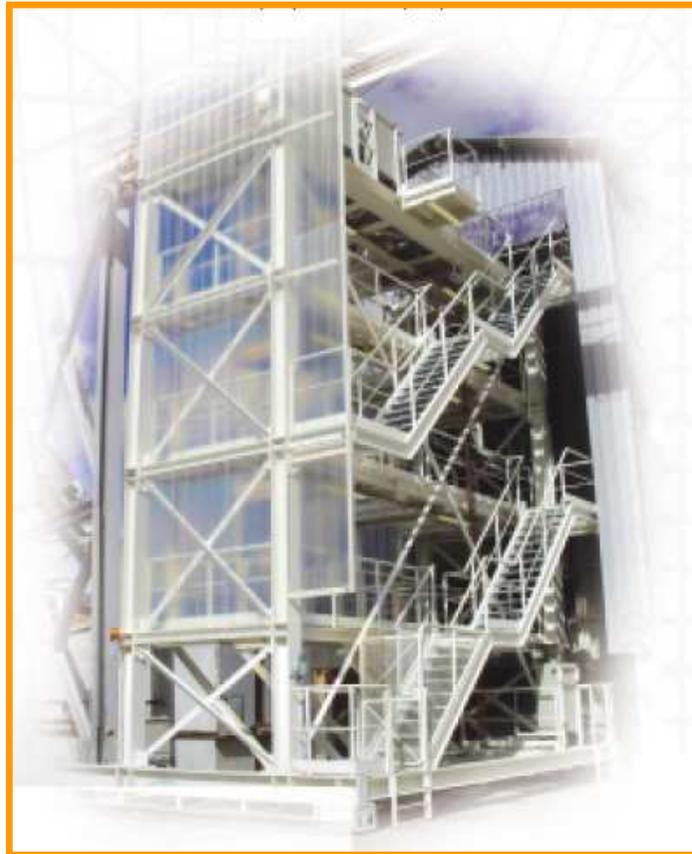
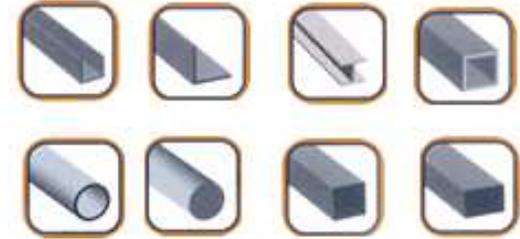


Charpente Métallique

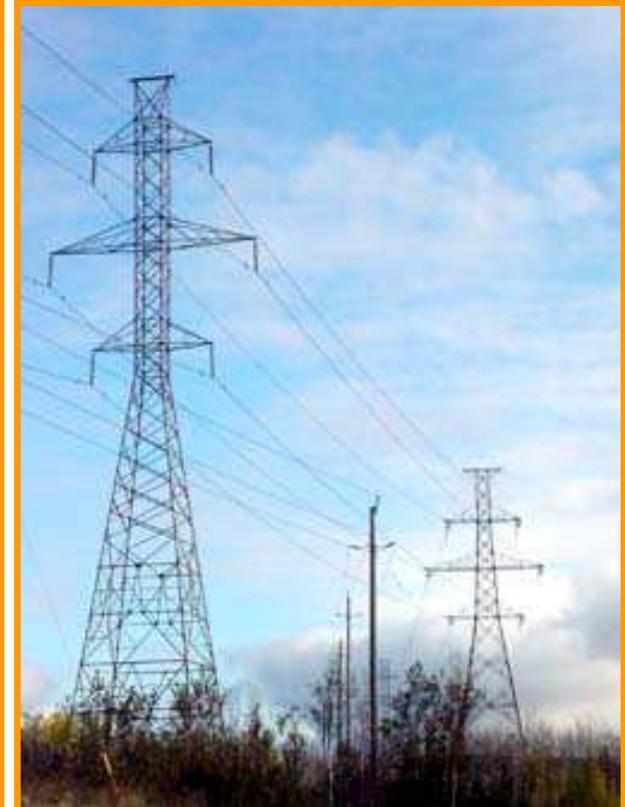
Par Z. EL MASKAOUI
elmaskaoui@gmail.com



Exemple de structures :



Exemple de structures :



STRUCTURE SUPPORT ENSEIGNE



STADE DE MARRAKECH

VUE SUR COUVERTURE METALLIQUE DES TRIBUNES ET PASSERELLE



VUE INTERIEUR SUR PASSERELLE

ATTIJARIWafa BANQUE / BOULEVARD ABDELMOUMEN



**POTEAUX METALLIQUES
TUBULAIRES GALVANISES**

PASSERELLE AUTOROUTE CASA-RABAT



SUPPORTS DE TRANSFO



INSTALLATIONS INDUSTRIELLES



ACCES A TOURNIQUET TRIPODE







PLAN DU COURS

Généralités

- Réglementation
- Aciers
- Produits sidérurgiques

Vérification de la résistance des sections des éléments

- Démarche des calculs
- Traction / compression
- Flexion simple
- Types d'actions
- Combinaisons d'actions

Les phénomènes d'instabilité :

- Le flambement
- Le déversement
- Le voilement

Les assemblages

- Les assemblages boulonnés
- Les assemblages par soudures

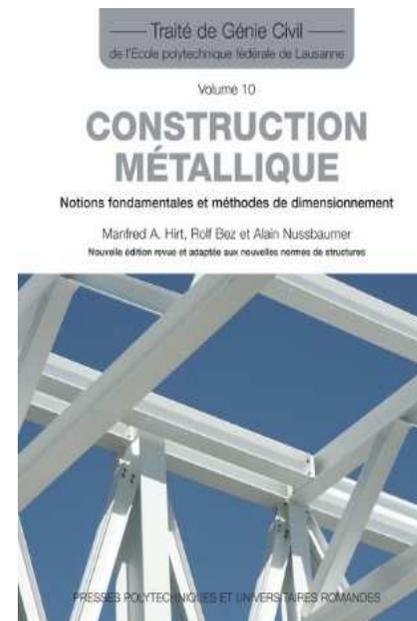
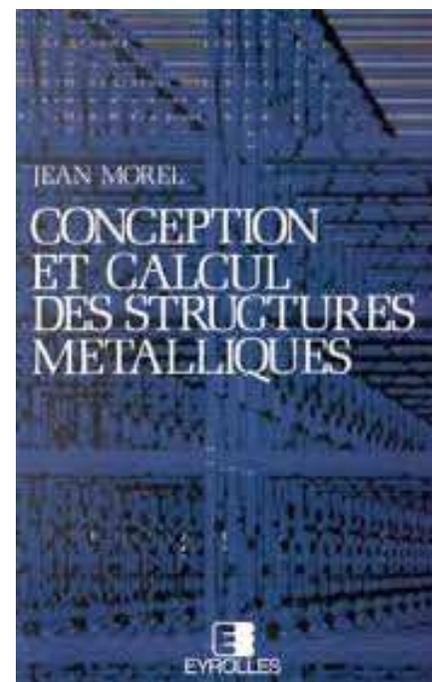
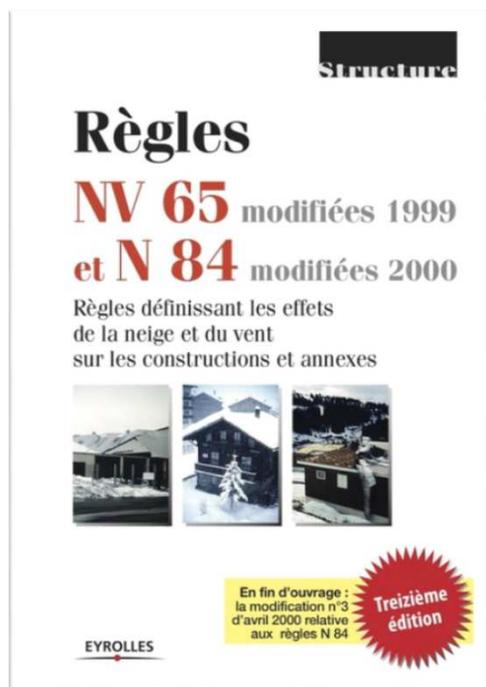
Effet du vent

- NV65

Application sur Robot Structural Analysis

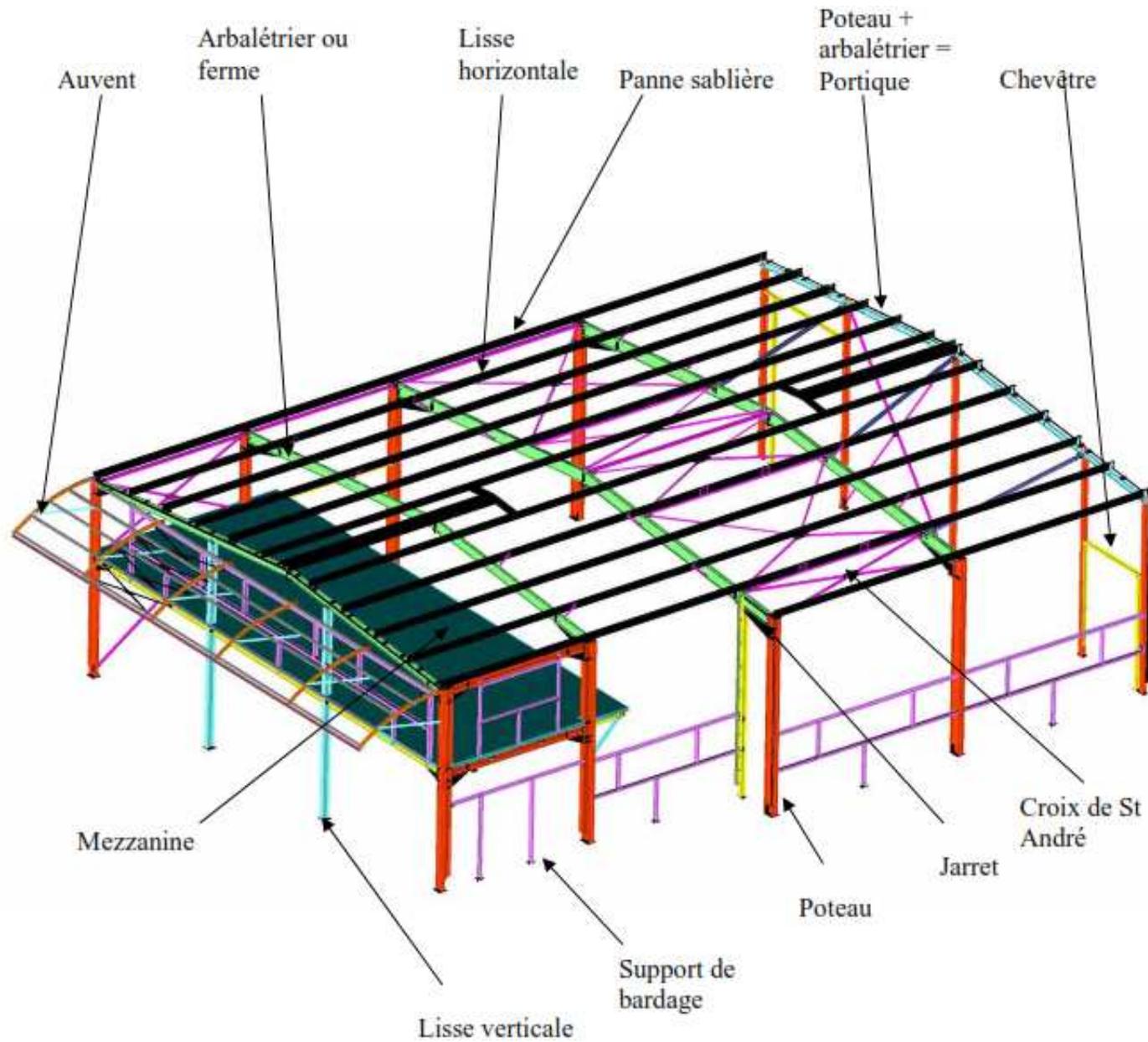
- Treillis, portiques
- Hangars
- Pylônes
- Structures à Câbles

Références



Terminologie

Schéma général d'un bâtiment industriel



REGLEMENTATIONS

La conception et le calcul des constructions métalliques sont régis par diverses réglementations :

- Les règles de calcul des constructions en acier dites règles **CM66**,
Réglementent tous les bâtiments en acier.
Fondées sur le seul comportement élastique de l'acier : contrainte de ruine = σ_e .
- Des normes **NF**
Régissent les calculs des assemblages et des éléments à parois minces.
 - NF P 22-410 pour les assemblages rivés.
 - NF P 22-430 pour les assemblages par boulons non précontraints.
 - NF P 22-460 pour les assemblage par boulons à serrage contrôlé.
 - NF P 22-470 pour les assemblages soudés soumis à un chargement statique.
- **L'additif 80**
Introduit les notions de plasticité de l'acier et d'états – limites.
Prend en compte la plastification de l'acier (autorise le dépassement du seuil d'élasticité).
- **NV 65**
Détermination des charges climatiques : neige et vent

Définition

Bureau d'Etudes

Département de l'entreprise où les ingénieurs et techniciens conçoivent l'ouvrage.

Ils produisent les notes de calculs justifiant les choix techniques et technologiques, ainsi que tous les dessins d'exécution, nécessaires à la réalisation de l'ouvrage.

Bureau des Méthodes

Département de l'entreprise où les ingénieurs et techniciens décident des méthodes de réalisation les plus adaptées à la construction de l'ouvrage. Ils organisent également le chantier et prévoient toute la logistique nécessaire.

Bureau de contrôle

Entreprise **habilitée** à vérifier d'une part, la conformité des solutions proposées par le B.E avec la réglementation en vigueur et d'autre part, leur mise en oeuvre sur chantier.

Le bureau de contrôle, en intervenant, engage sa responsabilité au même titre que le maître d'oeuvre.

Définition

Maître d'oeuvre

Il est chargé de la conception de l'ouvrage et du suivi des travaux pour le compte de son client (maître d'ouvrage) : en général, il s'agit d'un architecte.

Normes

Une norme est un document qui précise des définitions, exigences, spécifications, lignes directrices ou caractéristiques à utiliser systématiquement pour assurer l'aptitude à l'emploi des matériaux, produits, processus et services.

Dimensionnement

Déterminer par le calcul les dimensions d'une structure

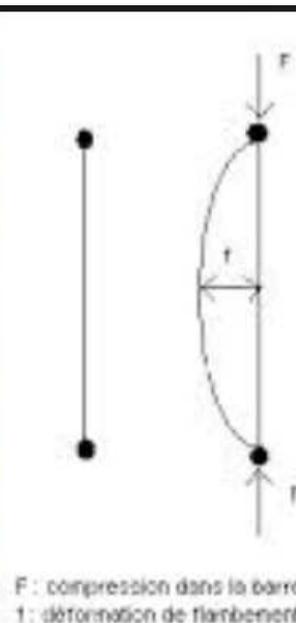
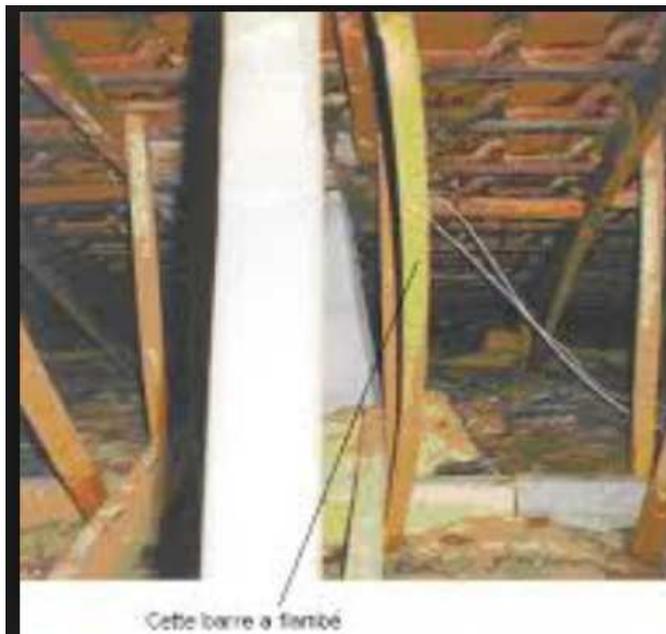
Note de calculs

Document regroupant les calculs nécessaires au dimensionnement des ouvrages.

LES DANGERS DE LA CONSTRUCTION MÉTALLIQUE

Les constructions métalliques exigent qu'une attention toute particulière soit portée sur certains points :

- Les phénomènes **d'instabilité** élastique (flambement, déversement)
- Les **assemblages** (boulonnages, soudages) afin de se prémunir contre leurs risques de rupture brutale → Effondrement de l'ouvrage., voilement).



LE MATERIAU, ACIER

Classification des aciers selon leur teneur en carbone :

	Matériaux	Teneur en carbone	Utilisation
Aciers	<ul style="list-style-type: none">- Aciers doux- Aciers mi – durs- Aciers durs- Aciers extra – durs	<ul style="list-style-type: none">0,05% <C < 0,3 %0,3 % <C < 0,6 %0,6 % < C < 0,75 %0,75% <C < 1,20 %	<ul style="list-style-type: none">Charpentes, boulonsRail, pièces forgéesOutils, poinçons
Fontes	<ul style="list-style-type: none">- Fontes hypo - eutectiques- Fontes hyper – eutectiques	<ul style="list-style-type: none">1,70% <C < 4,50 %4,50% <C < 6,30 %	<ul style="list-style-type: none">Pièces couléesculasse moteursBâtis machines

CARACTERISTIQUE DES ACIERS NORMALISES

Les 3 nuances utilisables en construction métallique sont :

- La nuance **S235** (E 24) $\sigma_e = 235 \text{ MPa}$
- La nuance **S275** (E 28) $\sigma_e = 275 \text{ MPa}$
- La nuance **S355** (E 36) $\sigma_e = 355 \text{ MPa}$

Caractéristiques mécaniques des aciers :

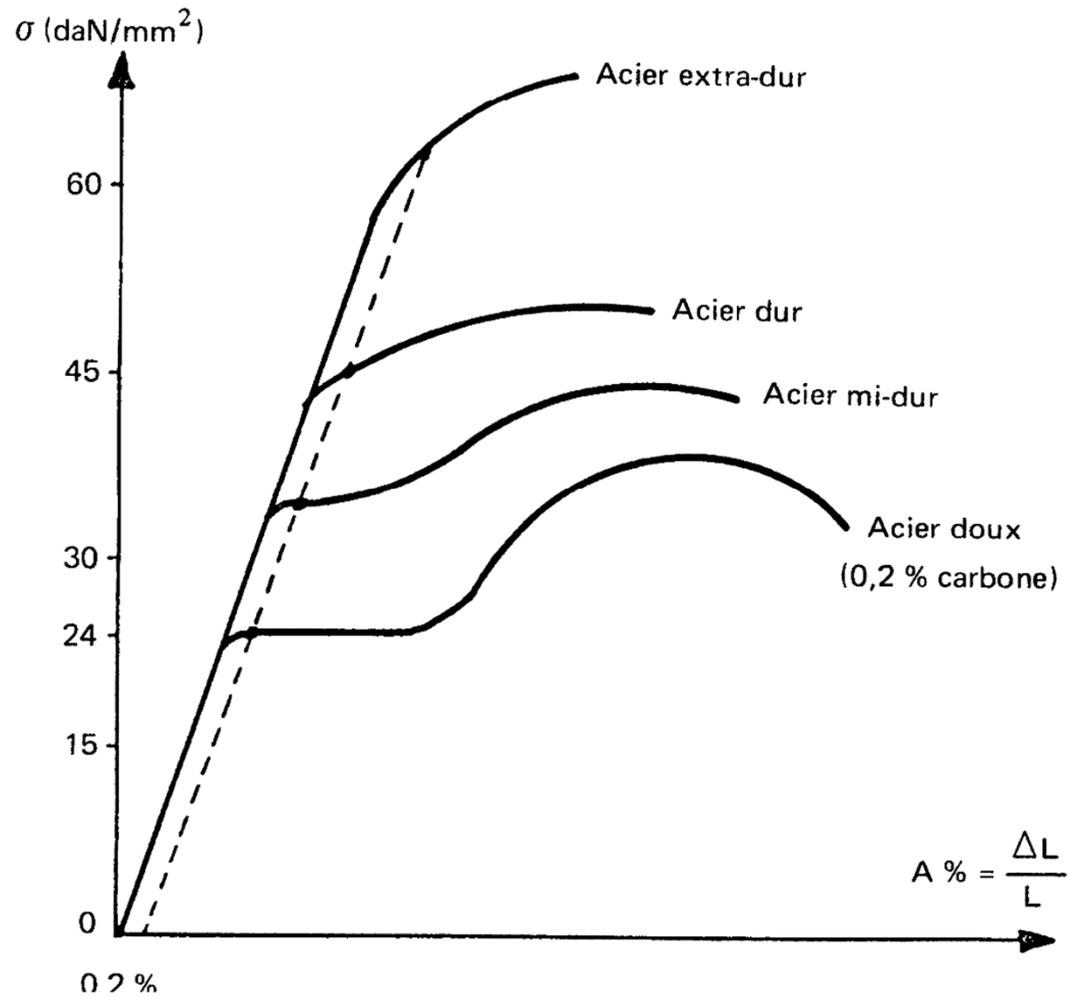
Module d'élasticité longitudinale : $E = 210\,000 \text{ MPa}$.

Coefficient de Poisson : $\nu = 0.3$

Module d'élasticité transversale : $G = 8,1 \cdot 10^4 \text{ MPa}$.

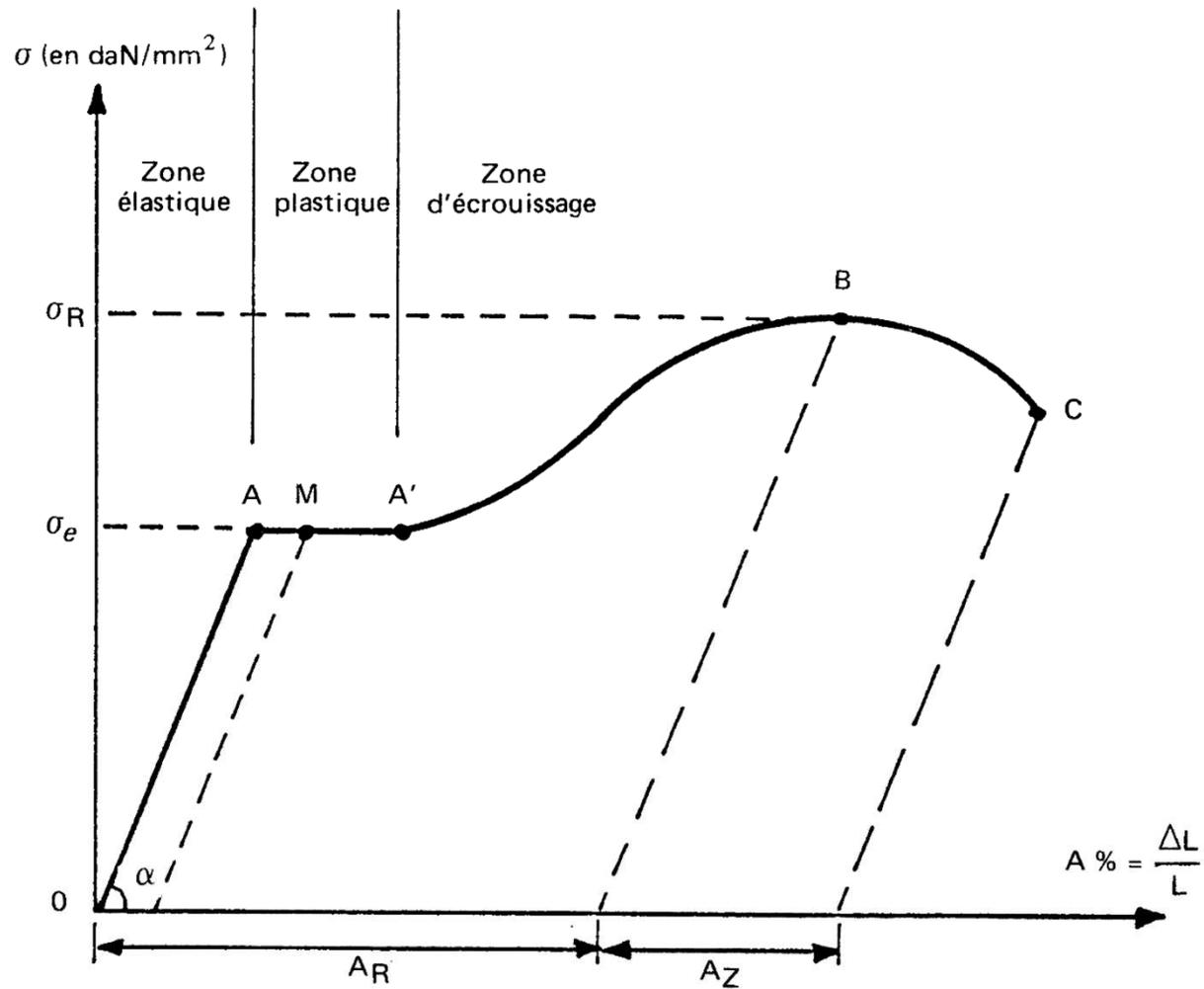
Masse volumique : $\rho = 7.850 \text{ daN/m}^3$

PLASTICITÉ DE L'ACIER



Essai de traction

Diagramme effort / déformation

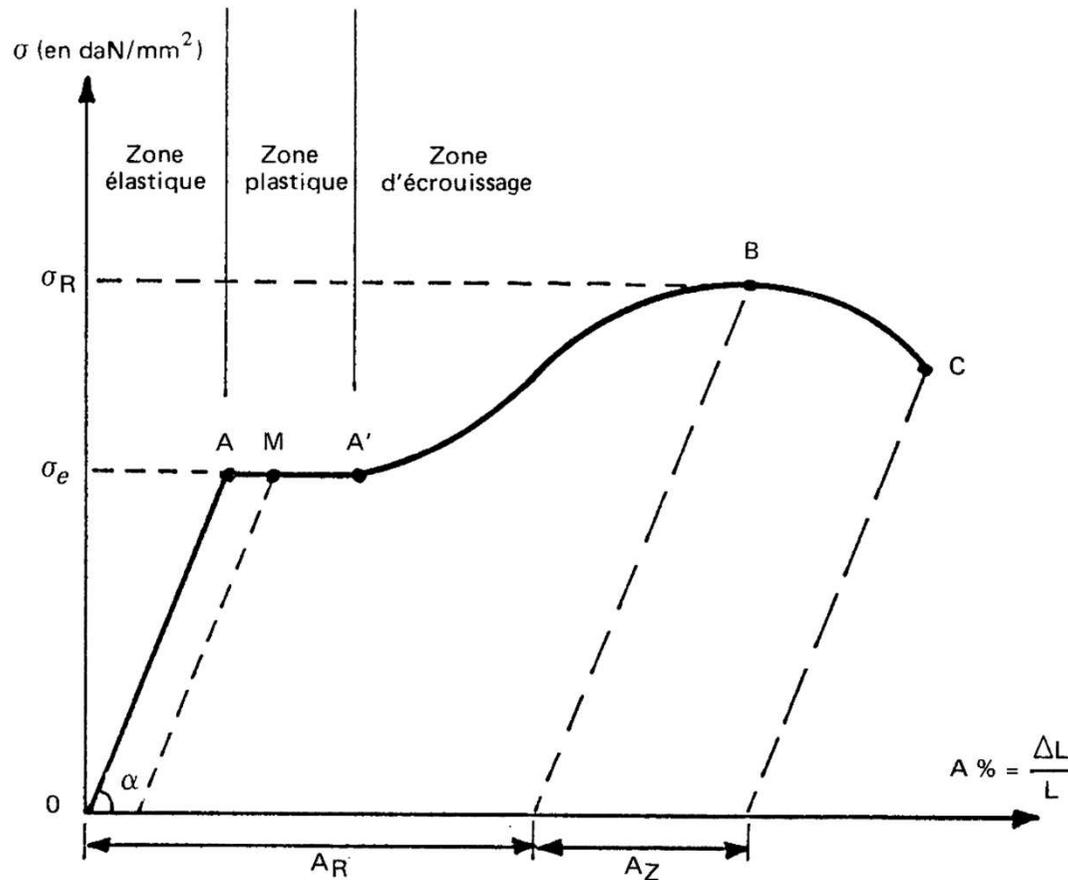


A_R = Allongement à rupture.
 A_Z = Allongement de striction.

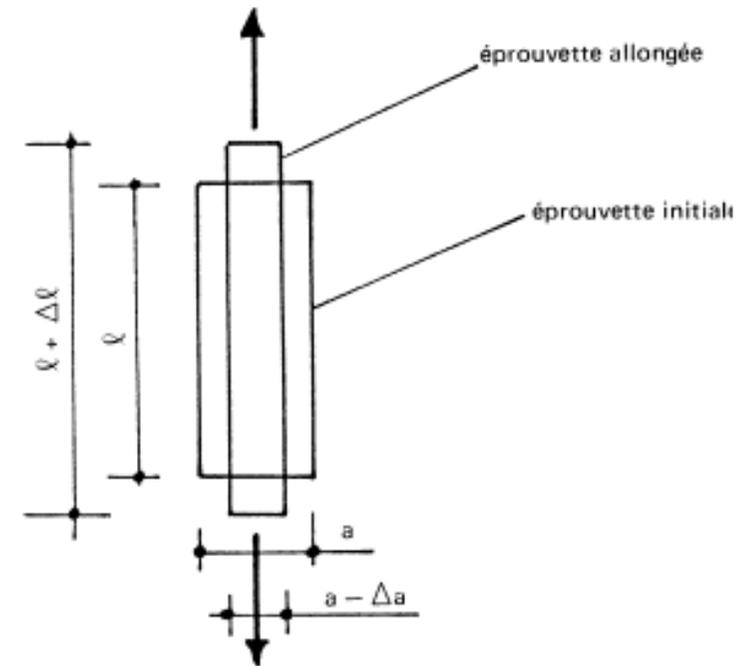


Essai de traction

Diagramme effort / déformation



A_R = Allongement à rupture.
 A_Z = Allongement de striction.



Module d'élasticité longitudinale :

$$E = \text{tg } \alpha = \frac{\sigma}{\Delta L/L}$$

Module d'élasticité transversale :

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Coefficient de Poisson :

$$\nu = -\frac{\Delta a}{a} \cdot \frac{l}{\Delta l}$$

Essais de contrôle des aciers

Les essais destructifs

Renseignement sur les qualités mécaniques des aciers.

- L'essai de traction, détermine E , ν , ϵ_u , σ_e , σ_u
- L'essai de dureté, définit des degrés de dureté
- L'essai de résilience, mesurer l'aptitude d'un acier à rompre par choc.
- ...

Les essais non destructifs

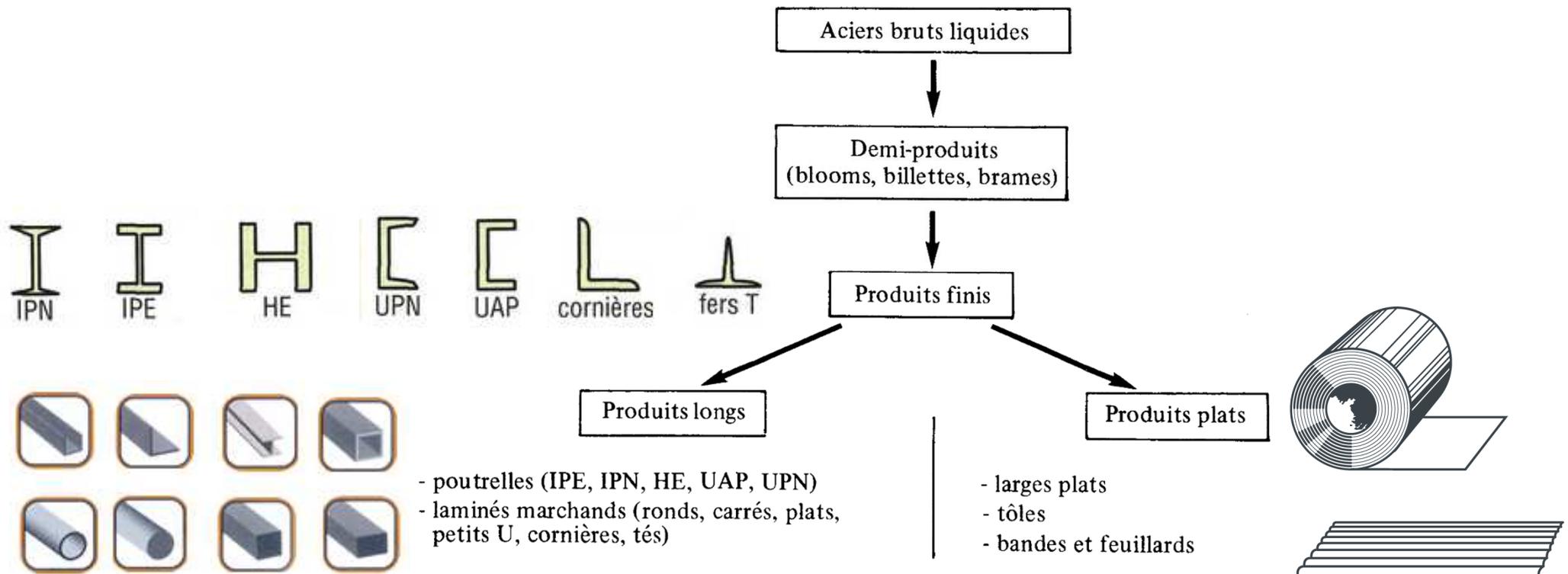
Renseignent sur la composition et la structure des aciers.

- La macrographique : examen visuel d'une surface polie traitée à l'acide.
- La micrographie : examen au microscope des cristaux – détermine la teneur en carbone –.
- La radiographie, par rayon x, rayon gamma: décèle les défauts des fissures internes.
- Les ultras son : décèle les défauts des fissures internes.
- ...

Les produits sidérurgiques

Les produits sidérurgiques employés en construction métallique sont obtenus par laminage à chaud.

Les dimensions et caractéristiques sont normalisées et répertoriées sur catalogues.



La démarche des calculs

Les règles CM66 adoptent la valeur σ_e comme critère de base de ruine d'une pièce.

Démarche de calcul :

1. Déterminer les valeurs des actions agissant sur les éléments à calculer : charges permanents et variables, fixes et mobiles.
2. Examiner les combinaisons possibles d'action les plus défavorables, après pondération (4/3, 1, 3/2, 17/12 selon les cas).
3. Calculer les sollicitations correspondantes : efforts normaux et tranchants, moment de flexion et de torsion.
4. Calculer les contraintes (σ_e valeur de référence).
5. Vérifier les déformations
6. Vérification de la stabilité
7. Vérification des assemblages

LES ACTIONS

La nature des actions

- Charges permanentes : G
- Surcharges d'exploitations : Q
- Surcharges de neige : S
- Surcharge de vent : W

COMBINAISONS D' ACTIONS

Combinaisons aux états limites ultimes ELU

Catégorie	Coefficient de Pondération
G	1.33 ou 1 suivant le cas le plus défavorable
Q, S, et W	1.5 si on a une seule de ces actions ou 1.42 si on a deux de ces actions ou 1.33 si on a les trois actions

Exemple de combinaisons

$$1.33 G + 1.5 Q$$

$$1.33 G + 1.5 W$$

$$1.33 G + 1.42 Q + 1.42 W$$

Combinaisons aux états limites de service ELS

Ce sont ces combinaisons qui interviendront pour le calcul des flèches δ .

La vérification des éléments qui composent la structure doit être effectuée en considérant les combinaisons les plus défavorables des actions NON PONDEREES conformément au règlement.

Exemple de combinaisons

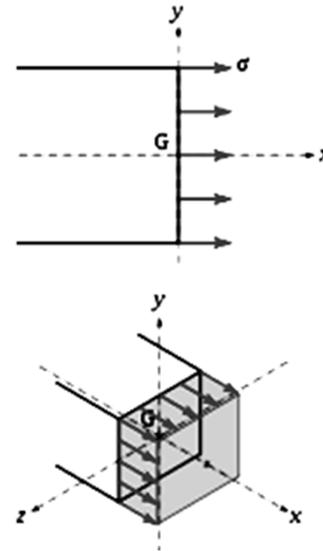
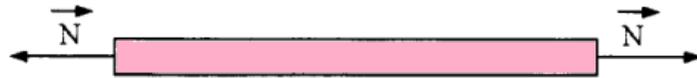
$$G + Q$$

$$G + W$$

$$G + Q + W$$

Vérification de la résistance des éléments tendus

Éléments tendus



1. Il faut s'assurer que

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_e$$

N : Effort de traction appliqué
A : Section brute de la barre

L'élément s'allonge d'une valeur δ :

$$\delta = \frac{Nl}{EA}$$

E : Module de Young
l : longueur de la barre

2. Il faut s'assurer que

$$\delta \leq \delta_{ad}$$

Vérification de la résistance des éléments tendus

Résistance à la traction

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

N : Effort de traction appliqué.
A : Section brute de la barre

Dans le cas d'un assemblage boulonné ou riveté, il faut vérifier que :

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq \sigma_e$$

A_n : section nette au droit des boulons

Pour des trous poinçonnés :

si $A_n/A \geq 0.85$ on prend $A_n = A$

Pour des trous forés ou alésés :

si $A_n/A \geq 0.75$ on prend $A_n = A$

Vérification de la résistance des éléments tendus

Résistance à la traction

Exercice : Cornière en traction

Données :

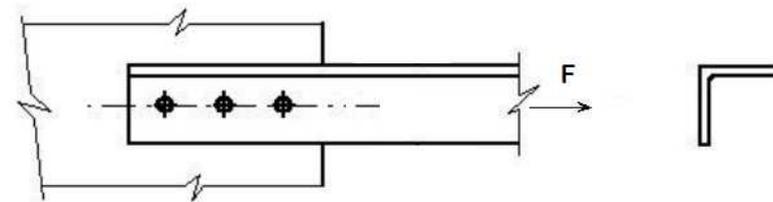
Effort pondéré $F = 5000 \text{ daN}$

Boulons $\phi 14$, classe 8.8

Acier utilisé : S275

Cornière L60x60x6

$l = 1 \text{ m}$



Question

Vérifier la résistance de la barre

Déterminer les valeurs du déplacement dans la barre.

Vérification de la résistance des éléments comprimés

Résistance à la compression

1. Il faut s'assurer que

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_e$$

2. Il faut s'assurer que

$$\delta \leq \delta_{ad}$$

3. Il faut s'assurer que l'élément résiste au flambement

$$\sigma_k \leq \sigma_e$$

Vérification de la résistance des éléments fléchis

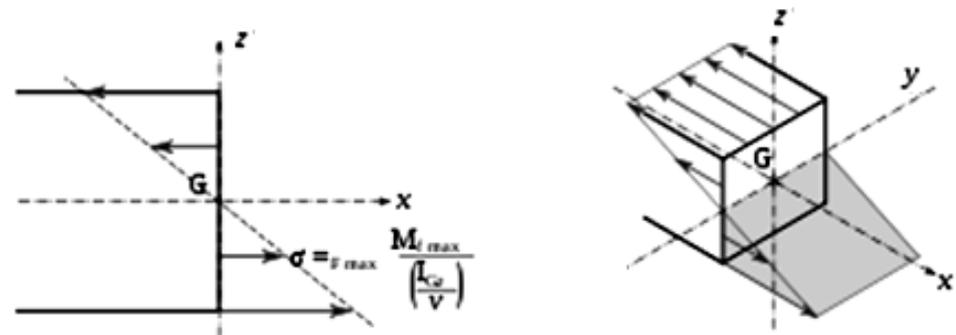
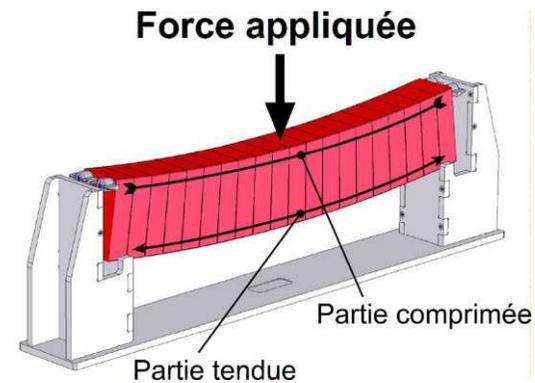
Flexion simple :

1. Contrainte de flexion

$$\sigma_f = \frac{M}{I/v} \leq \sigma_{ad}$$

M : moment fléchissant

I/v : Module d'inertie de de la section



Vérification de la résistance des éléments fléchis

Flexion simple :

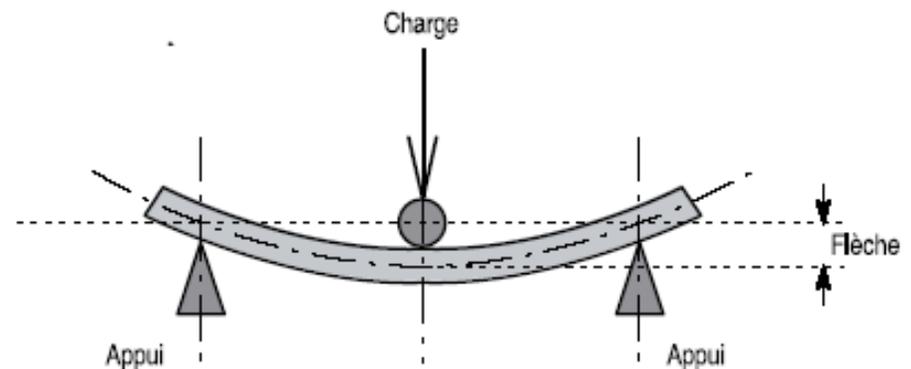
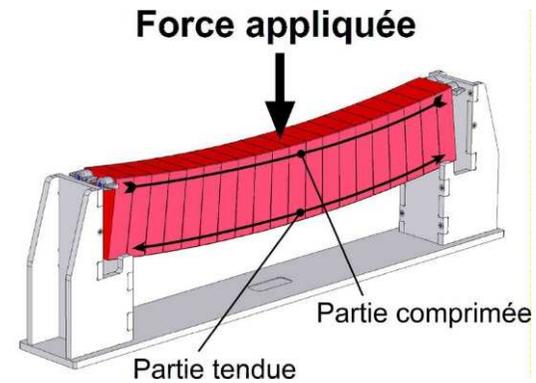
2. La flèche maxi

$$\delta_{maxi} \leq \delta_{ad}$$

δ_{ad} : valeur du déplacement maximal fixé par le cahier des charges

$$\delta_{maxi} \leq K.L$$

La condition de déformation s'exprime en fonction de la portée L de la poutre par un facteur K :
K= 1/200, 1/300, 1/500...



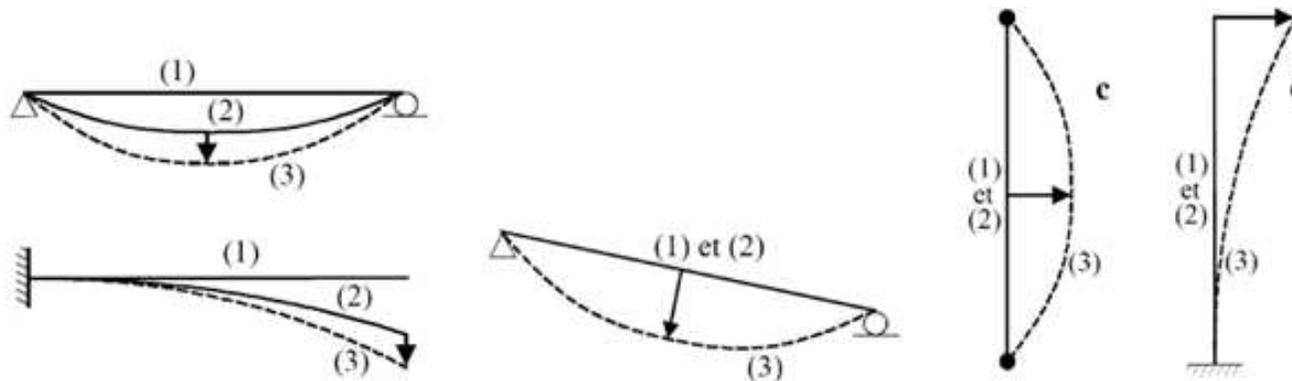
Vérification de la résistance des éléments fléchis

Flexion simple :

2. La flèche maxi

$$\delta_{\max i} \leq K.L$$

La condition de déformation s'exprime en fonction de la portée L de la poutre par un facteur K :
K= 1/200, 1/300, 1/500...



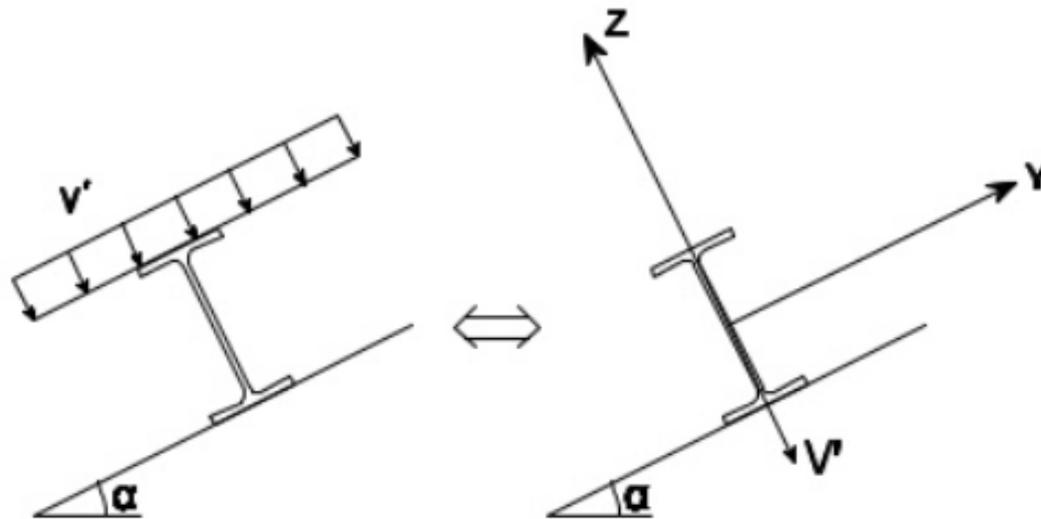
- (1) ligne théorique ;
- (2) ligne initiale : forme de l'élément sans charge ni poids ni précontrainte mais comprenant les imperfections géométriques et contre-flèche ;
- (3) déformée : forme sous un état de charge donné ;
(→) déplacement ou flèche

Vérification de la résistance des éléments fléchis

Flexion déviée :

1. Contrainte de flexion

$$\sigma_{fy} + \sigma_{fz} = \frac{M_y}{I_y / v_y} + \frac{M_z}{I_z / v_z} \leq \sigma_{ad}$$



Vérification de la résistance des éléments fléchis

Flexion simple :

EXERCICE 1 : POUTRE CONSOLE

IPE 180

$$A = 23.9 \text{ cm}^2$$

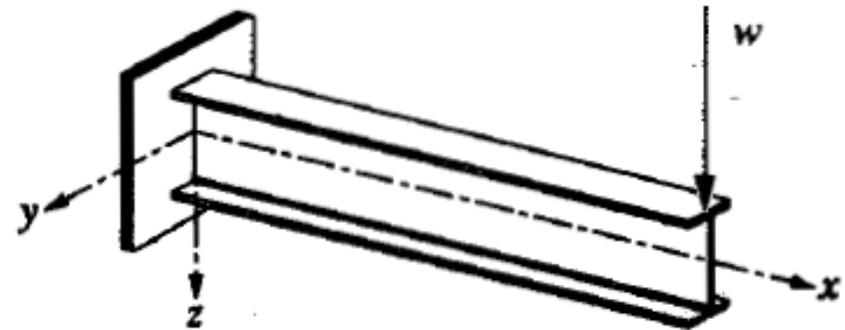
$$(I/V)_Y = 146.3 \text{ cm}^3$$

$$I_Y = 1317 \text{ cm}^4$$

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

$$W = 3.5 \text{ kN (majorée)}$$

Acier S235

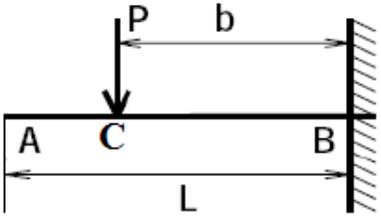
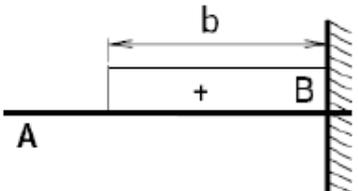
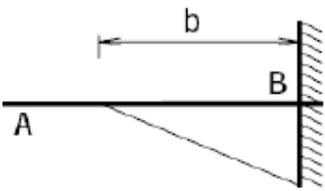
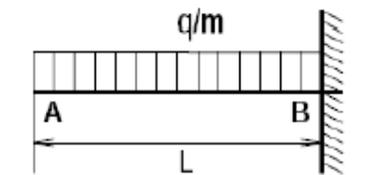
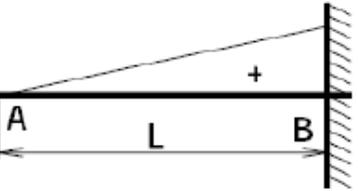
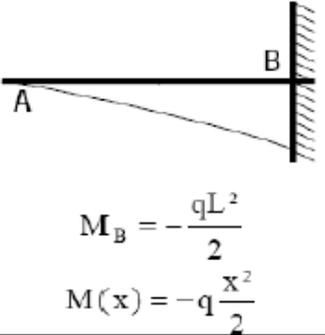
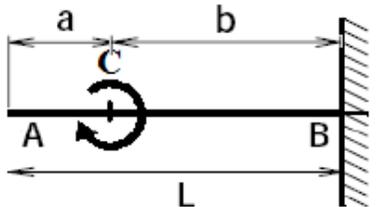
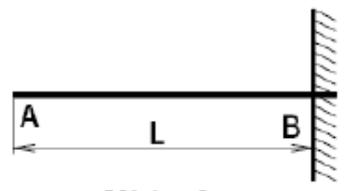
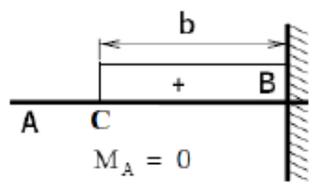


Question :

Déterminer la valeur de la contrainte maximale.

Déterminer la valeur de la flèche maximale.

Vérification de la résistance des éléments fléchis

	Effort tranchant	Moment de flexion	Observations
 <p> $R_B = P.b$ $M_B = -P.b$ Charge concentrée </p>	 <p> $V_A = 0$ $V_{CB} = P$ </p>	 <p> $M_B = -Pb$ </p>	Flèche en A : $f = \frac{P.b^2}{6E.I} (3L - b)$ Flèche en C : $f = \frac{Pb^3}{3E.I}$ $\theta_A = \theta_C = \frac{Pb^2}{2E.I}$
 <p> $R_B = q.L$ $M_A = -\frac{q.L^2}{2}$ Charge uniformément répartie </p>	 <p> $V_B = qL$ $V(x) = px$ </p>	 <p> $M_B = -\frac{qL^2}{2}$ $M(x) = -q \frac{x^2}{2}$ </p>	Flèche en A : $f = \frac{qL^4}{8EI}$ $\theta_A = \frac{q.L^3}{6E.I}$
 <p> Moment de flexion M_f </p>	 <p> $V(x) = 0$ </p>	 <p> $M_A = 0$ $M_{CB} = M_f$ </p>	Flèche en A : $f = \frac{Mf.b}{E.I} \left(L - \frac{b}{2}\right)$ Flèche en C : $f = \frac{Mf.b^2}{2E.I}$ Rotations : $\theta_A = \theta_B = \frac{Mf.b}{E.I}$

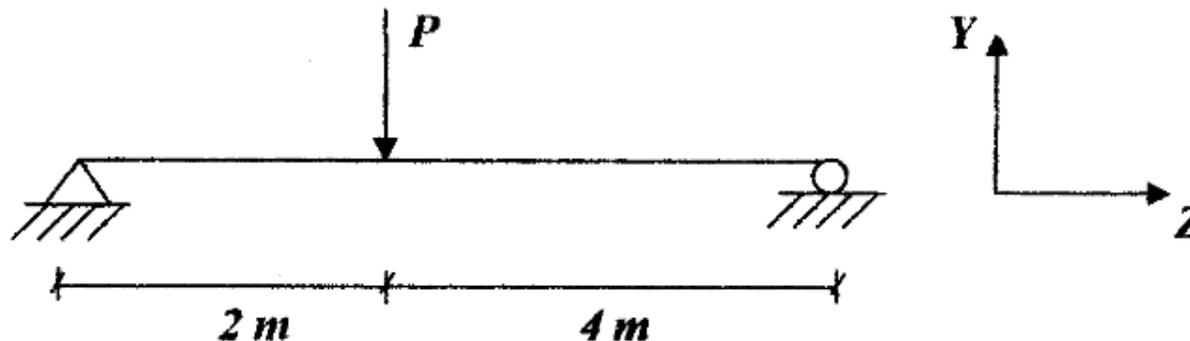
Vérification de la résistance des éléments fléchis

Flexion simple :

EXERCICE 2 : Poutre bi-appuyée

Section IPE, Acier S235

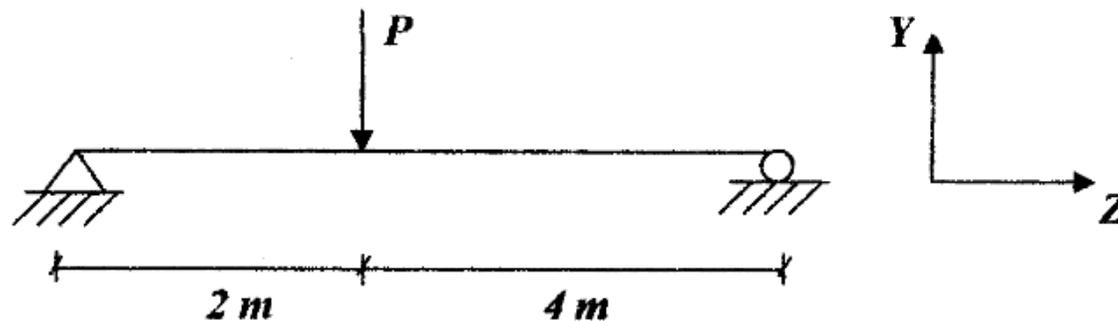
1. Trouver la section de la poutre pour une charge majorée de 3t
2. Vérifier la contrainte et la flèche en tenant compte du poids propre ($f_{adm} < L/300$).



Vérification de la résistance des éléments fléchis

Flexion simple :

EXERCICE 2 : Poutre bi-appuyée

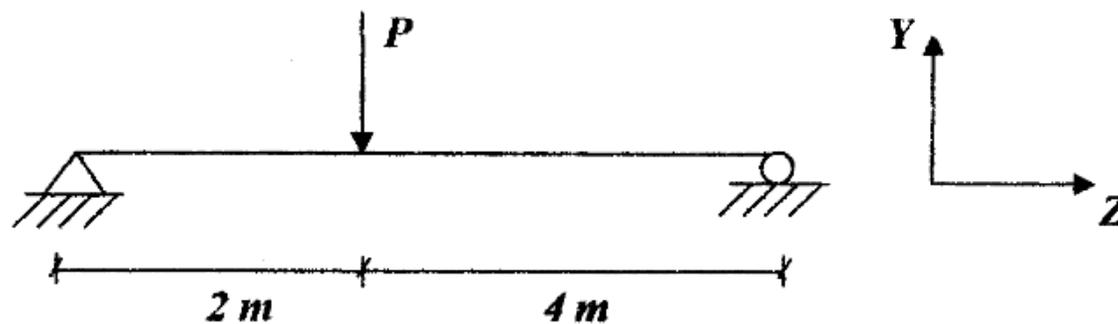


	Effort tranchant	Moment de flexion	Observations
$R_A = \frac{P \cdot b}{L} \quad R_B = \frac{P \cdot a}{L}$ <p>Charge concentrée P</p>	$V_{AC} = -R_A \quad V_{CB} = R_B$	$M_0 = \frac{P \cdot a \cdot b}{L} \text{ pour } x_0 = a$	<p>La flèche est maximale pour $x = \sqrt{\frac{L^2 - b^2}{3}}$</p> $f = -\frac{Fb(L^2 - b^2)^{3/2}}{9\sqrt{3}E.I.L}$ $\theta_A = \frac{F \cdot a \cdot b \cdot (L + b)}{E.I.L}$ $\theta_B = \frac{F \cdot a \cdot b \cdot (L + a)}{E.I.L}$

Vérification de la résistance des éléments fléchis

Flexion simple :

EXERCICE 2 : Poutre bi-appuyée



<p> $R_A = \frac{qL}{2} \quad R_A = R_B$ Charge uniformément répartie </p>	<p> $V_A = -\frac{qL}{2} \quad V_A = -V_B$ $V(x) = \frac{q \cdot L^2}{2} - q \cdot x$ </p>	<p> $M_0 = \frac{q \cdot L^2}{8} \text{ pour } x_0 = \frac{L}{2}$ $M(x) = \frac{q \cdot x}{2} (L - x)$ </p>	<p>Flèche</p> $f = \frac{5}{384} \cdot \frac{qL^4}{EI}$ <p>pour $x = \frac{L}{2}$</p> $-\theta_A = \theta_B = \frac{q \cdot L^3}{24EI}$
--	---	--	--

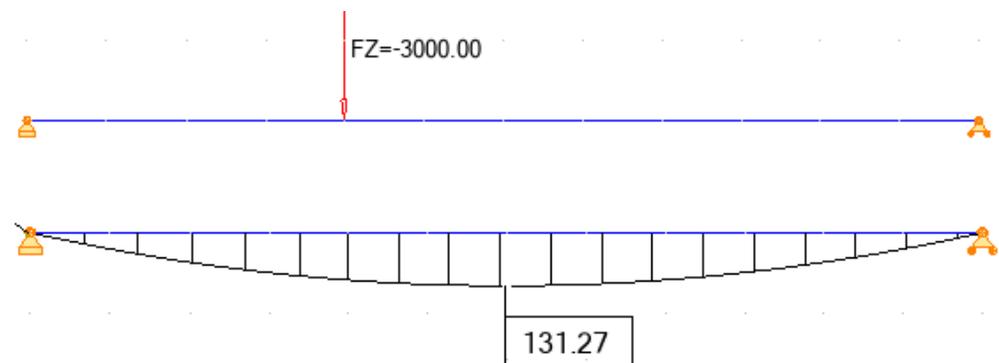
Vérification de la résistance des éléments fléchis

Flexion simple :

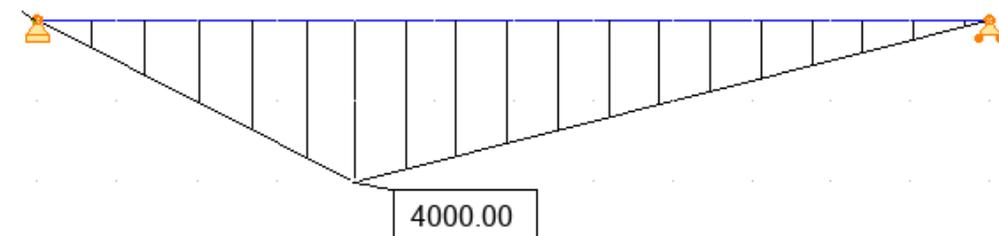
EXERCICE 2 : Poutre bi-appuyée

Diagramme des moments
flechissants

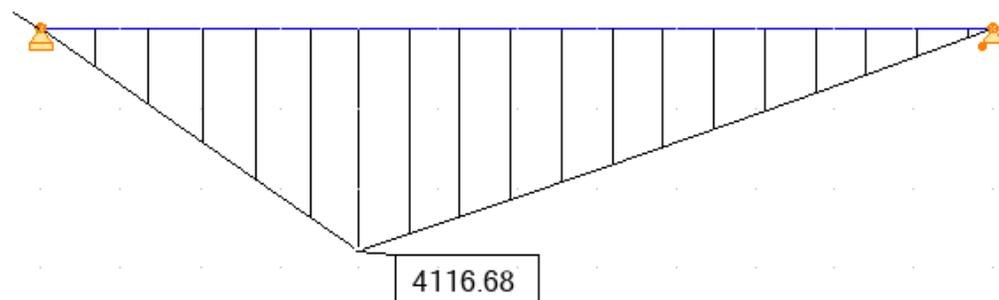
$$1.33 \times G$$



$$1.5 \times P = 3t$$



$$1.33 \times G + 1.5 \times P$$

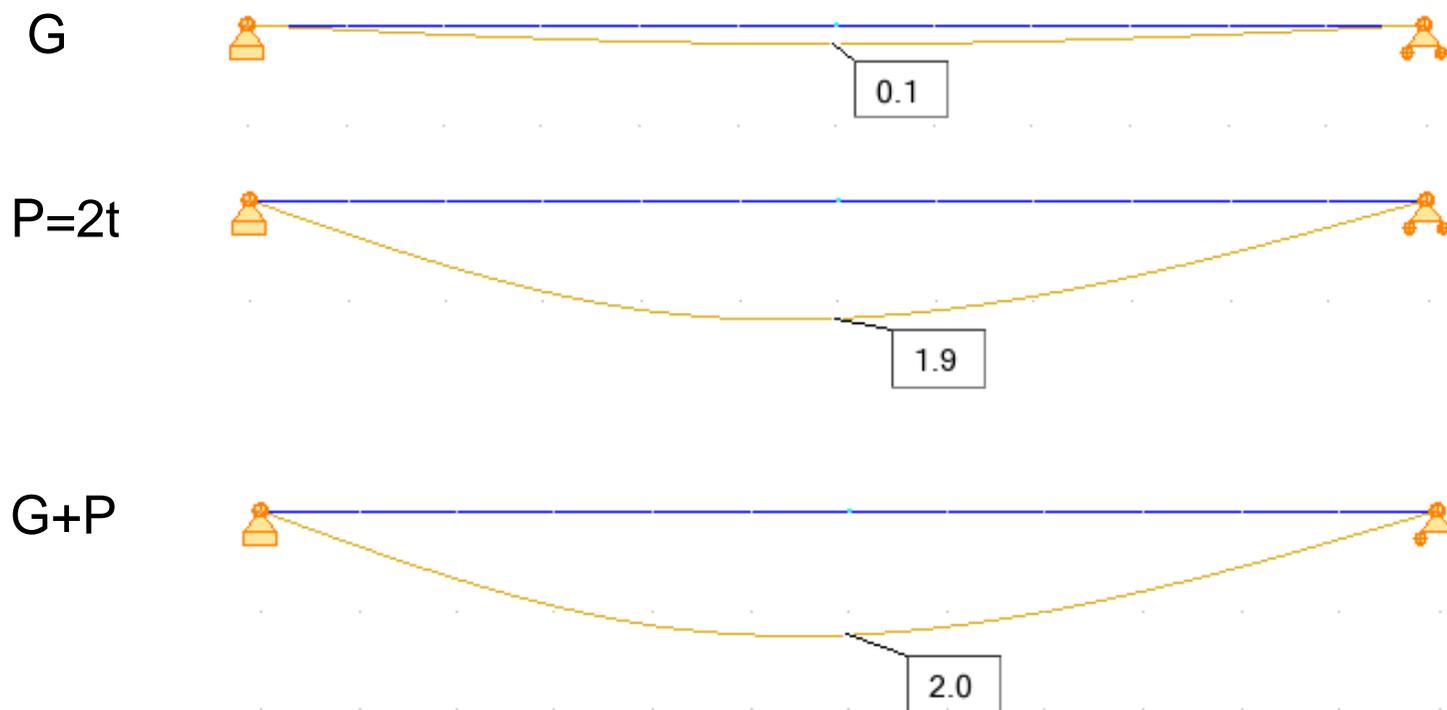


Vérification de la résistance des éléments fléchis

Flexion simple :

EXERCICE 2 : Poutre bi-appuyée

Flèche en cm

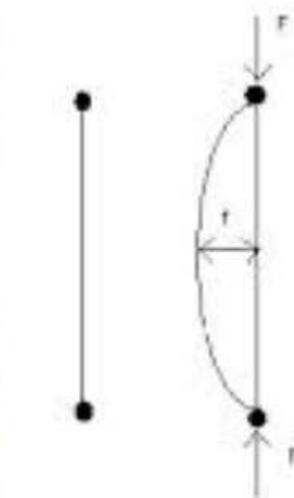
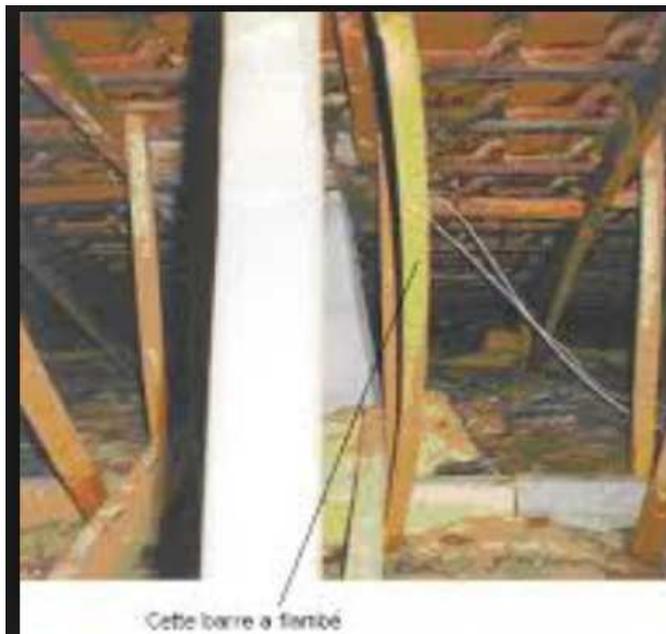


Les phénomènes d'instabilité

LE FLAMBEMENT

LE DEVERSEMENT

LE VOILEMENT

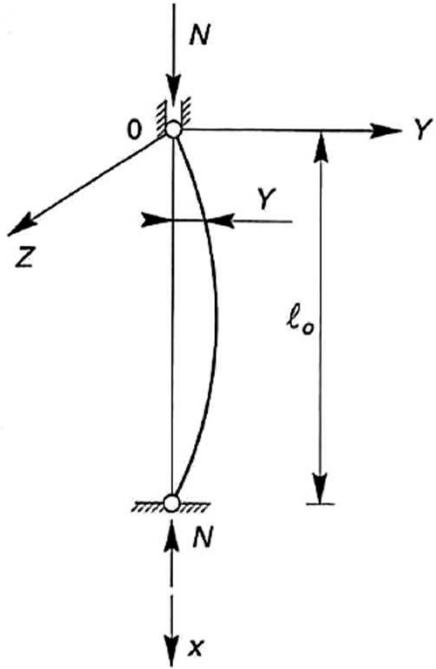


F : compression dans la barre
t : déformation de flambement



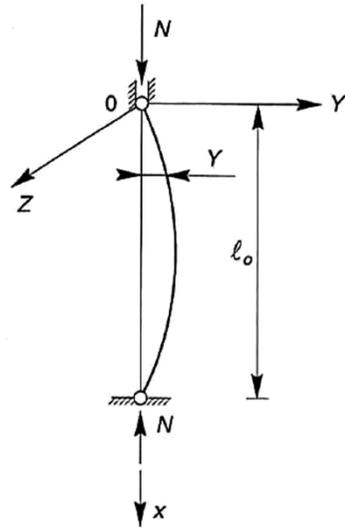
Les phénomènes d'instabilité

LE FLAMBEMENT



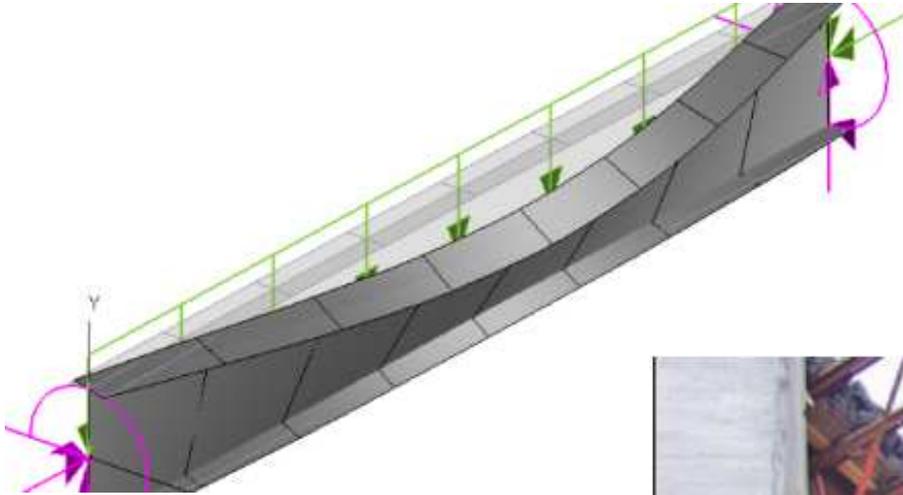
Les phénomènes d'instabilité

LE FLAMBEMENT



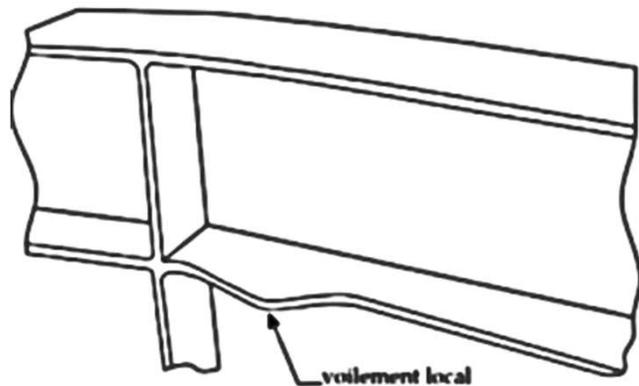
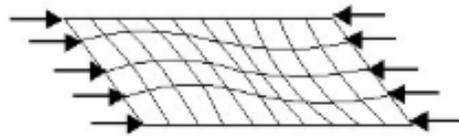
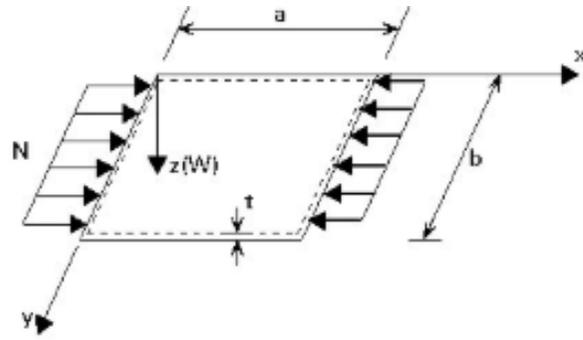
Les phénomènes d'instabilité

LE DEVERSEMENT



Les phénomènes d'instabilité

LE VOILEMENT



Vérification de la résistance des éléments comprimés

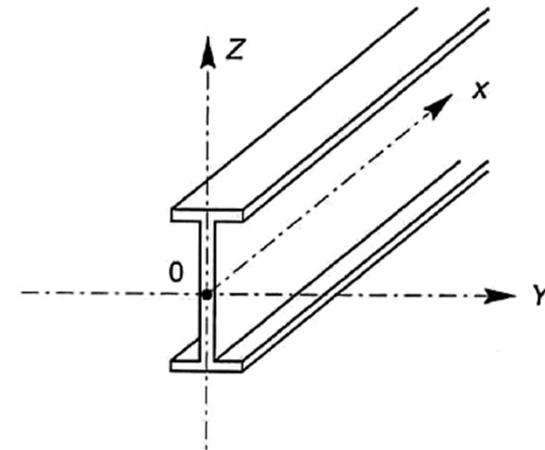
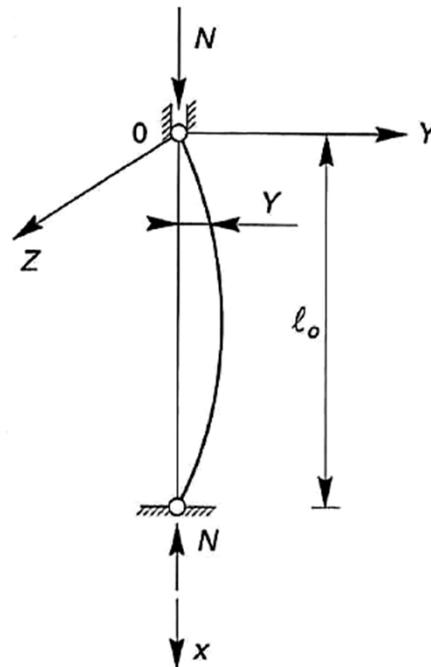
Les phénomènes d'instabilité élastique - **LE FLAMBEMENT**

La théorie d'Euler est fondée :

- Sur une poutre droite, bi-articulée à ses extrémités.
- Soumise à un effort normal de compression centré N .
- Grand élancement : dimensions transversales sont faibles en regard de la longueur.
- Oy l'axe fort.

La valeur critique de N pour que la poutre fléchisse est :

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{\ell_0^2}$$



Vérification de la résistance des éléments comprimés

Les phénomènes d'instabilité élastique - LE FLAMBEMENT

L'effort critique est :

$$N_k = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2}$$

La contrainte critique est

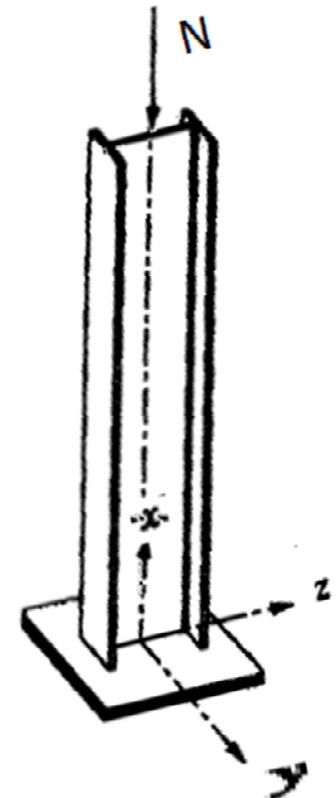
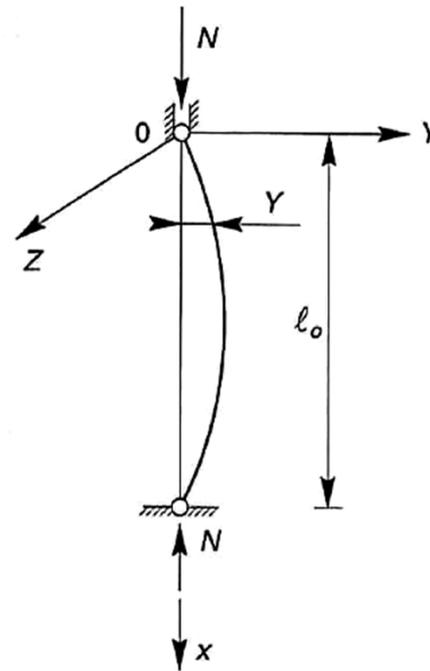
$$\sigma_k = \frac{N_k}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

Élancement maximal

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

Rayon de giration minimal, correspondant à l'inertie I minimale



Vérification de la résistance des éléments comprimés

Les phénomènes d'instabilité élastique - LE FLAMBEMENT

Pour une poutre autre que bi-articulée la contrainte critique d'Euler est

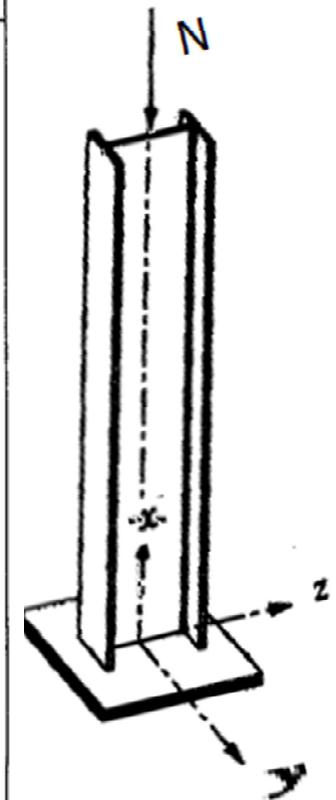
$$\sigma_k = \frac{N_k}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

l_0 : Longueur réelle de la barre.

l_k : Longueur de flambement.

CONDITIONS D'APPUIS		m	l_k
		1	l_0
	encastrement parfait	2	$0,7 l_0$
		4	$0,5 l_0$
	encastrement élastique	$1 < m < 2$	$> 0,7 l_0$
		$\frac{1}{4}$	$2 l_0$



Vérification de la résistance des éléments comprimés

Aspect réglementaire du flambement - Vérification selon les règles CM 66 (Chapitre 3,4)

Flambement simple

Il faut vérifier que :

$$k \sigma \leq \sigma_e$$

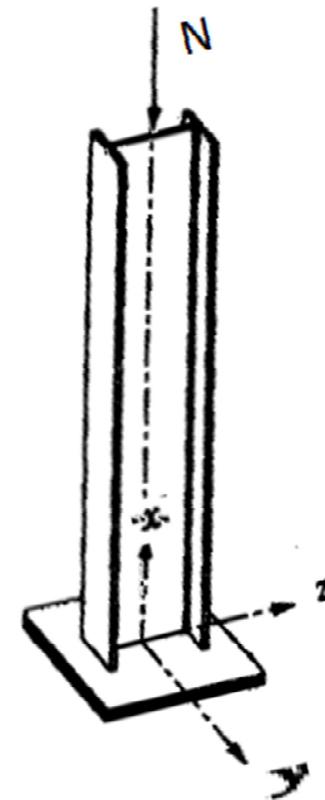
avec

$$k = \left(0,5 + 0,65 \frac{\sigma_e}{\sigma_K}\right) + \sqrt{\left(0,5 + 0,65 \frac{\sigma_e}{\sigma_K}\right)^2 - \frac{\sigma_e}{\sigma_K}}$$

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

$$\sigma_k = \frac{N_k}{A} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$



Vérification de la résistance des éléments comprimés

Aspect réglementaire du flambement - Vérification selon les règles CM 66

EXERCICE 1 :

Quelle charge maximale N de compression peut supporter un poteau encastré en pied et libre en tête.

Caractéristiques du poteau :

Matériau S275

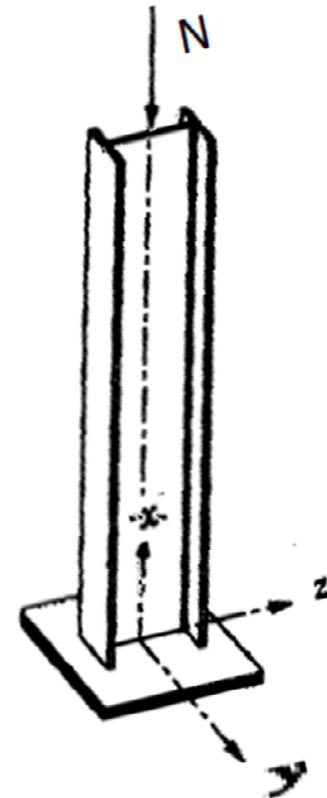
Hauteur : $h = 5\text{m}$

Section HEB 200

$$A = 7808 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 56\,961\,800 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 20\,033\,700 \text{ mm}^4$$



Vérification de la résistance des éléments comprimés

Aspect réglementaire du flambement - Vérification selon les règles CM 66

Flambement flexion

Les règles CM 66 (Chapitre 3,50) établissent la condition

$$k_1 \sigma + k_f \sigma_f \leq \sigma_e$$

$$k_1 = \frac{\mu_1 - 1}{\mu_1 - 1.3} \quad \text{avec} \quad \mu_1 = \frac{\sigma_k}{\sigma}$$
$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad \text{et} \quad \lambda = \max(\lambda_y, \lambda_z)$$

$$k_f = \frac{\mu + 0.25}{\mu - 1.3} \quad \text{avec} \quad \mu = \frac{\sigma_{ky}}{\sigma} \quad \text{et} \quad \sigma_{ky} = \frac{\pi^2 E}{\lambda_y^2}$$

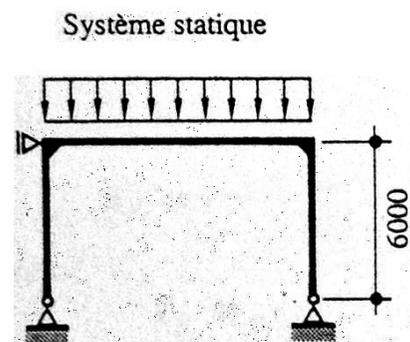
Vérification de la résistance des éléments fléchis

Exercice 2 :

HEA 240 en acier S235

$M_y = 145 \text{ kN.m}$

$N = 135 \text{ kN}$



Section HEA 240

$$A = 7684 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 77\,631\,800 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 27\,688\,100 \text{ mm}^4$$

$$I_y/v_y = 675100 \text{ mm}^3$$

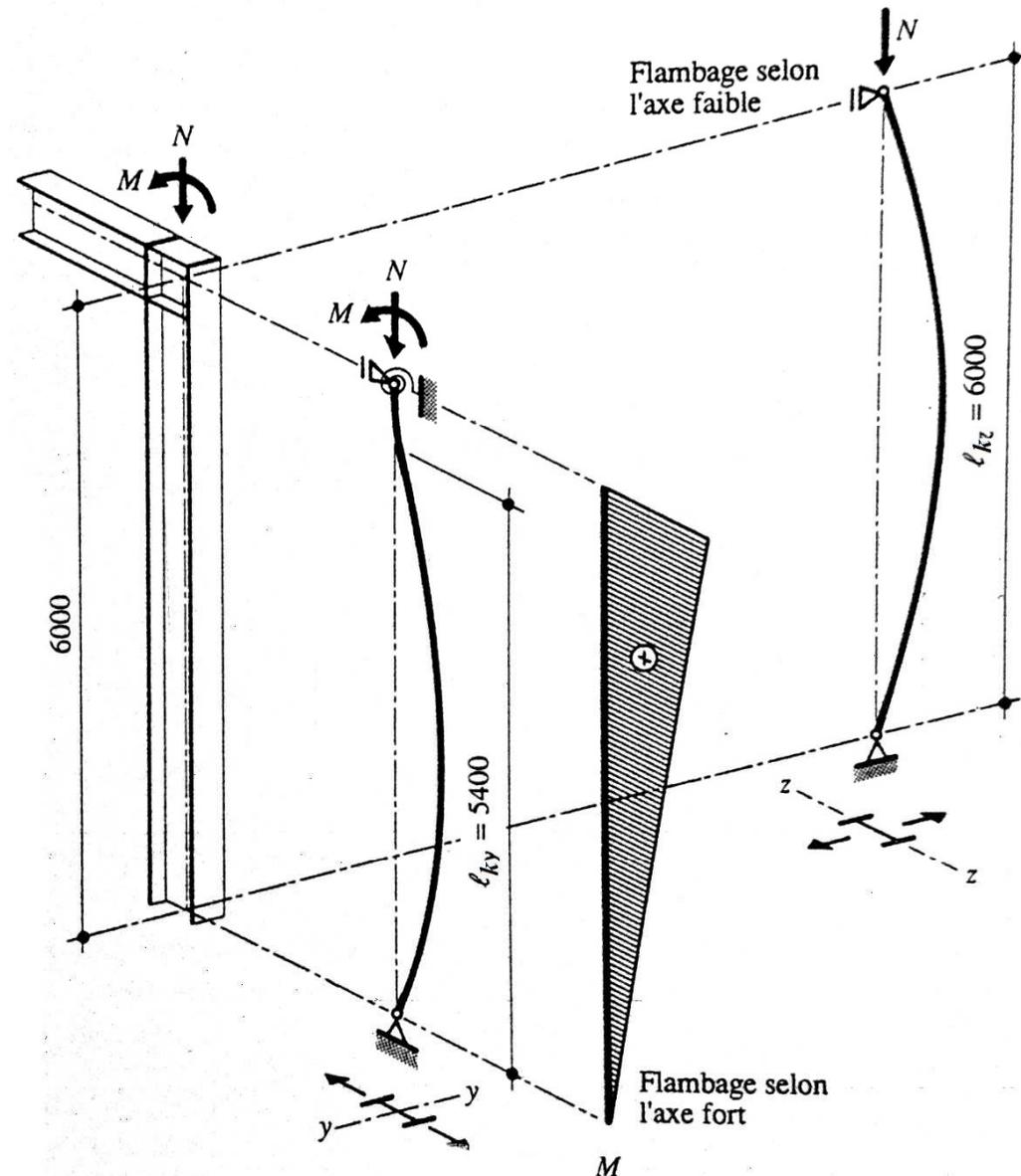
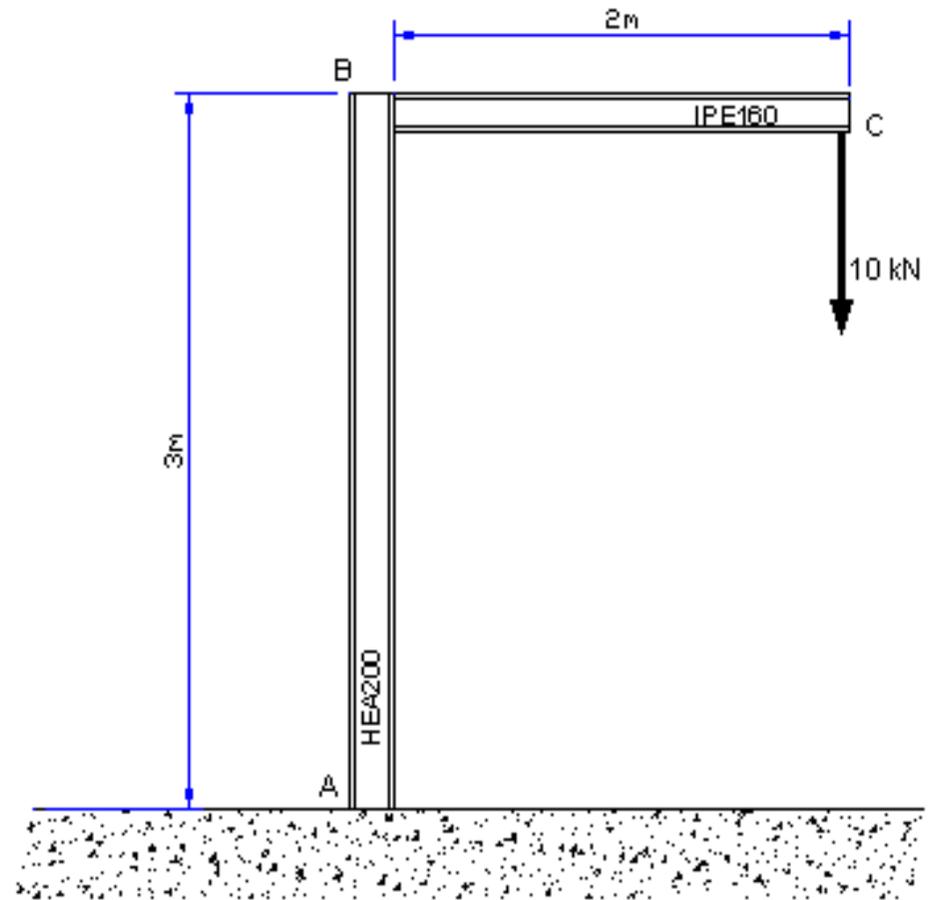
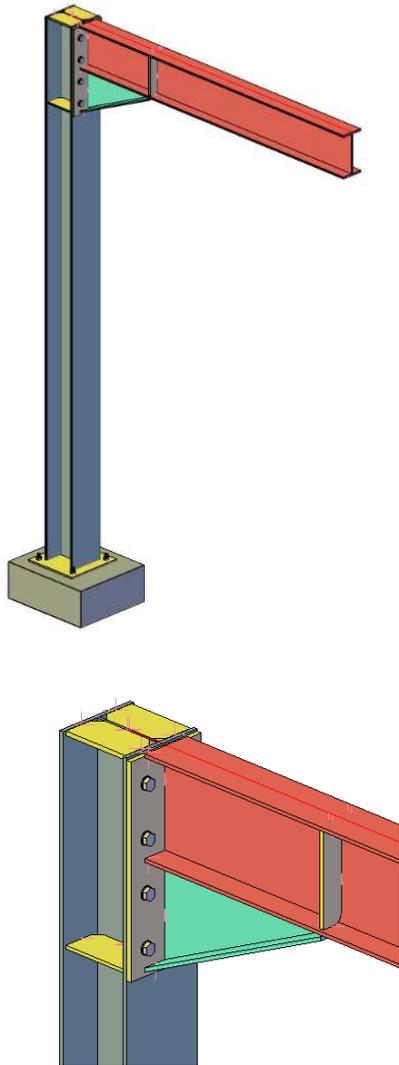


Fig. 2 Poteau comprimé et fléchi non tenu latéralement.

Vérification de la résistance des éléments fléchis

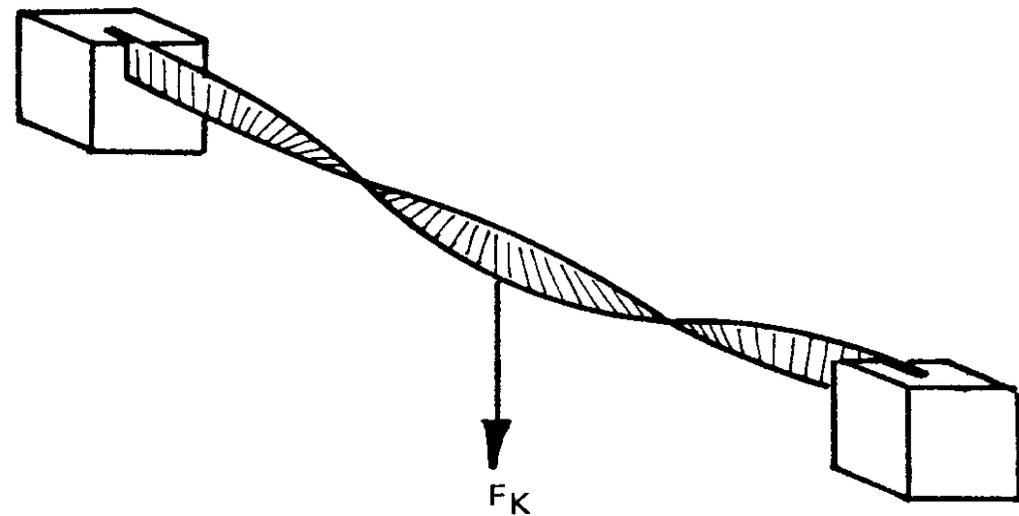
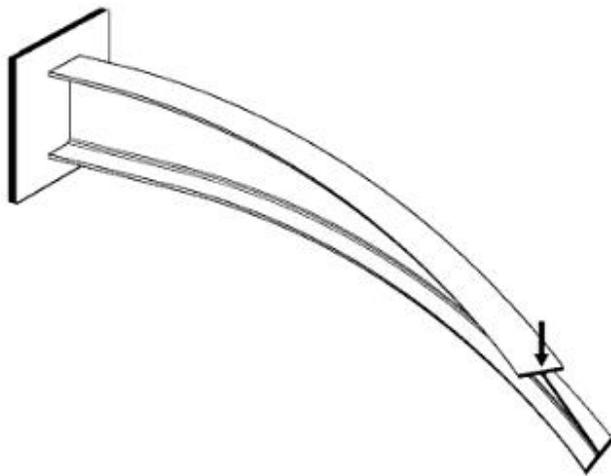


Les phénomènes d'instabilité

LE DEVERSEMENT

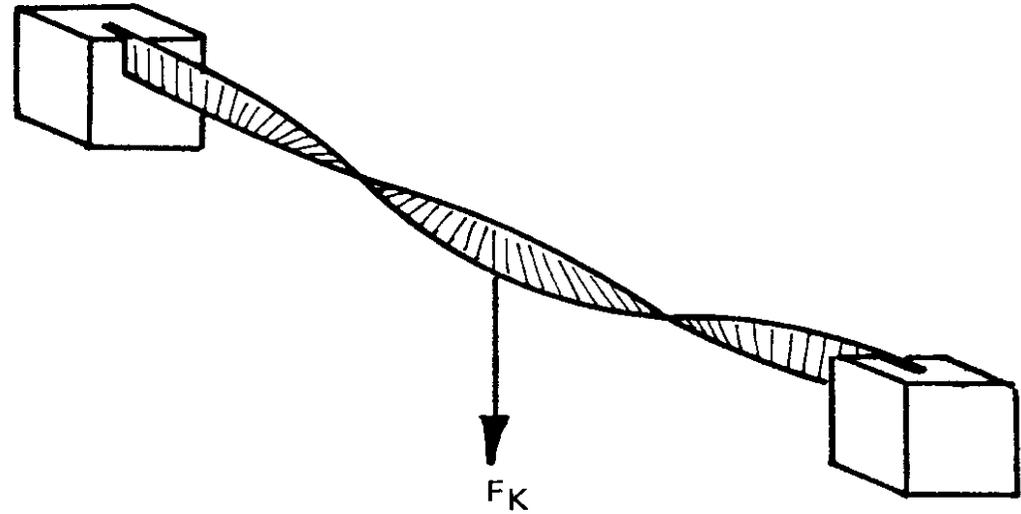
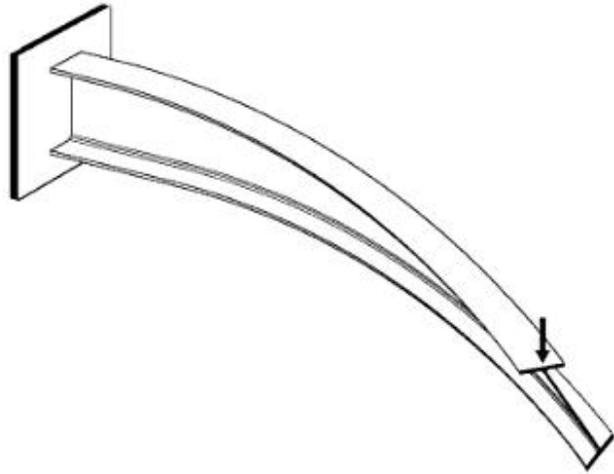
Le déversement est lié à la flexion, il s'agit d'un **flambement de l'aile comprimée** et présente des analogies certaines avec les phénomènes de flambement.

Ce phénomène se produit en général pour des poutres ayant une faible inertie à la flexion transversale et à la torsion.



Les phénomènes d'instabilité

LE DEVERSEMENT



Les phénomènes d'instabilité

LE DEVERSEMENT Comment réduire le risque du déversement

1. Choix de la forme de la section :

La résistance au déversement dépend essentiellement de la rigidité de la section en flexion EI_y et de la rigidité de la section à la torsion J .



- Augmenter le moment d'inertie en flexion transversale
- Choisir ou créer une section fermée (grande raideur en torsion)
- Renforcer la membrure comprimée

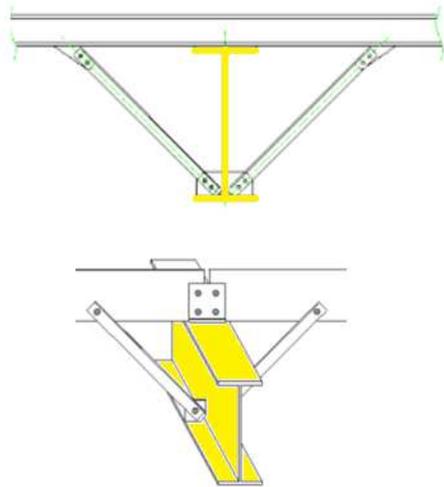
Les phénomènes d'instabilité

LE DEVERSEMENT Comment réduire le risque du déversement

2. Conditions d'appui et de retenue :

Le déversement peut être évité si l'aile en compression s'il y a des supports latéraux suffisants stables servant à retenir l'aile comprimée.

- ▶ Créer des éléments d'entretoisement pour stabiliser la poutre (bracon).



BRACON

Les phénomènes d'instabilité

LE DEVERSEMENT Comment réduire le risque du déversement

2. Conditions d'appui et de retenue :

Le déversement peut être évité si l'aile en compression s'il y a des supports latéraux suffisants stables servant à retenir l'aile comprimée.

- ▶ Créer des éléments d'entretoisement pour stabiliser la poutre (bracon).

BRACON

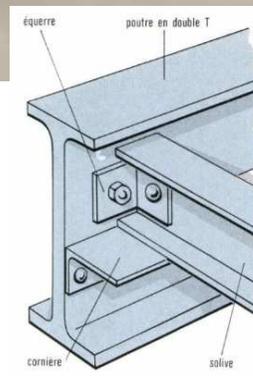
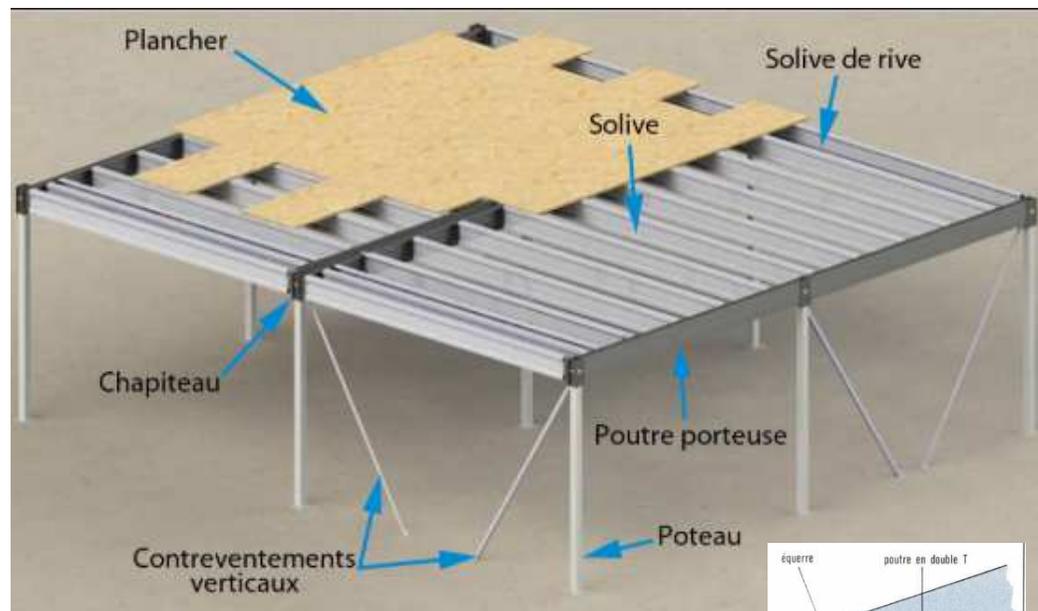


Les phénomènes d'instabilité

LE DEVERSEMENT Comment réduire le risque du déversement

2. Conditions d'appui et de retenue :

- ▶ Les éléments fixés ponctuellement sur la semelle comprimée réduisent le risque de déversement : (Solives sur poutre principale, Pannes sur traverse de portique)

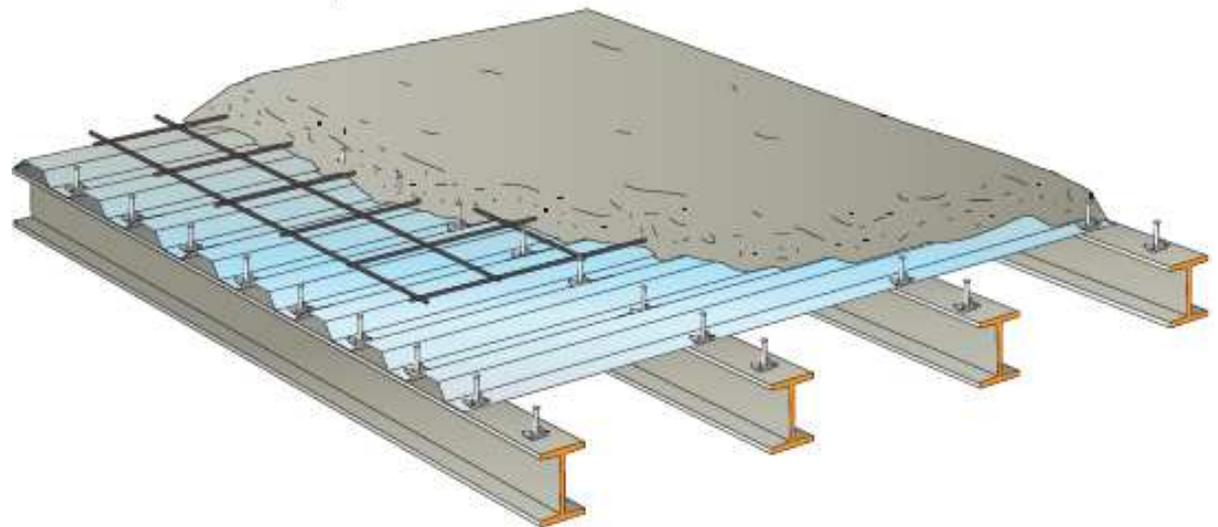


Les phénomènes d'instabilité

LE DEVERSEMENT Comment réduire le risque du déversement

2. Conditions d'appui et de retenue :

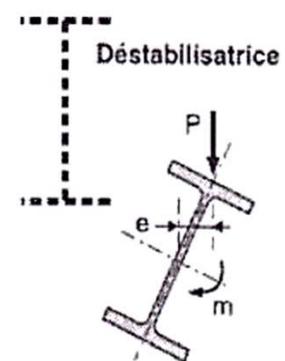
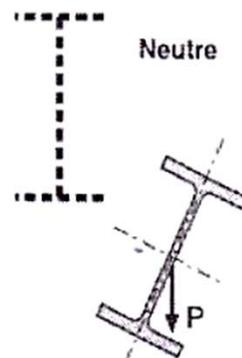
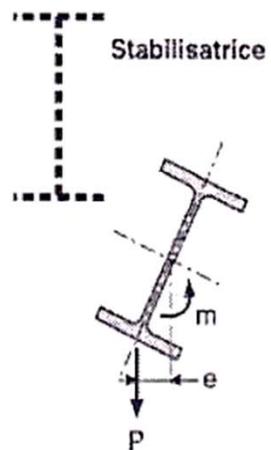
- ▶ Les éléments fixés ponctuellement sur la semelle comprimée réduisent le risque de déversement : (Solives sur poutre principale, Pannes sur traverse de portique)



Les phénomènes d'instabilité

LE DEVERSEMENT Comment réduire le risque du déversement

3. Niveau d'application des charges :



Vérification de la résistance des éléments fléchis

Aspect réglementaire du DEVERSEMENT - Vérification selon les règles CM 66

LE DEVERSEMENT

On calcul la contrainte de déversement

$$\sigma_d = 40\,000 \frac{I_y}{I_x} \frac{h^2}{\ell^2} (D-1)BC$$

D : Coefficient fonction des dimensions de la pièce. (CM66 - 3,641)

C : Coefficient fonction de la répartition des charges. (CM66 - 3,642)

B : Coefficient fonction du niveau d'application des charges. (CM66 - 3,643)

Si $\sigma_d \geq \sigma_e$ aucun risque de déversement

Si $\sigma_d < \sigma_e$ on vérifie que :

$$\sigma_f \cdot k_d \leq \sigma_e$$

$$k_d = \frac{k_0}{1 + \frac{\sigma_d}{\sigma_e} (k_0 - 1)}$$

$$\lambda_0 = \frac{\ell}{h} \sqrt{\frac{4}{BC} \frac{I_x}{I_y} \left(1 - \frac{\sigma_d}{\sigma_e}\right)}$$

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 E}{\lambda_0^2}$$

$$k_0 = \left(0,5 + 0,65 \frac{\sigma_e}{\sigma_k}\right) + \sqrt{\left(0,5 + 0,65 \frac{\sigma_e}{\sigma_k}\right)^2 - \frac{\sigma_e}{\sigma_k}}$$

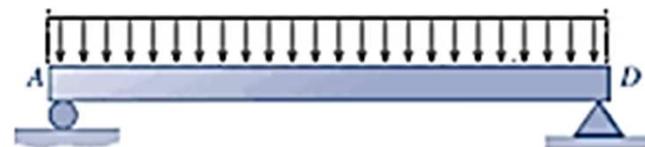
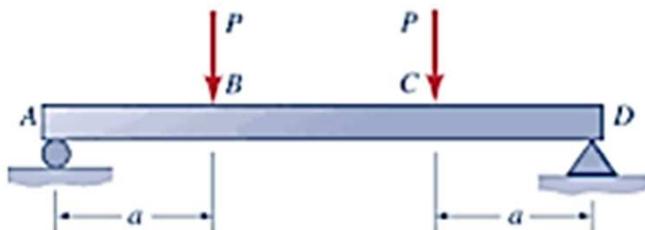
Vérification de la résistance des éléments fléchis

Aspect réglementaire du DEVERSEMENT - Vérification selon les règles CM 66

Déversement des poutres symétriquement appuyées et chargées

Conditions de la méthode :

- Profil en I doublements symétriques de section constante
- Flexion dans le plan de l'âme
- Rotation (z) bloquée au droit des appuis
- Pièces symétriquement appuyées et chargées :



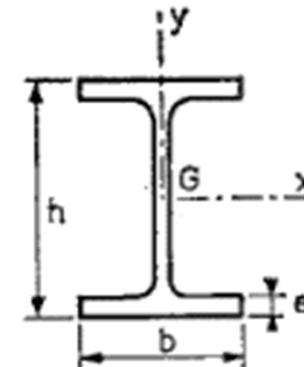
Vérification de la résistance des éléments fléchis

Aspect réglementaire du DEVERSEMENT - Vérification selon les règles CM 66

Déversement des poutres symétriquement appuyées et chargées

Calcul de D, coefficient caractéristique des dimensions de la pièce
(CM66 - 3,641)

$$D = \sqrt{1 + \frac{4 G J l^2}{\pi^2 E I_y h^2}} = \sqrt{1 + 0,156 \frac{J l^2}{I_y h^2}}$$



- h*** la hauteur de la section ;
- I_y*** son moment d'inertie par rapport à l'axe Gy perpendiculaire aux semelles ;
- J*** son moment d'inertie de torsion, dont le mode de détermination est rappelé dans l'annexe 13,601 ;
- l*** la longueur de flambement de la membrure comprimée supposée isolée du reste de la pièce ;

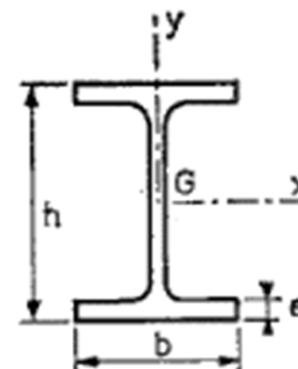
Vérification de la résistance des éléments fléchis

Aspect réglementaire du DEVERSEMENT - Vérification selon les règles CM 66

Déversement des poutres symétriquement appuyées et chargées

Calcul de D, coefficient caractéristique des dimensions de la pièce
(CM66 - 3,641)

IPE	IPN	HN et HE	
		$h > 380$ mm	$h < 360$ mm
$\sqrt{1 + \left(\frac{le}{bh}\right)^2}$	$\sqrt{1 + \left(\frac{1,08 le}{bh}\right)^2}$	$\sqrt{1 + \left(\frac{le}{1,06 bh}\right)^2}$	$\sqrt{1 + \left(\frac{le}{1,09 bh}\right)^2}$



h la hauteur de la section ;

l la longueur de flambement de la membrure comprimée supposée isolée du reste de la pièce ;

b et e la largeur et l'épaisseur de chaque semelle ;

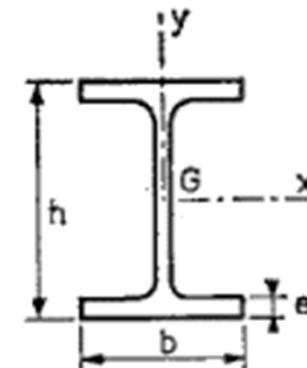
Vérification de la résistance des éléments fléchis

Aspect réglementaire du DEVERSEMENT - Vérification selon les règles CM 66

Déversement des poutres symétriquement appuyées et chargées

Calcul de C, coefficient caractéristique de la répartition longitudinale des charges
(CM66 - 3,642)

Encastrement par rapport à l'axe		Moment constant	Charge concentrée au milieu	Charge uniformément répartie	2 charges symétriques à c des appuis
Gy	Gx				
sans ($I_0 = I$)	sans	1	1,365	1,132	$1 + 2,92 \left(\frac{c}{l}\right)^3$
	avec	-	0,938	0,576	$0,1 + 1,2 \frac{c}{l} + 1,9 \left(\frac{c}{l}\right)^3$
avec ($I_0 = 2I$)	sans	1	1,076	0,972	$1 + \left(\frac{c}{l}\right)^3 \left(\frac{c}{l} - 0,93\right)$
	avec	-	0,633	0,425	$0,181 + 0,307 \frac{c}{l} + \left(\frac{c}{l} - 0,474\right)^3$



Vérification de la résistance des éléments fléchis

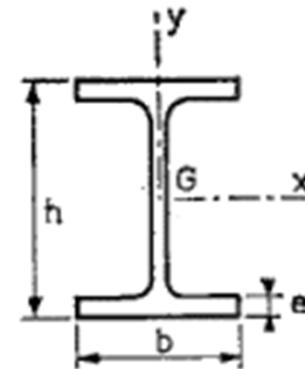
Aspect réglementaire du DEVERSEMENT - Vérification selon les règles CM 66

Déversement des poutres symétriquement appuyées et chargées

Calcul de B, coefficient caractéristique du niveau d'application des charges
(CM66 - 3,643)

$$B = \sqrt{1 + \left(\frac{y_a}{h} \frac{8\beta C}{\pi^2 D} \right)^2} - \frac{y_a}{h} \frac{8\beta C}{\pi^2 D}$$

y_a est la distance du point d'application des charges au centre de gravité de la section, comptée positivement au-dessus du centre de gravité.



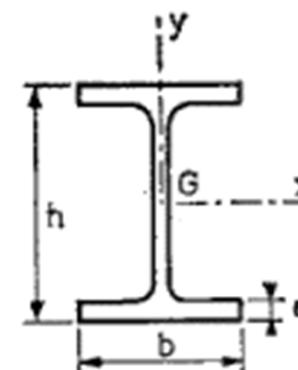
Vérification de la résistance des éléments fléchis

Aspect réglementaire du DEVERSEMENT - Vérification selon les règles CM 66

Déversement des poutres symétriquement appuyées et chargées

Calcul du coefficient β (CM66 - 3,643.1)

Encastrement par rapport à l'axe		Moment constant	Charge concentrée au milieu	Charge uniformément répartie	2 charges symétriques à c des appuis
Gy	Gx				
sans ($I_0 = I$)	sans	0	1	1	$6 \frac{c}{l} - 8 \frac{c^2}{l^2}$
	avec	-	2	3	$5 - 2 \frac{c}{l} - 8 \frac{c^2}{l^2}$
avec ($I_0 = 2I$)	sans	0	1	0,75	$5 \left(\frac{c}{l}\right)^3 \left(1,2 - \frac{c}{l}\right)$
	avec	-	2	2,25	$\frac{c^2}{l^2} \left(13 - 11 \frac{c}{l}\right)$



Vérification de la résistance des éléments fléchis

LE DEVERSEMENT – Exercice 1

Exercice 1 : On considère la poutre bi-encastée de la figure ci-après.

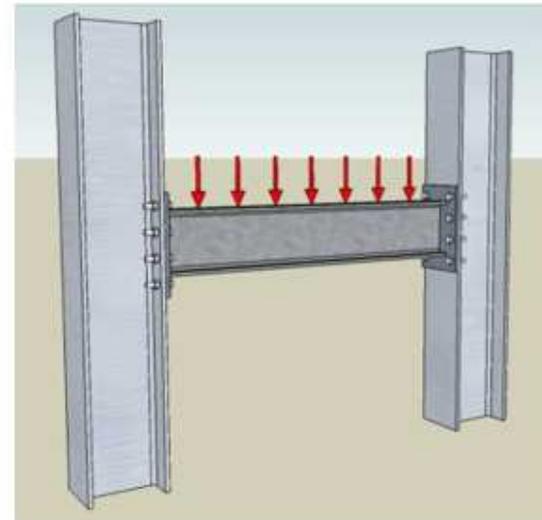
La poutre de section IPE200 et de longueur $L=4\text{m}$ supporte une charge uniformément répartie non pondérée $q=15\text{kN/m}$.

Hypothèses de calcul :

- Flèche admissible $l/300$
- Matériau S275

Questions :

1. Calculez les charges dues aux combinaisons d'action ELS et ELU.
2. Vérifiez la flèche de la poutre.
3. Vérifiez la section transversale de la poutre.
4. Vérifiez la stabilité de la poutre au déversement.



Vérification de la résistance des éléments fléchis

LE DEVERSEMENT – Exercice 1

Caractéristiques de la section de la poutre :

Profilé	h mm	b mm	e mm	Poids kg/m	A cm ²	I _x cm ⁴	I _y cm ⁴
IPE 200	200	100	8,5	22.4	28.48	1943	142,3

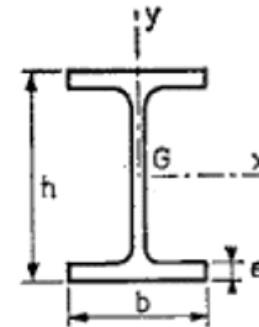
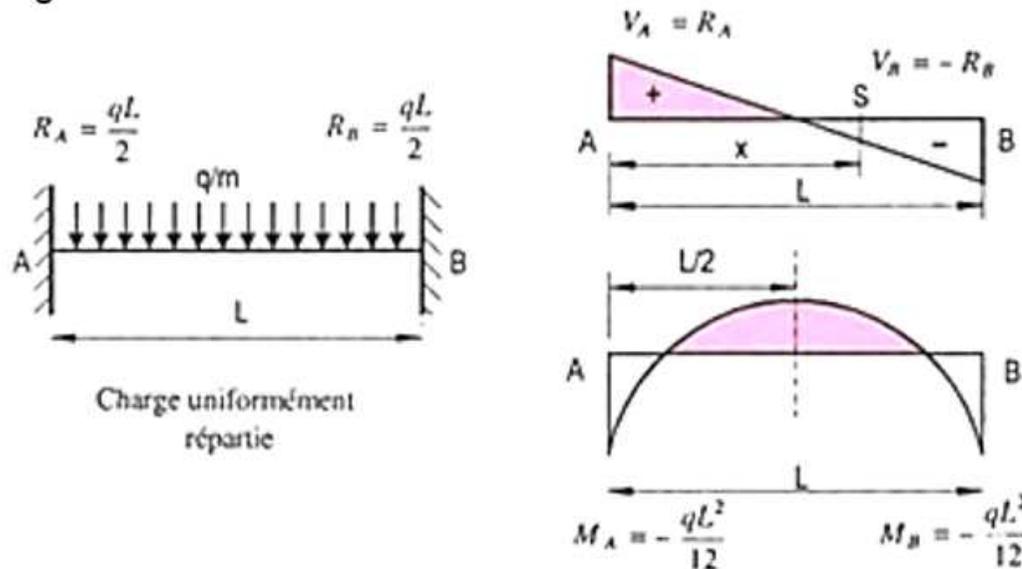


Diagramme MNT :



Pour $x_0 = L/2$:

$$V = 0$$

$$M_0 = \frac{qL^2}{24}$$

$$\text{flèche} = -\frac{qL^4}{384 EI}$$

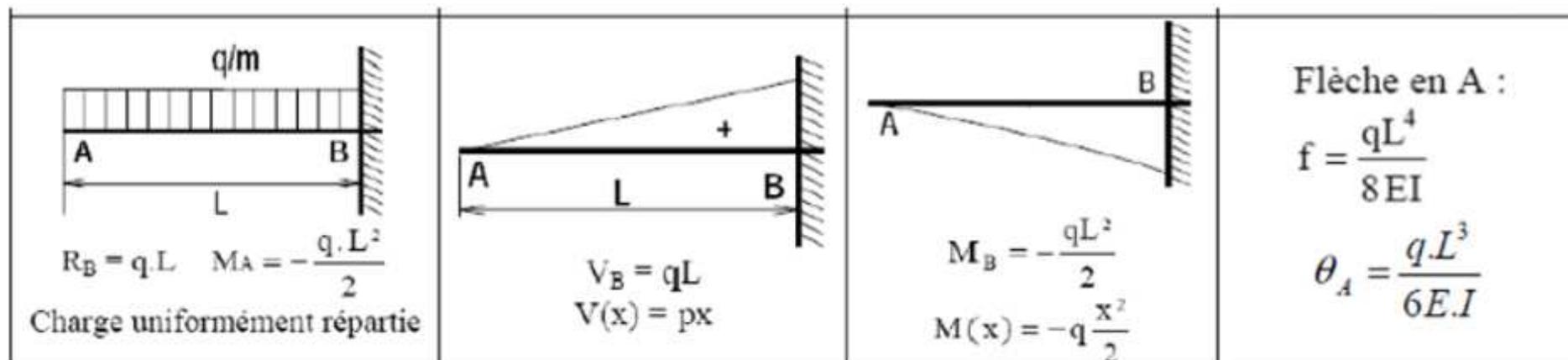
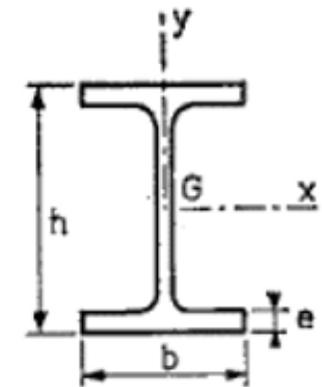
Vérification de la résistance des éléments fléchis

LE DEVERSEMENT – Exercice 1

Exercice 2 : Vérifier la résistance et la flèche d'une poutre console IPE360 de 3m de portée supportant une charge pondérée et uniformément répartie de 25kN/m. La charge sera appliquée sur l'aile supérieure de la poutre. Acier S235.

Caractéristiques de la section de la poutre :

Profilé	h mm	b mm	e mm	Poids kg/m	I_x cm ⁴	I_y cm ⁴
IPE 360	360	170	12.7	57.1	16270	1043



Vérification de la résistance des éléments fléchis

