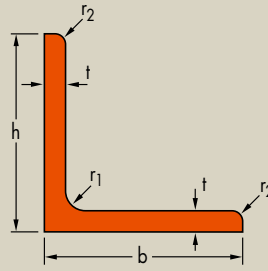
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Gleichschenkliger Winkelstahl▼ (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998

Toleranzen: EN 10056-2: 1993

Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen					A mm ² x10 ²	Position des axes Position of axes Lage der Achsen				Surface Oberfläche	
	G kg/m	h=b mm	t mm	r ₁ mm	r ₂ mm		Z _s =Y _s mm x10	v mm x10	u ₁ mm x10	u ₂ mm x10	A _L m ² /m	A _G m ² /t
L 120 x 120 x 8 ^{*/▶/x}	14,7	120	8	13	6,5	18,7	3,23	8,49	4,56	4,22	0,469	31,87
L 120 x 120 x 10 ^{-/x}	18,2	120	10	13	6,5	23,2	3,31	8,49	4,69	4,24	0,469	25,76
L 120 x 120 x 11 ^{◀/x}	19,9	120	11	13	6,5	25,4	3,36	8,49	4,75	4,25	0,469	23,54
L 120 x 120 x 12 ^{-/x}	21,6	120	12	13	6,5	27,5	3,40	8,49	4,80	4,26	0,469	21,69
L 120 x 120 x 13 ^{*/x}	23,3	120	13	13	6,5	29,7	3,44	8,49	4,86	4,28	0,469	20,12
L 120 x 120 x 15 ^{*/x}	26,6	120	15	13	6,5	33,9	3,51	8,49	4,97	4,31	0,469	17,60
L 120 x 120 x 16 ^{*/x}	28,3	120	16	13	6,5	36,0	3,55	8,49	5,02	4,32	0,469	16,58
L 130 x 130 x 10 [*]	19,8	130	10	14	7,0	25,2	3,55	9,19	5,03	4,58	0,508	25,67
L 130 x 130 x 12 ^{*/-}	23,5	130	12	14	7,0	30,0	3,64	9,19	5,15	4,60	0,508	21,59
L 130 x 130 x 13 [*]	25,4	130	13	14	7,0	32,3	3,68	9,19	5,20	4,62	0,508	20,02
L 130 x 130 x 14 ^{*/▶}	27,2	130	14	14	7,0	34,7	3,72	9,19	5,26	4,63	0,508	18,68
L 130 x 130 x 16 [*]	30,8	130	16	14	7,0	39,3	3,80	9,19	5,37	4,66	0,508	16,49
L 150 x 150 x 10 ^{+/-/x}	23,0	150	10	16	8,0	29,3	4,03	10,61	5,71	5,28	0,586	25,51
L 150 x 150 x 12 ^{+/-/x}	27,3	150	12	16	8,0	34,8	4,12	10,61	5,83	5,29	0,586	21,44
L 150 x 150 x 13 ^{+/x}	29,5	150	13	16	8,0	37,6	4,17	10,61	5,89	5,30	0,586	19,87
L 150 x 150 x 14 ^{+/◀/x}	31,6	150	14	16	8,0	40,3	4,21	10,61	5,95	5,32	0,586	18,53
L 150 x 150 x 15 ^{+/-/x}	33,8	150	15	16	8,0	43,0	4,25	10,61	6,01	5,33	0,586	17,36
L 150 x 150 x 16 ^{+/x}	35,9	150	16	16	8,0	45,7	4,29	10,61	6,06	5,34	0,586	16,34
L 150 x 150 x 18 ^{+/x}	40,1	150	18	16	8,0	51,0	4,37	10,61	6,17	5,37	0,586	14,63
L 150 x 150 x 20 ^{+/x}	44,2	150	20	16	8,0	56,3	4,44	10,61	6,28	5,41	0,586	13,27
L 160 x 160 x 14 ⁺	33,9	160	14	17	8,5	43,2	4,45	11,31	6,29	5,66	0,625	18,46
L 160 x 160 x 15 ^{+/-}	36,2	160	15	17	8,5	46,1	4,49	11,31	6,35	5,67	0,625	17,30
L 160 x 160 x 16 ⁺	38,4	160	16	17	8,5	49,0	4,53	11,31	6,41	5,69	0,625	16,28
L 160 x 160 x 17 ^{+/◀}	40,7	160	17	17	8,5	51,8	4,57	11,31	6,46	5,70	0,625	15,37

▼ Autres dimensions sur demande. Le rayon r₂ peut être inférieur en fonction du procédé de laminage.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998.

◀ Profilé conforme à DIN 1028: 1994.

▶ Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974.

▲ Avec arêtes vives sur demande.

x Profilé disponible en S460M suivant accord.

▼ Other dimensions on request. The r₂ radius may be smaller depending on the rolling process.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

◀ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

▶ Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

x Section available in S460M upon agreement.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage. Der Radius r₂ kann je nach Walzprozess kleiner sein.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

◀ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

▶ Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.

x Profil in S460M nach Vereinbarung.



Notations pages 205–209 / Bezeichnungen Seiten 205–209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte								Classification EN 1993-1-1: 2005			EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v		I _{yz}	Pure compression						
	I _y = I _z	W _{el,y} = W _{el,z}	i _y = i _z	I _u	i _u	I _v	i _v		S235	S355	S460				
G kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴							
L 120 x 120 x 8	14,7	255,4	29,11	3,69	406,0	4,65	104,8	2,37	-150,6	3	4	4	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 10	18,2	312,9	36,03	3,67	497,6	4,63	128,3	2,35	-184,6	2	3	3	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 11	19,9	340,6	39,41	3,66	541,5	4,62	139,8	2,35	-200,9	1	3	3	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 12	21,6	367,7	42,73	3,65	584,3	4,61	151,1	2,34	-216,6	1	2	3	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 13	23,3	394,0	46,01	3,64	625,8	4,59	162,2	2,34	-231,8	1	1	3	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 15	26,6	444,9	52,43	3,62	705,6	4,56	184,2	2,33	-260,7	1	1	1	✓	✓	✓
L 120 x 120 x 16	28,3	469,4	55,57	3,61	743,8	4,54	195,0	2,33	-274,4	1	1	1	✓	✓	✓
L 130 x 130 x 10	19,8	401,1	42,47	3,99	637,8	5,03	164,5	2,55	-236,7	3	3		✓		
L 130 x 130 x 12	23,5	472,2	50,44	3,97	750,6	5,00	193,7	2,54	-278,4	1	3		✓		
L 130 x 130 x 13	25,4	506,5	54,35	3,96	804,9	4,99	208,1	2,54	-298,4	1	2		✓		
L 130 x 130 x 14	27,2	540,1	58,20	3,95	857,8	4,98	222,3	2,53	-317,8	1	1		✓		
L 130 x 130 x 16	30,8	605,0	65,75	3,93	959,7	4,94	250,3	2,53	-354,7	1	1		✓		
L 150 x 150 x 10	23,0	624,0	56,91	4,62	992,0	5,82	256,1	2,96	-368,0	3	4	4	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 12	27,3	736,9	67,75	4,60	1172	5,80	302,1	2,94	-434,9	3	3	3	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 13	29,5	791,7	73,07	4,59	1259	5,79	324,6	2,94	-467,1	2	3	3	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 14	31,6	845,4	78,33	4,58	1344	5,77	346,9	2,93	-498,5	1	3	3	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 15	33,8	898,1	83,52	4,57	1427	5,76	369,0	2,93	-529,1	1	2	3	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 16	35,9	949,7	88,65	4,56	1509	5,74	390,8	2,92	-558,9	1	2	3	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 18	40,1	1050	98,74	4,54	1666	5,71	433,8	2,92	-616,1	1	1	2	✓	✓	✓
L 150 x 150 x 20	44,2	1146	108,6	4,51	1817	5,68	476,2	2,91	-670,2	1	1	1	✓	✓	✓
L 160 x 160 x 14	33,9	1034	89,50	4,89	1644	6,17	423,9	3,13	-609,9	2	3		✓		
L 160 x 160 x 15	36,2	1099	95,47	4,88	1747	6,16	450,9	3,13	-647,9	1	3		✓		
L 160 x 160 x 16	38,4	1163	101,4	4,87	1848	6,14	477,7	3,12	-685,0	1	2		✓		
L 160 x 160 x 17	40,7	1225	107,2	4,86	1947	6,13	504,2	3,12	-721,2	1	2		✓		

Cornières à ailes égales▼ (suite)

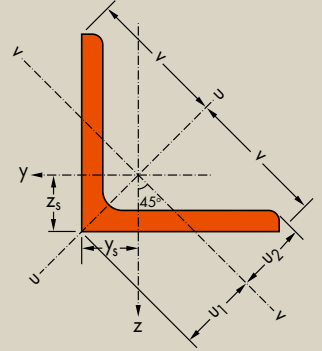
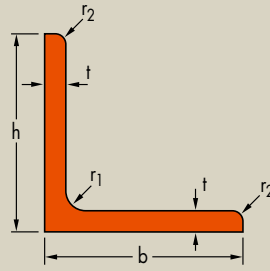
Dimensions: EN 10056-1: 1998
Tolérances: EN 10056-2: 1993
Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

Equal leg angles▼ (continued)

Dimensions: EN 10056-1: 1998
Tolérances: EN 10056-2: 1993
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Gleichschenkliger Winkelstahl▼ (Fortsetzung)

Abmessungen: EN 10056-1: 1998
Toleranzen: EN 10056-2: 1993
Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen					Position des axes Position of axes Lage der Achsen					Surface Oberfläche	
	G kg/m	h=b mm	t mm	r ₁ mm	r ₂ mm	A mm ² x10 ²	z _s =y _s mm x10	v mm x10	u ₁ mm x10	u ₂ mm x10	A _L m ² /m	A _G m ² /t
L 180 x 180 x 13 ^{+/-x}	35,7	180	13	18	9,0	45,5	4,90	12,73	6,93	6,35	0,705	19,74
L 180 x 180 x 14 ^{+/-x}	38,3	180	14	18	9,0	48,8	4,94	12,73	6,99	6,36	0,705	18,40
L 180 x 180 x 15 ^{+/-x}	40,9	180	15	18	9,0	52,1	4,98	12,73	7,05	6,37	0,705	17,23
L 180 x 180 x 16 ^{+/-/-x}	43,5	180	16	18	9,0	55,4	5,02	12,73	7,10	6,38	0,705	16,20
L 180 x 180 x 17 ^{+/-x}	46,0	180	17	18	9,0	58,7	5,06	12,73	7,16	6,40	0,705	15,30
L 180 x 180 x 18 ^{+/-/-x}	48,6	180	18	18	9,0	61,9	5,10	12,73	7,22	6,41	0,705	14,50
L 180 x 180 x 19 ^{+/-x}	51,1	180	19	18	9,0	65,1	5,14	12,73	7,27	6,42	0,705	13,78
L 180 x 180 x 20 ^{+/-x}	53,7	180	20	18	9,0	68,3	5,18	12,73	7,33	6,44	0,705	13,13
L 200 x 200 x 15 ^{+/-x}	45,6	200	15	18	9,0	58,1	5,48	14,14	7,75	7,08	0,785	17,20
L 200 x 200 x 16 ^{+/-/-x}	48,5	200	16	18	9,0	61,8	5,52	14,14	7,81	7,09	0,785	16,18
L 200 x 200 x 17 ^{+/-x}	51,4	200	17	18	9,0	65,5	5,56	14,14	7,87	7,10	0,785	15,27
L 200 x 200 x 18 ^{+/-/-x}	54,2	200	18	18	9,0	69,1	5,60	14,14	7,93	7,12	0,785	14,46
L 200 x 200 x 19 ^{+/-x}	57,1	200	19	18	9,0	72,7	5,64	14,14	7,98	7,13	0,785	13,74
L 200 x 200 x 20 ^{+/-/-x}	59,9	200	20	18	9,0	76,3	5,68	14,14	8,04	7,15	0,785	13,09
L 200 x 200 x 21 ^{+/-x}	62,8	200	21	18	9,0	79,9	5,72	14,14	8,09	7,16	0,785	12,50
L 200 x 200 x 22 ^{+/-x}	65,6	200	22	18	9,0	83,5	5,76	14,14	8,15	7,18	0,785	11,97
L 200 x 200 x 23 ^{+/-x}	68,3	200	23	18	9,0	87,1	5,80	14,14	8,20	7,19	0,785	11,48
L 200 x 200 x 24 ^{+/-/-x}	71,1	200	24	18	9,0	90,6	5,84	14,14	8,26	7,21	0,785	11,03
L 200 x 200 x 25 ^{+/-x}	73,9	200	25	18	9,0	94,1	5,88	14,14	8,31	7,23	0,785	10,62
L 200 x 200 x 26 ^{+/-x}	76,6	200	26	18	9,0	97,6	5,91	14,14	8,36	7,25	0,785	10,24
L 250 x 250 x 20 ⁺	75,6	250	20	18	9,0	96,3	6,93	17,68	9,81	8,91	0,985	13,02
L 250 x 250 x 21 ⁺	79,2	250	21	18	9,0	101	6,97	17,68	9,86	8,93	0,985	12,43
L 250 x 250 x 22 ⁺	82,8	250	22	18	9,0	106	7,01	17,68	9,92	8,94	0,985	11,89
L 250 x 250 x 23 ⁺	86,4	250	23	18	9,0	110	7,05	17,68	9,97	8,96	0,985	11,40
L 250 x 250 x 24 ⁺	90,0	250	24	18	9,0	115	7,09	17,68	10,03	8,98	0,985	10,95
L 250 x 250 x 25 ⁺	93,5	250	25	18	9,0	119	7,13	17,68	10,08	8,99	0,985	10,53
L 250 x 250 x 26 ⁺	97,0	250	26	18	9,0	124	7,17	17,68	10,13	9,01	0,985	10,15
L 250 x 250 x 27 ⁺	101	250	27	18	9,0	128	7,20	17,68	10,19	9,03	0,985	9,79
L 250 x 250 x 28 ^{+/-}	104	250	28	18	9,0	133	7,24	17,68	10,24	9,04	0,985	9,47
L 250 x 250 x 35 ^{+/-}	128	250	35	18	9,0	163	7,50	17,68	10,61	9,17	0,985	7,69

▼ Autres dimensions sur demande. Le rayon r₂ peut être inférieur en fonction du procédé de laminage.

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.

+ Commande minimale: 40t par profilé et qualité ou suivant accord.

- Profilé conforme à EN 10056-1: 1998

▶ Profilé conforme à DIN 1028: 1994

► Profilé conforme à CSN 42 5541: 1974

▲ Avec arêtes vives sur demande.

x Profilé disponible en S460M suivant accord.

▼ Other dimensions on request. The r₂ radius may be smaller depending on the rolling process.

* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.

+ Minimum order: 40t per section and grade or upon agreement.

- Section in accordance with EN 10056-1: 1998.

▶ Section in accordance with DIN 1028: 1994.

► Section in accordance with CSN 42 5541: 1974.

▲ Available with sharp edges.

x Section available in S460M upon agreement.

▼ Andere Abmessungen auf Anfrage. Der Radius r₂ kann je nach Walzprozess kleiner sein.

* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

+ Mindestbestellmenge: 40t pro Profil und Güte oder nach Vereinbarung.

- Profil gemäß EN 10056-1: 1998.

▶ Profil gemäß DIN 1028: 1994.

► Profil gemäß CSN 42 5541: 1974.

▲ Auch mit scharfen Kanten erhältlich.

x Profil in S460M nach Vereinbarung.



Notations pages 205-209 / Bezeichnungen Seiten 205-209

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte								Classification EN 1993-1-1: 2005			EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe y-y / axe z-z axis y-y / axis z-z Achse y-y / Achse z-z			axe u-u axis u-u Achse u-u		axe v-v axis v-v Achse v-v		I _{yz}	Pure compression						
	I _y = I _z	W _{ely} = W _{elz}	i _y = i _z	I _u	i _u	I _v	i _v		S235	S355	S460				
G kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴	mm x10	mm ⁴ x10 ⁴							
L 180 x 180 x 13	35,7	1396	106,5	5,54	2220	6,99	571,7	3,55	-824,4	3	3	4	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 14	38,3	1493	114,3	5,53	2375	6,98	611,4	3,54	-881,8	3	3	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 15	40,9	1589	122,0	5,52	2527	6,96	650,6	3,53	-938,0	2	3	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 16	43,5	1682	129,7	5,51	2675	6,95	689,4	3,53	-993,0	2	3	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 17	46,0	1775	137,2	5,50	2822	6,94	727,9	3,52	-1047	1	3	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 18	48,6	1866	144,7	5,49	2965	6,92	766,0	3,52	-1100	1	2	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 19	51,1	1955	152,1	5,48	3106	6,91	803,8	3,51	-1151	1	2	3	✓	✓	✓
L 180 x 180 x 20	53,7	2043	159,4	5,47	3244	6,89	841,3	3,51	-1202	1	1	2	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 15	45,6	2209	152,2	6,17	3516	7,78	903,0	3,94	-1306	3	3	4	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 16	48,5	2341	161,7	6,16	3725	7,76	957,2	3,94	-1384	3	3	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 17	51,4	2472	171,2	6,14	3932	7,75	1011	3,93	-1461	2	3	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 18	54,2	2600	180,6	6,13	4135	7,74	1064	3,92	-1535	2	3	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 19	57,1	2726	189,9	6,12	4335	7,72	1117	3,92	-1609	1	3	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 20	59,9	2851	199,1	6,11	4532	7,70	1169	3,91	-1681	1	2	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 21	62,8	2973	208,2	6,10	4725	7,69	1221	3,91	-1752	1	2	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 22	65,6	3094	217,3	6,09	4915	7,67	1273	3,90	-1821	1	1	3	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 23	68,3	3213	226,3	6,08	5102	7,66	1324	3,90	-1889	1	1	2	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 24	71,1	3331	235,2	6,06	5286	7,64	1375	3,90	-1955	1	1	2	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 25	73,9	3446	244,0	6,05	5467	7,62	1426	3,89	-2020	1	1	1	✓	✓	✓
L 200 x 200 x 26	76,6	3560	252,7	6,04	5644	7,61	1476	3,89	-2084	1	1	1	✓	✓	✓
L 250 x 250 x 20	75,6	5743	317,9	7,72	9144	9,74	2341	4,93	-3401	3	3		✓		
L 250 x 250 x 21	79,2	5997	332,7	7,71	9548	9,73	2447	4,92	-3550	3	3		✓		
L 250 x 250 x 22	82,8	6249	347,4	7,70	9946	9,71	2552	4,92	-3697	2	3		✓		
L 250 x 250 x 23	86,4	6497	362,0	7,68	10339	9,69	2655	4,91	-3842	2	3		✓		
L 250 x 250 x 24	90,0	6743	376,5	7,67	10727	9,68	2759	4,91	-3984	1	3		✓		
L 250 x 250 x 25	93,5	6986	390,9	7,66	11110	9,66	2861	4,90	-4124	1	3		✓		
L 250 x 250 x 26	97,0	7226	405,2	7,65	11488	9,64	2963	4,90	-4262	1	2		✓		
L 250 x 250 x 27	101	7463	419,3	7,63	11861	9,62	3065	4,89	-4398	1	2		✓		
L 250 x 250 x 28	104	7697	433,4	7,62	12229	9,61	3166	4,89	-4532	1	1		✓		
L 250 x 250 x 35	128	9264	529,4	7,54	14668	9,48	3859	4,86	-5405	1	1		✓		

Fers U normaux européens

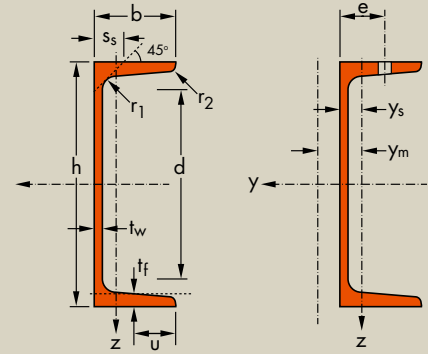
Dimensions: DIN 1026-1: 2000, NF A 45-202: 1986
Tolérances: EN 10279: 2000
Etat de surface: conforme à EN 10163-3: 2004, classe C, sous-classe 1

European standard channels

Dimensions: DIN 1026-1: 2000, NF A 45-202: 1986
Tolérances: EN 10279: 2000
Surface condition: according to EN 10163-3: 2004, class C, subclass 1

Europäische U-Stahl-Normalprofile

Abmessungen: DIN 1026-1: 2000, NF A 45-202: 1986
Tolérances: EN 10279: 2000
Oberflächenbeschaffenheit: Gemäß EN 10163-3: 2004, Klasse C, Untergruppe 1



Désignation Designation Bezeichnung	Dimensions Abmessungen							A mm ² x10 ²	Dimensions de construction Dimensions for detailing Konstruktionsmaße				Surface Oberfläche	
	G kg/m	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r ₁ mm	r ₂ mm		d mm	∅	e _{min} mm	e _{max} mm	A _L m ² /m	A _G m ² /t
UPN 50*	5,59	50	38	5,0	7,0	7,0	3,5	7,12	21	-	-	-	0,232	42,22
UPN 65*	7,09	65	42	5,5	7,5	7,5	4,0	9,03	34	-	-	-	0,273	39,57
UPN 80*	8,64	80	45	6,0	8,0	8,0	4,0	11,0	47	-	-	-	0,312	37,10
UPN 100*	10,6	100	50	6,0	8,5	8,5	4,5	13,5	64	-	-	-	0,372	35,10
UPN 120	13,4	120	55	7,0	9,0	9,0	4,5	17,0	82	-	-	-	0,434	32,52
UPN 140	16,0	140	60	7,0	10,0	10,0	5,0	20,4	98	M 12	33	37	0,489	30,54
UPN 160	18,8	160	65	7,5	10,5	10,5	5,5	24,0	115	M 12	34	42	0,546	28,98
UPN 180	22,0	180	70	8,0	11,0	11,0	5,5	28,0	133	M 16	38	41	0,611	27,80
UPN 200	25,3	200	75	8,5	11,5	11,5	6,0	32,2	151	M 16	39	46	0,661	26,15
UPN 220	29,4	220	80	9,0	12,5	12,5	6,5	37,4	167	M 16	40	51	0,718	24,46
UPN 240	33,2	240	85	9,5	13,0	13,0	6,5	42,3	184	M 20	46	50	0,775	23,34
UPN 260	37,9	260	90	10,0	14,0	14,0	7,0	48,3	200	M 22	50	52	0,834	22,00
UPN 280	41,8	280	95	10,0	15,0	15,0	7,5	53,3	216	M 22	52	57	0,890	21,27
UPN 300	46,2	300	100	10,0	16,0	16,0	8,0	58,8	232	M 24	55	59	0,950	20,58
UPN 320*	59,5	320	100	14,0	17,5	17,5	8,8	75,8	246	M 22	58	62	0,982	16,50
UPN 350	60,6	350	100	14,0	16,0	16,0	8,0	77,3	282	M 22	56	62	1,05	17,25
UPN 380*	63,1	380	102	13,5	16,0	16,0	8,0	80,4	313	M 24	59	60	1,11	17,59
UPN 400*	71,8	400	110	14,0	18,0	18,0	9,0	91,5	324	M 27	61	62	1,18	16,46

	h ≤ 300	h > 300
u	$\frac{b}{2}$	$\frac{b - t_w}{2}$
Inclinaison des ailes Flange slope Flanschneigung	8%	5%

* Tonnage minimum et conditions de livraison nécessitent un accord préalable.
* Minimum tonnage and delivery conditions upon agreement.
* Mindestbestellmenge und Lieferbedingungen nach Vereinbarung.

Notations pages 205–209 / Bezeichnungen Seiten 205–209

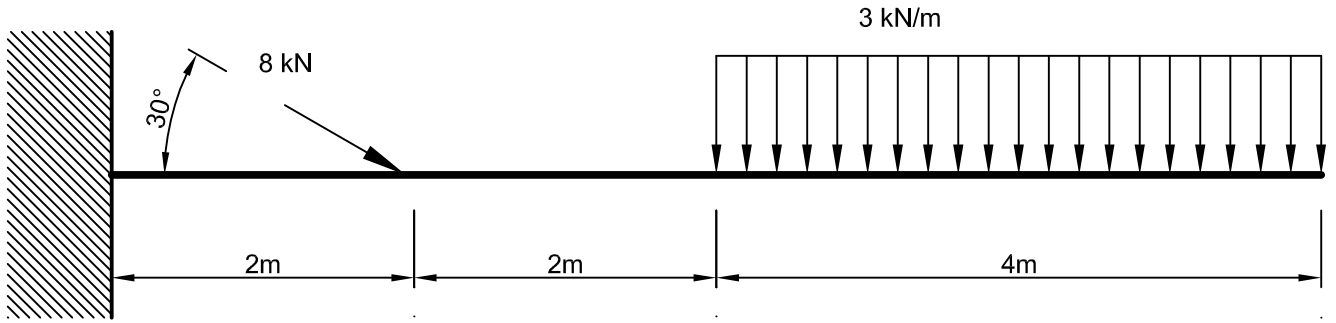
Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Section properties / Statische Kennwerte														Classification EN 1993-1-1: 2005				EN 10025-2: 2004	EN 10025-4: 2004	EN 10225:2001	
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y						axe faible z-z weak axis z-z schwache Achse z-z				Pure bending y-y		Pure compression									
	G	I_y	$W_{el,y}$	$W_{pl,y}$ ■	i_y	A_{vz}	I_z	$W_{el,z}$	$W_{pl,z}$ '	i_z	s_s	I_t	I_w	y_s	y_m	S235	S355	S235				S355
kg/m	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm ² x10 ²	mm ⁴ x10 ⁴	mm ³ x10 ³	mm ³ x10 ³	mm x10	mm	mm ⁴ x10 ⁴	mm ⁶ x10 ⁹	mm x10	mm x10								
UPN 50	5,59	26,4	10,6	13,1	1,92	2,77	9,12	3,75	6,78	1,13	16,7	1,12	0,03	1,37	2,47	1	1	1	1	✓		
UPN 65	7,09	57,5	17,7	21,7	2,52	3,68	14,1	5,07	9,38	1,25	18,0	1,61	0,08	1,42	2,60	1	1	1	1	✓		
UPN 80	8,64	106	26,5	32,3	3,10	4,90	19,4	6,36	11,9	1,33	19,4	2,20	0,18	1,45	2,67	1	1	1	1	✓		
UPN 100	10,6	206	41,2	49,0	3,91	6,46	29,3	8,49	16,2	1,47	20,3	2,81	0,41	1,55	2,93	1	1	1	1	✓		
UPN 120	13,4	364	60,7	72,6	4,62	8,80	43,2	11,1	21,2	1,59	22,2	4,15	0,90	1,60	3,03	1	1	1	1	✓		
UPN 140	16,0	605	86,4	103	5,45	10,4	62,7	14,8	28,3	1,75	23,9	5,68	1,80	1,75	3,37	1	1	1	1	✓		
UPN 160	18,8	925	116	138	6,21	12,6	85,3	18,3	35,2	1,89	25,3	7,39	3,26	1,84	3,56	1	1	1	1	✓		
UPN 180	22,0	1350	150	179	6,95	15,1	114	22,4	42,9	2,02	26,7	9,55	5,57	1,92	3,75	1	1	1	1	✓		
UPN 200	25,3	1910	191	228	7,70	17,7	148	27,0	51,8	2,14	28,1	11,9	9,07	2,01	3,94	1	1	1	1	✓		
UPN 220	29,4	2690	245	292	8,48	20,6	197	33,6	64,1	2,30	30,3	16,0	14,6	2,14	4,20	1	1	1	1	✓		
UPN 240	33,2	3600	300	358	9,22	23,7	248	39,6	75,7	2,42	31,7	19,7	22,1	2,23	4,39	1	1	1	1	✓		
UPN 260	37,9	4820	371	442	9,99	27,1	317	47,7	91,6	2,56	33,9	25,5	33,3	2,36	4,66	1	1	1	1	✓		
UPN 280	41,8	6280	448	532	10,9	29,3	399	57,2	109	2,74	35,6	31,0	48,5	2,53	5,02	1	1	1	1	✓		
UPN 300	46,2	8030	535	632	11,7	31,8	495	67,8	130	2,90	37,3	37,4	69,1	2,70	5,41	1	1	1	1	✓		
UPN 320	59,5	10870	679	826	12,1	47,1	597	80,6	152	2,81	43,0	66,7	96,1	2,60	4,82	1	1	1	1	✓		
UPN 350	60,6	12840	734	918	12,9	50,8	570	75,0	143	2,72	40,7	61,2	114	2,40	4,45	1	1	1	1	✓		
UPN 380	63,1	15760	829	1010	14,0	53,2	615	78,7	148	2,77	40,3	59,1	146	2,38	4,58	1	1	1	1	✓		
UPN 400	71,8	20350	1020	1240	14,9	58,6	846	102	190	3,04	44,0	81,6	221	2,65	5,11	1	1	1	1	✓		

- $W_{pl,y}$ est calculé selon l'hypothèse d'un diagramme de contraintes bi-rectangulaire et n'est applicable que si deux ou plusieurs fers U sont associés de façon à constituer une section doublement symétrique pour laquelle un moment de flexion agissant dans le plan du centre de gravité n'engendre pas de torsion.
- $W_{pl,y}$ is determined assuming a bi-rectangular stress block distribution. Thus, the given value applies only if two or more channels are combined in such a way to form a double symmetric cross-section so that the bending moment acting in the plane of the centre of gravity will not lead to torsion.
- Für die Berechnung von $W_{pl,y}$ wurde eine doppelrechteckige Spannungsverteilung angenommen. Der angegebene Wert ist daher nur anwendbar, wenn zwei oder mehr U-Profile so miteinander kombiniert sind, dass sie einen doppelsymmetrischen Querschnitt bilden, womit ein Biegemoment, das in der Schwerpunktebene angreift, keine Torsion hervorruft.

Examen de sciences
des matériaux de mai
2013 avec correction

Question 1 : Tracer les diagrammes NVM de la poutre suivante

NOM



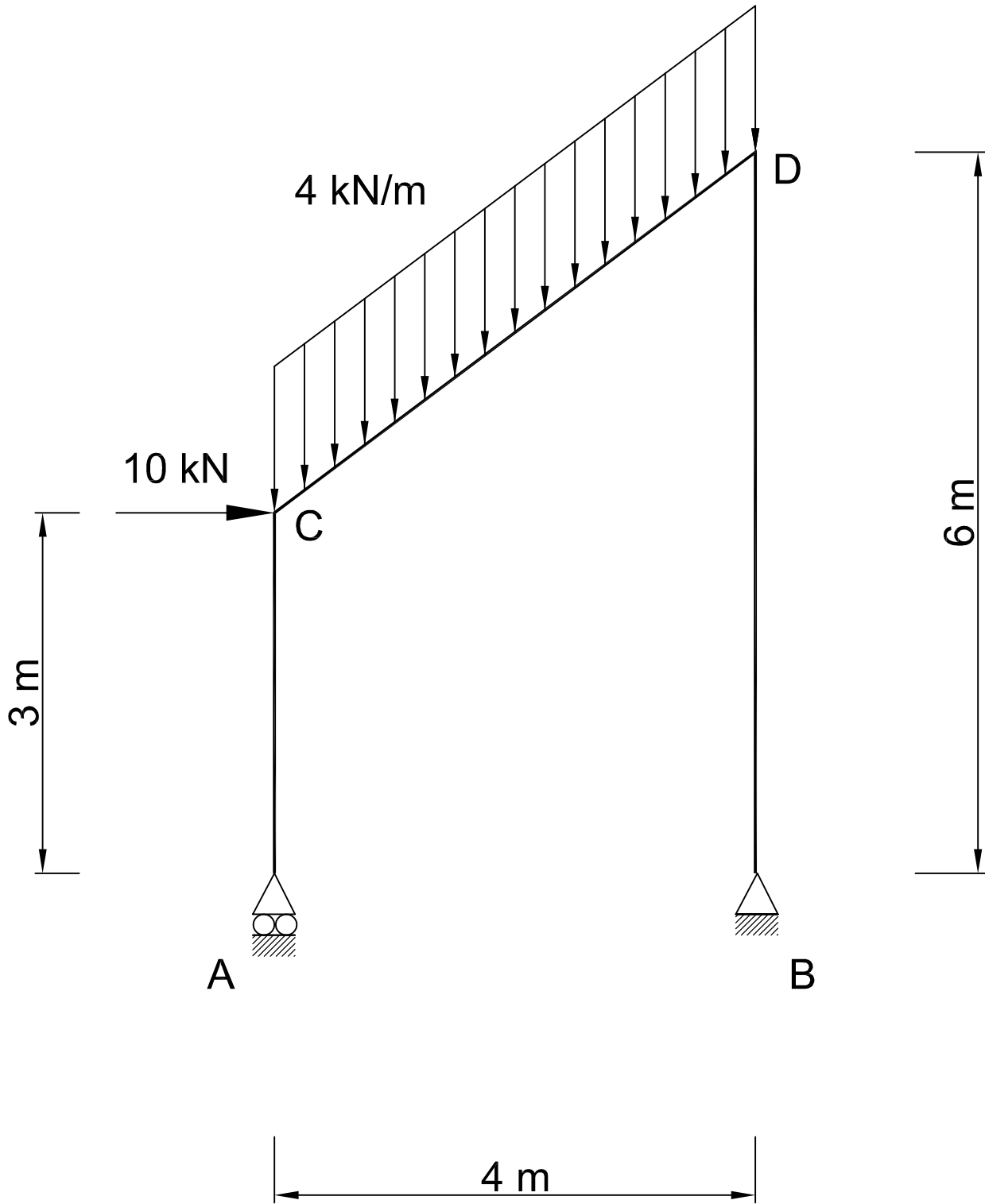
N

V

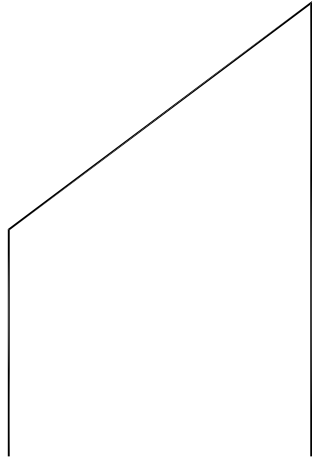
M

Question 2 : tracer les diagrammes NVM du portique suivant

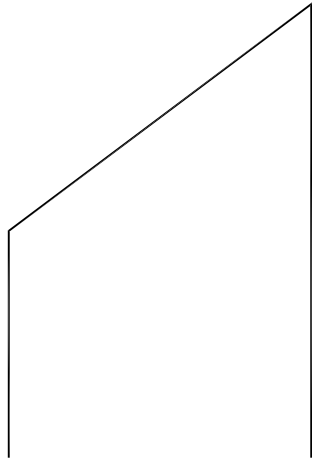
NOM



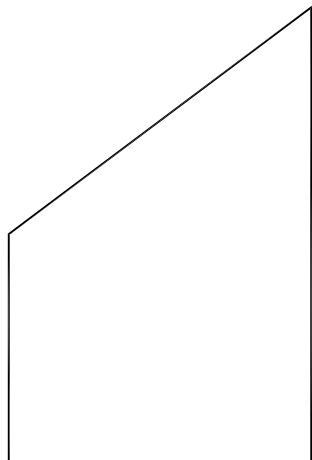
N



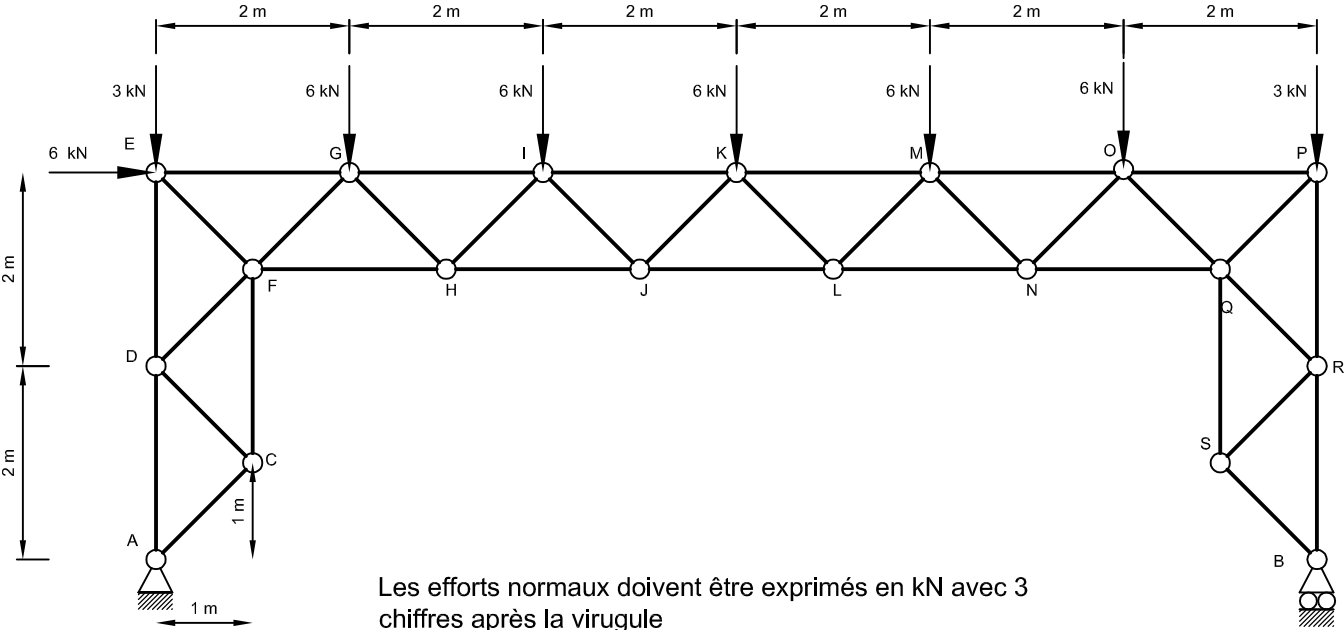
V



M



Question 3 : déterminer les valeurs des efforts normaux dans les barres IK, KJ, JL, KL et KM

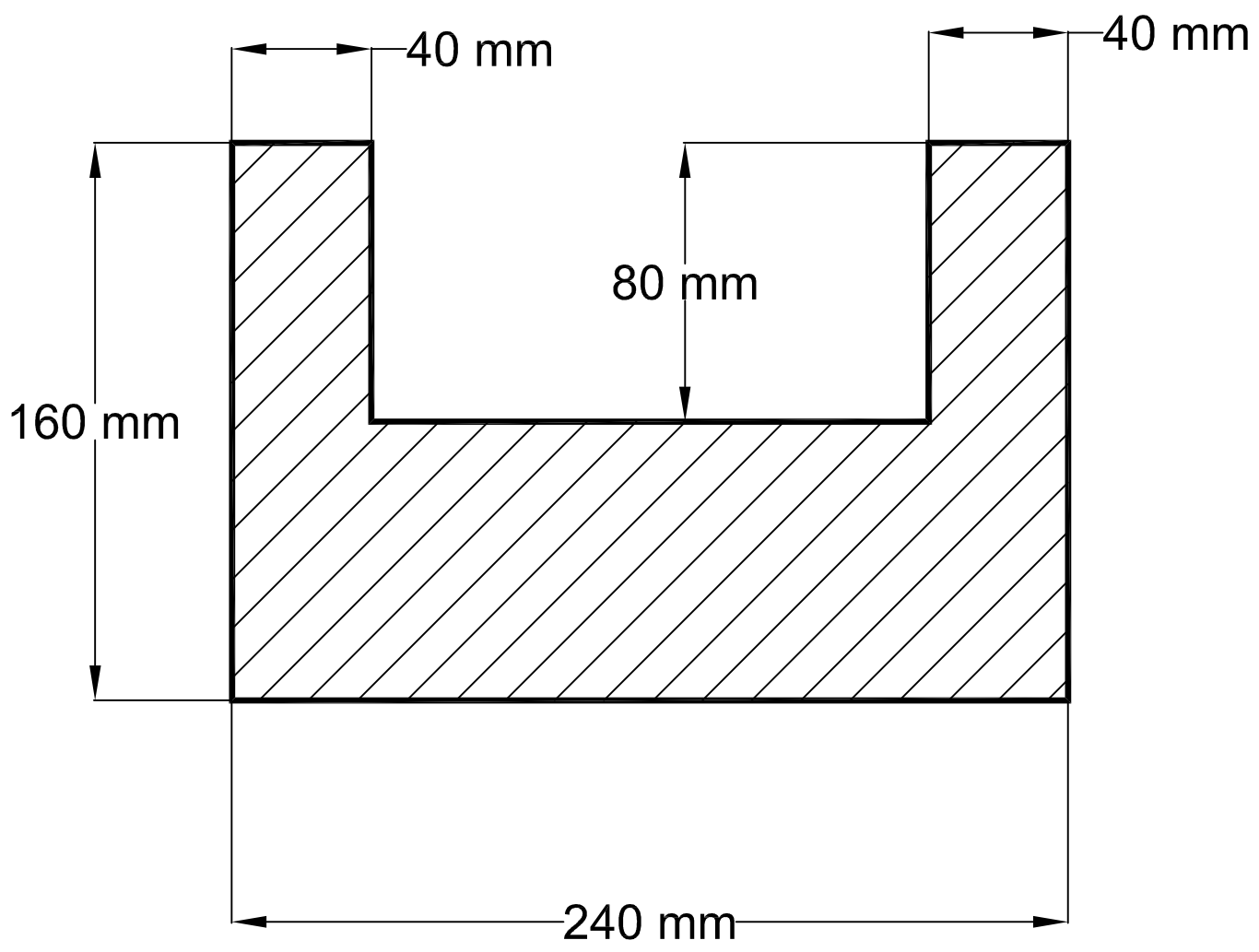


Les efforts normaux doivent être exprimés en kN avec 3 chiffres après la virgule

Barre	N (kN) ***, ***
IK	
KJ	
JL	
KL	
KM	

NOM

Question 4 : déterminer les axes principaux centraux ainsi que les rayons de giration de la section suivante :

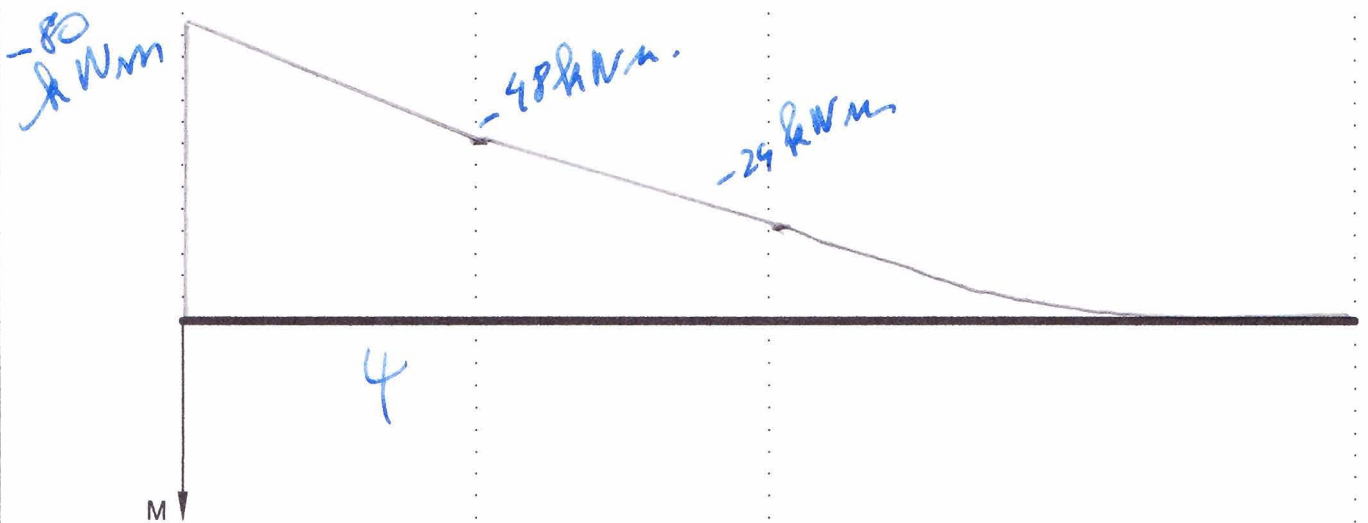
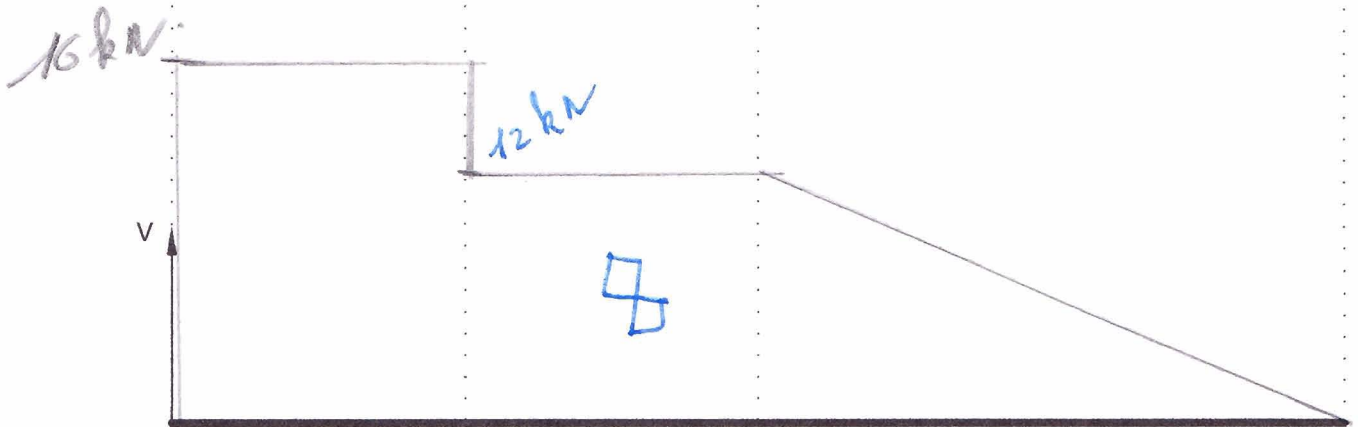
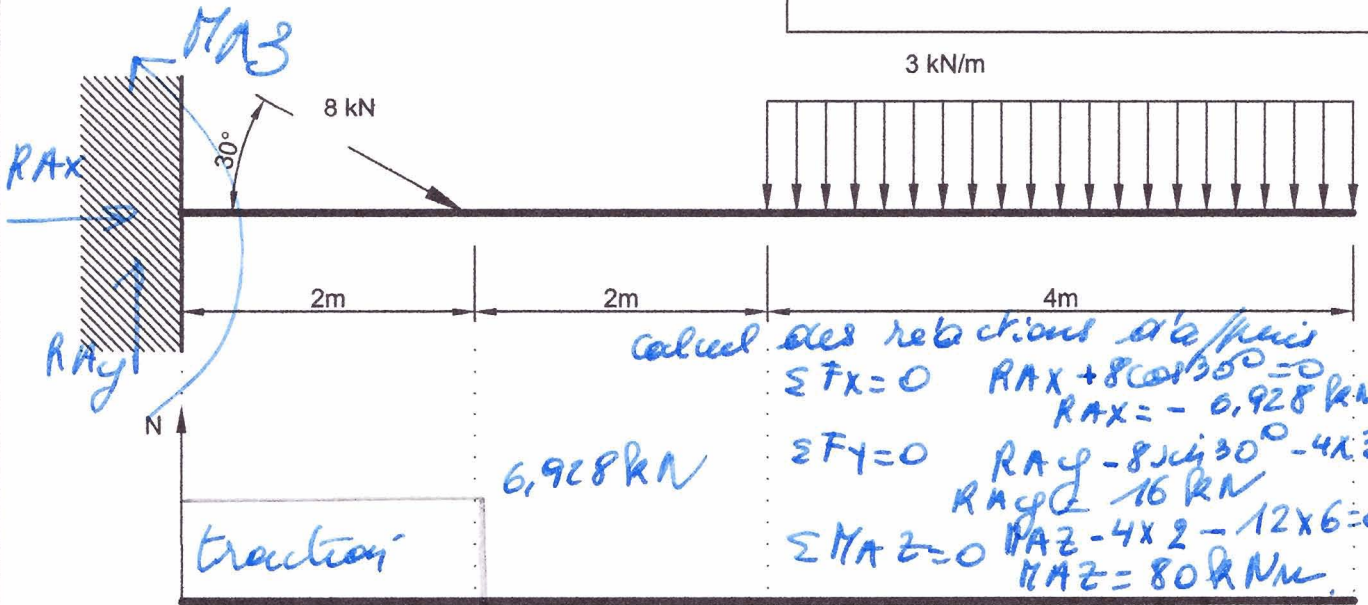


I_{max}	(cm ⁴)	**** ** ,
I_{min}	(cm ⁴)	**** ** ,
i_{max}	(mm)	**** * ,
i_{min}	(mm)	**** * ,

Question 1 : Tracer les diagrammes NVM de la poutre suivante

NOM

QUITTELIER.



Question 2 : tracer les diagrammes NVM du portique suivant

NOM

QUITTELIER.

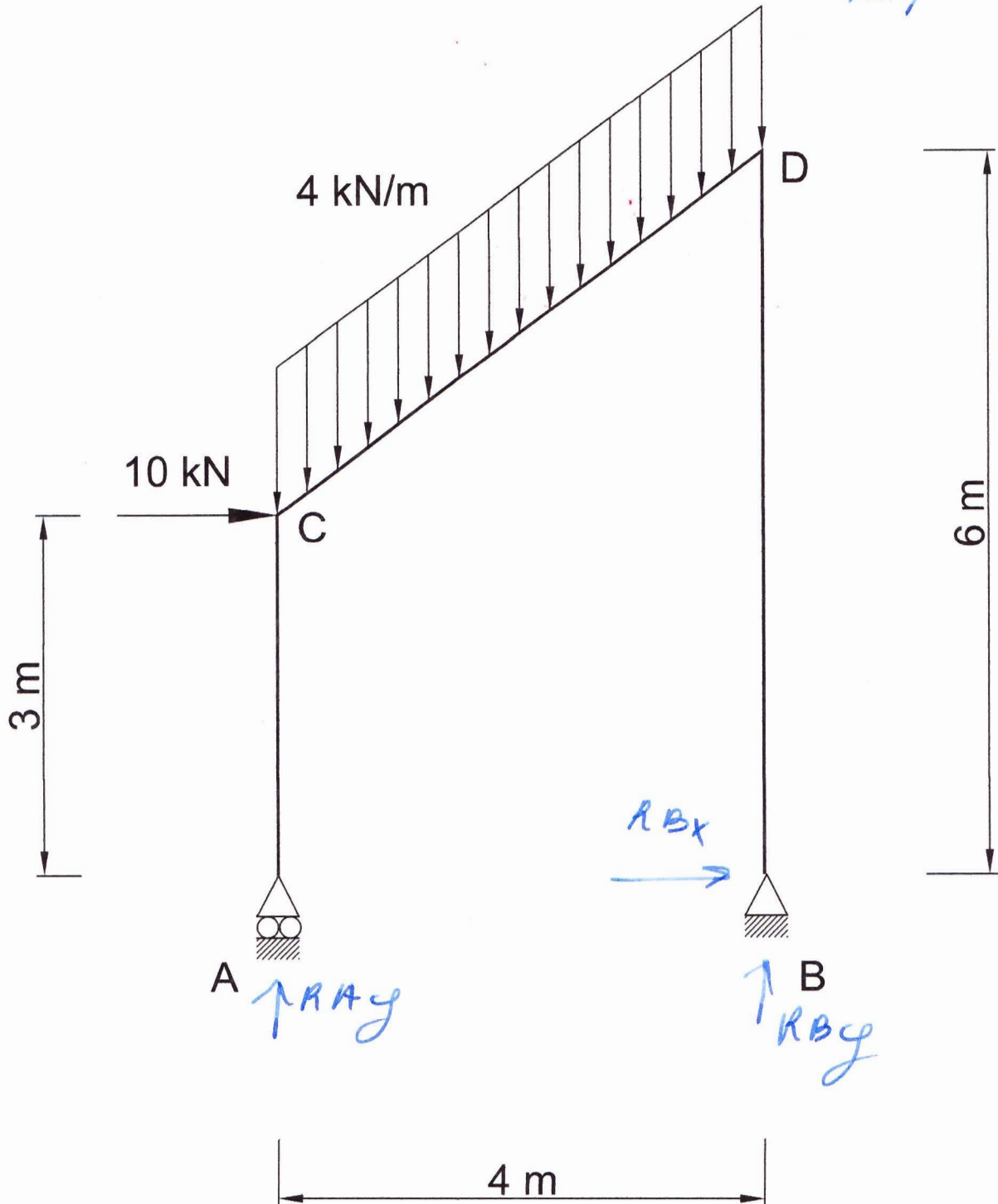
Calcul des réactions d'appui:

$$\sum F_x = 0 = 10 + R_{Bx} = 0 \Rightarrow R_{Bx} = -10 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0 \quad R_{Ay} + R_{By} - 20 = 0$$

$$\sum M_A = 0 \quad -3 \times 10 - 20 \times 2 + 4 R_{By} = 0 \Rightarrow R_{By} = 17.5 \text{ kN}$$

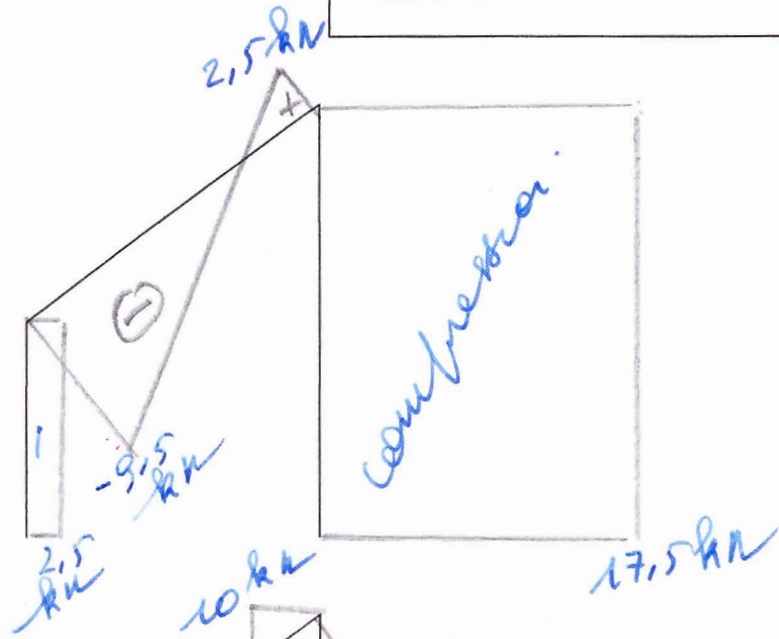
$$R_{Ay} = 2.5 \text{ kN}$$



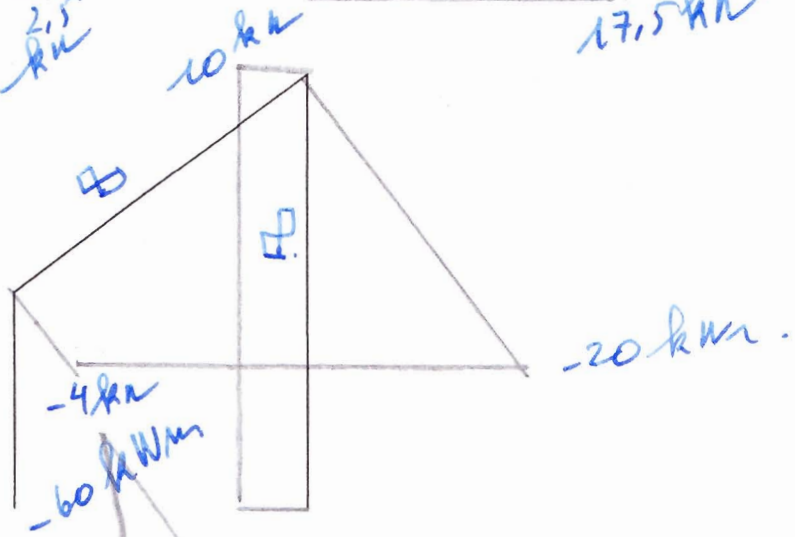
NOM

QUITTE LIER.

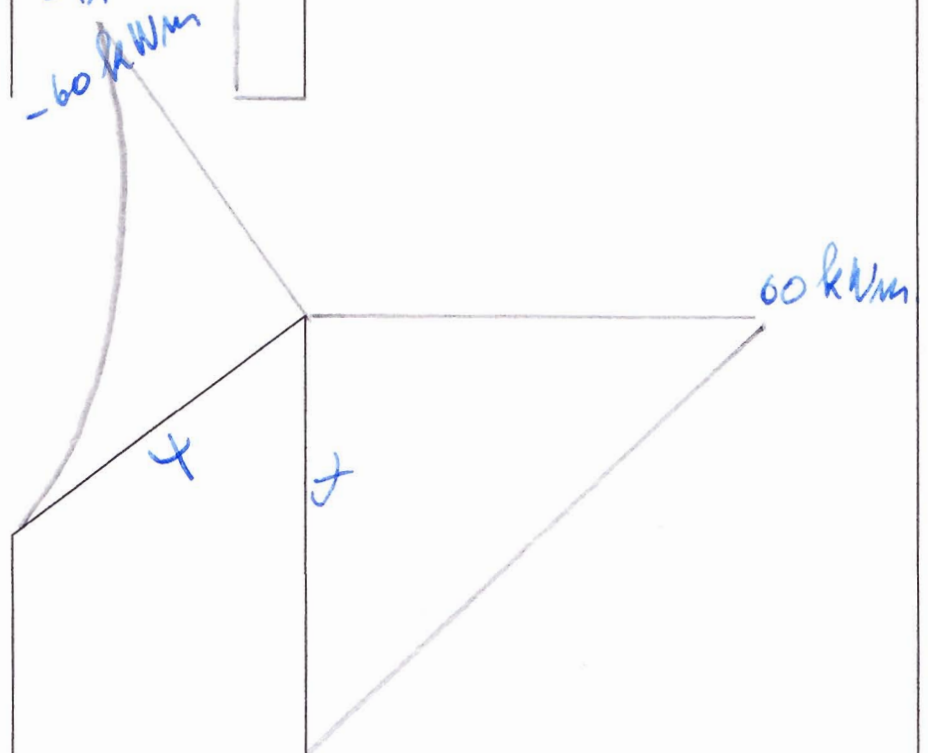
N



V



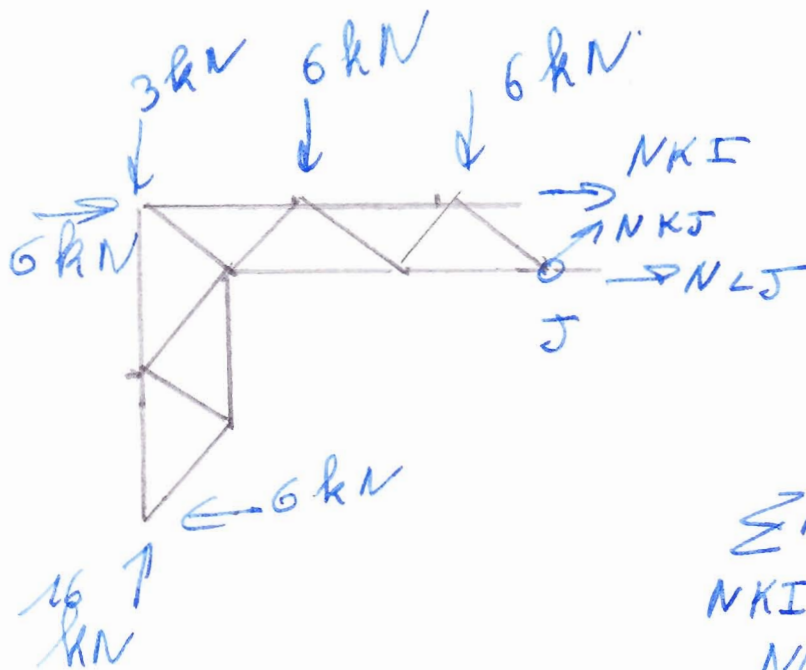
M



Calcul des réactions d'appuis:

$$\begin{aligned}
 R_{Ax} &= -6 \text{ kN} \\
 R_{Ay} + R_{By} &= 36 \text{ kN} \\
 -4 \times 6 - 6(2+4+6+8+10 + \frac{10}{2}) + 12 R_{By} &= 0 \\
 R_{By} &= 20 \text{ kN} \\
 R_{Ay} &= 16 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

cas 1: équilibre de la partie gauche.

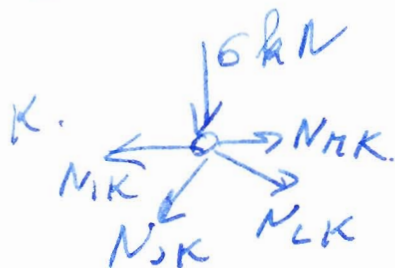


$$\begin{aligned}
 \sum F_y = 0 \\
 NKJ \cos 45^\circ - 15 + 16 &= 0 \\
 NKJ &= \frac{-1}{\cos 45^\circ} = -1.414 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum M_J = 0 \\
 -NKI \times 1 + 6 + 6 \times 3 + 3 \times 5 \\
 - 6 \times 1 - 16 \times 5 - 6 \times 3 &= 0 \\
 NKI &= -65 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum F_x = 0 \\
 NKI + NLJ + NKJ \cos 45^\circ &= 0 \\
 NLJ &= -NKI - NKJ \cos 45^\circ \\
 &= 65 + 1 = 66 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Equilibre de K



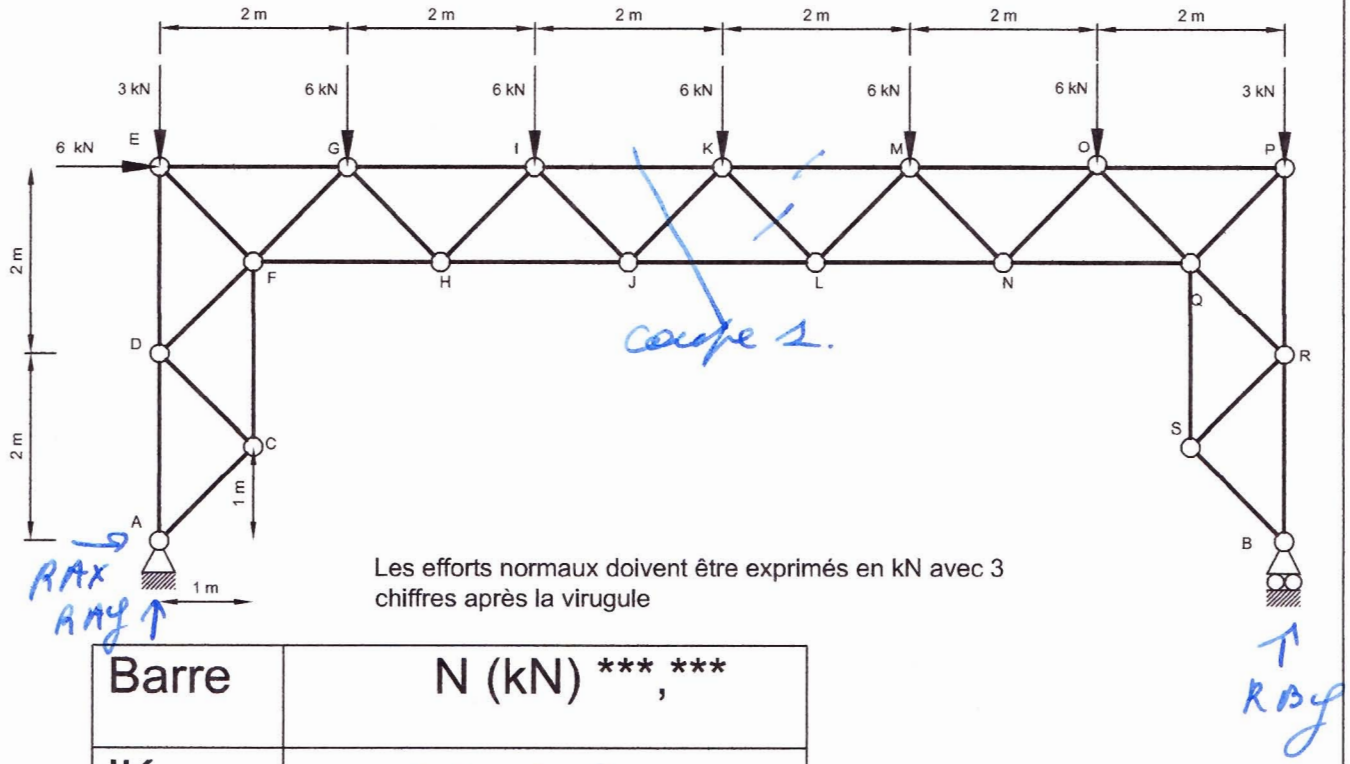
$$\begin{aligned}
 \sum F_y = 0 \\
 -6 - N_{JK} \sin 45^\circ - N_{LK} \sin 45^\circ &= 0 \\
 N_{LK} &= \frac{-6 - N_{JK} \sin 45^\circ}{\sin 45^\circ} \\
 &= -7.071 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum F_x = 0 \\
 -N_{IK} - N_{JK} \frac{\sqrt{2}}{2} + N_{MK} + N_{LK} \frac{\sqrt{2}}{2} &= 0 \\
 N_{MK} &= N_{IK} + N_{JK} \frac{\sqrt{2}}{2} - N_{LK} \frac{\sqrt{2}}{2} \\
 &= -65 + (-1) + 7.071 \frac{\sqrt{2}}{2} = -61 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

NOM

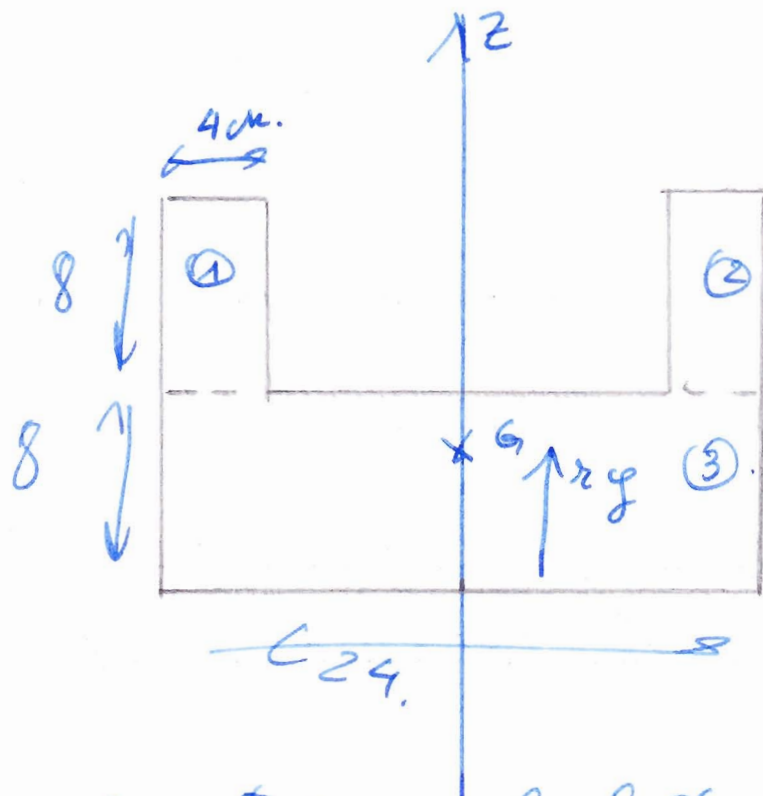
QUITTELIER.

Question 3 : déterminer les valeurs des efforts normaux dans les barres IK, KJ, JL, KL et LM



Les efforts normaux doivent être exprimés en kN avec 3 chiffres après la virgule

Barre	N (kN) ^{***} , ^{***}
IK	-65,000
KJ	-1,414.
JL	66,000
KL	-7,072.
LM	-61,000



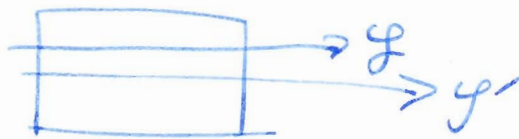
z: axe de symétrie : calcul de r_y .

$$r_y = \frac{2 \times 8 \times 4 \times 12 + 8 \times 24 \times 4}{2 \times 32 + 8 \times 24} = 6 \text{ cm.}$$

Calcul de I_{ay} .



$$I_{y(1)} = \frac{8^3 \times 4}{12} + 32 \times (-12-6)^2 = 1322,667 \text{ cm}^4.$$



$$I_{y(3)} = \frac{8^3 \times 24}{12} + 8 \times 24 \times (6-4)^2 = 1792 \text{ cm}^4.$$

$$I_y = 1792 \times 2 + 1322,667 = 4437,33 \text{ cm}^4.$$

$$I_z = 2 \left(\frac{8 \times 4^3}{12} + 32 \times 10^2 \right) + \frac{24^3 \times 8}{12} = 15701,33 \text{ cm}^4$$

$$I_{\text{min}} = I_y \quad I_z = I_{\text{max}}$$

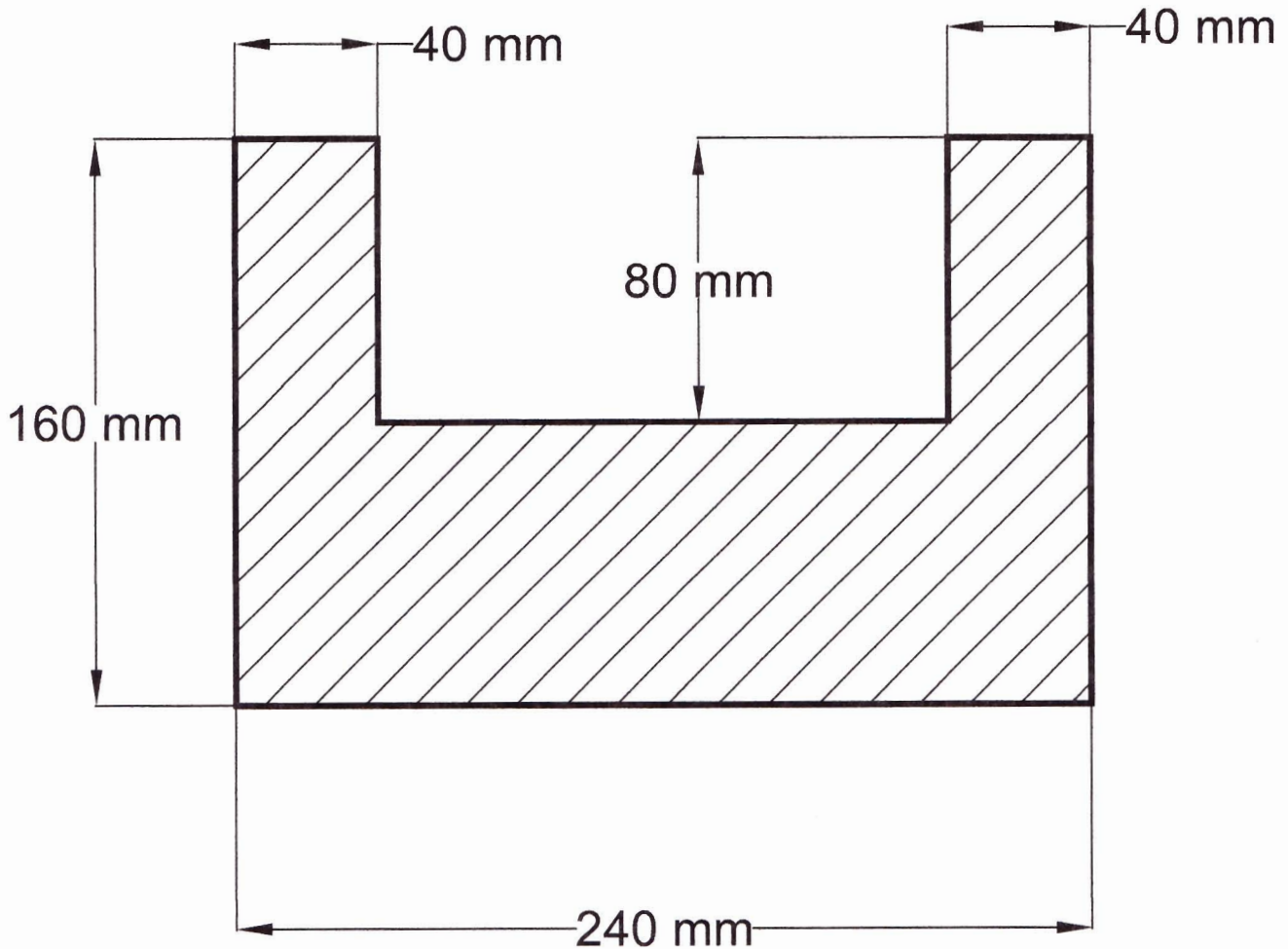
$$e_y = \sqrt{\frac{4437,33}{256}} = 4,163 \text{ cm} = 41,6 \text{ mm}$$

$$e_z = \sqrt{\frac{15701,33}{256}} = 78,3 \text{ mm}$$

NOM

QUITTELIER.

Question 4 : déterminer les axes principaux centraux ainsi que les rayons de giration de la section suivante :



I_{\max}	15701,33. (cm ⁴)
I_{\min}	4437,33. (cm ⁴)
i_{\max}	78,3 (mm)
i_{\min}	41,6 (mm)

**** **, ,

**** **, ,

**** * ,

**** * ,