

Chapitre 5. Calcul des pièces fléchies

5.1 Introduction

Pour étudier le comportement mécanique d'une ossature métallique sous les charges appliquées, en utilisant la méthode des éléments finis le calcul basé sur la théorie linéaire des poutres quelque soit le type de chargement.

Dans chaque section transversale et sous le chargement appliqué apparaissent des efforts internes appelés : le moment de flexion M , les efforts tranchants V qui équilibrent ce chargement et les réactions des appuis.

Les éléments fléchis dans une structure métallique et selon leurs rôles, peuvent être des profilés laminés (IPN, IPE, H, ...), des treillis, ...etc.

Généralement, les profilés en IPE sont utilisés comme des poutres principales de planchers d'un bâtiment. Les profilés en IPN, utilisé comme des poutres secondaires et des solives. Les profilés en H peuvent être utilisé pour supporter des charges importantes et considérablement (poutre de grandes dimensions, chemin de roulement,...).

Pour que les éléments fléchis (poutres) soient stables et jouent le rôle de résistance, il faut vérifier :

- La résistance sous charges pondérées ;
- La déformation sous charges non pondérées ;
- La stabilité contre les phénomènes d'instabilité.

5.2 Classification des sections transversales

Les sections transversales sont répertoriées en 4 classes par l'E.C.3. Ce classement est effectué selon des critères divers :

- Elancements des parois ;
- Résistance de calcul ;

- Capacité de rotation plastique ;
- Risque de voilement local, etc...

Le fait de déterminer la classe d'une section permet d'avoir des renseignements sur son comportement et sa résistance et donc permet de choisir la méthode de calcul adaptée.

Tableau (5.1) Méthode de calcul en fonction de la classe de section transversale

Classe	Méthode de calcul
1	Plastique (autorisant la formation d'une rotule plastique)
2	Plastique (pas de rotule)
3	Elastique sur section complète
4	Elastique sur section efficace

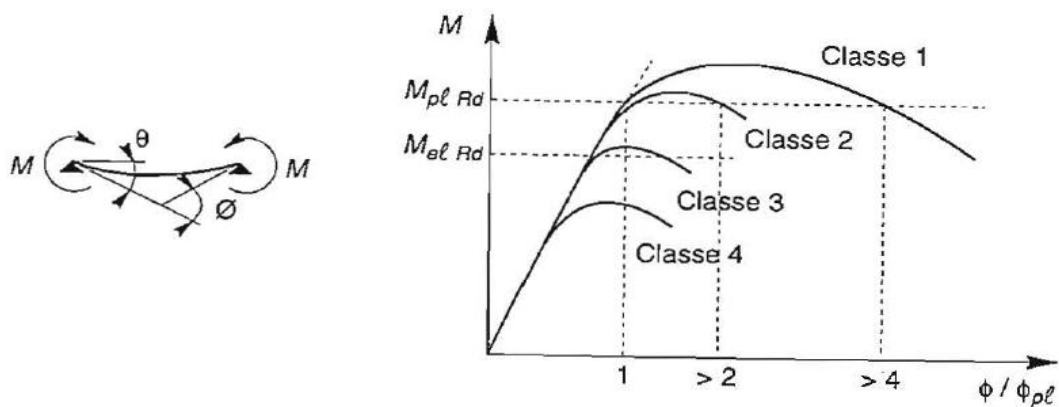


Figure (5.1) Courbes de comportements des classes des S.T.

5.3 Mécanisme de ruine

Lorsqu'une poutre métallique travaille à la flexion simple, le comportement développé dans les premières phases après l'application des charges, c'est un comportement élastique, et la valeur maximale de contrainte dans les fibres extrêmes :

$$\sigma_f = \frac{M_{el}}{W_{el}} \leq f_e$$

Avec : M_{el} : moment élastique ($M_{el} = W_{el} \cdot f_e$) ;

W_{el} : module de résistance élastique ($W_{el} = \frac{I_y}{v}$)

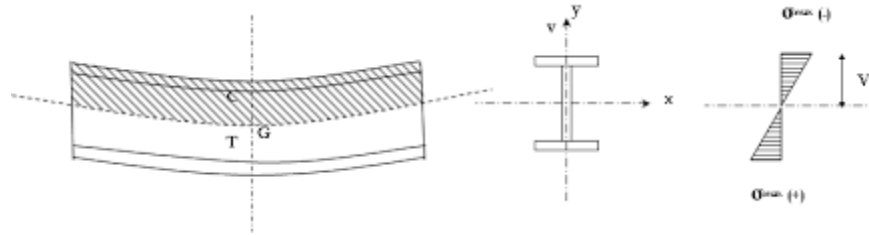


Figure (5.2) Mécanisme de ruine d'une poutre

Après certain temps, et si on augmente les charges appliquées, la poutre peut développer son comportement plastique (formation des rotules plastiques).

$$M_{pl} = W_{pl} \cdot f_y$$

Avec : W_{pl} : module de résistance plastique ($W_{pl} = 2 \cdot S$).

S : moment statique de la demi-section.

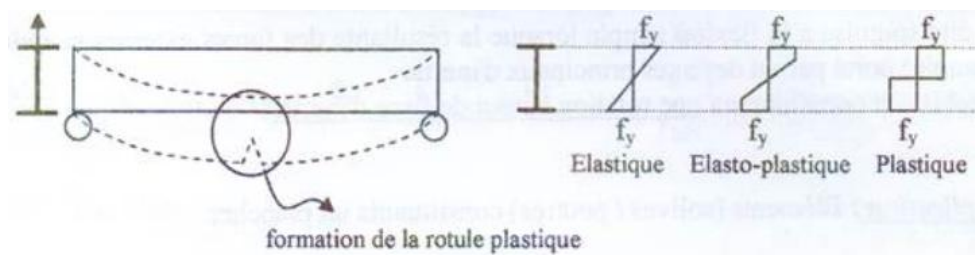


Figure (5.3) Comportements d'une poutre fléchie

5.4 Résistance d'une section transversale à un moment fléchissant

5.4.1 Section sans trous fixation

a) Flexion plastique

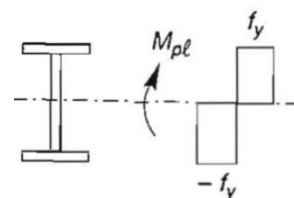
La valeur de calcul du moment M_{sd} dans chaque section transversale classée en classe 1 ou 2, doit satisfaire la condition suivante :

$$M_{sd} \leq M_{c,RD} = M_{pl,Rd} = W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Avec : $M_{c,Rd}$: résistance de calcul à la flexion;

$M_{pl,Rd}$: moment résistant plastique ;

b) Flexion élastique

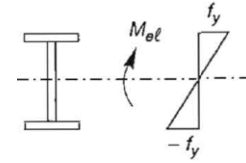


La valeur de calcul du moment M_{sd} dans chaque section transversale classée en classe 3, doit satisfaire la condition suivante :

$$M_{sd} \leq M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = W_{el} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Avec : $M_{c,Rd}$: moment résistant élastique ;

W_{el} : module de résistance élastique

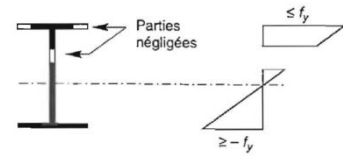


c) Flexion des sections transversales de classe 4

$$M_{sd} \leq M_0 = W_{eff} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Avec : M_0 : moment résistant au voilement local ;

W_{eff} : module de résistance de la section au voilement local ($W_{eff} = \frac{I_{eff}}{x}$).



5.4.2 Section avec trous fixation

a) Semelle comprimée

Pour les semelles comprimées, il ne faut pas tenir compte les trous (présence des boulons remplis les trous).

b) Semelle tendue

Pour les semelles tendues, il ne faut pas tenir compte les trous si la condition suivante est satisfaite :

$$0.9 \frac{A_{t,net}}{A_t} \geq \frac{f_y}{f_u} \cdot \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}}$$

Avec : $A_{t,net}$: section de la semelle tendue sans trous ;

A_t : section de la semelle tendue.

Si la condition ci-dessus n'est pas satisfaite, donc :

$$A_{t,réduite} = 0.9 A_{t,net} \frac{f_u}{f_y} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M2}}$$

5.5 Résistance d'une section transversale à l'effort tranchant

L'effort tranchant V_{sd} dans chaque S.T doit rester inférieur à l'effort tranchant résistant $V_{pl,Rd}$, soit :

$$V_{sd} \leq V_{pl,Rd} = A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right) / \gamma_{M0}$$

Avec : A_v : Aire de cisaillement;

$\frac{f_y}{\sqrt{3}}$: Contrainte tangentielle élastique τ_u pour un cisaillement pure.

L'aire de cisaillement peut être déterminée comme suit (pour un effort parallèle à l'âme).

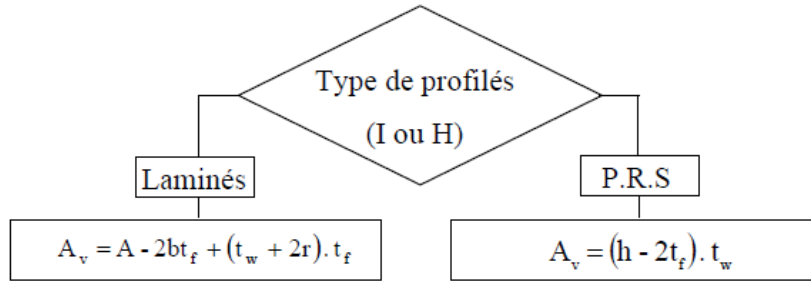


Figure (5.4) L'aire de cisaillement pour les profilés laminés et les P.R.S

5.6 Effet de l'effort tranchant sur le moment résistant

Le moment résistant plastique d'une S T est réduit par la présence de cisaillement.

Si l'effort tranchant est faible, cette réduction est négligeable (et compensée par l'écrouissage du matériau).

Si l'effort tranchant dépasse la moitié de l'effort tranchant plastique résistant, il faut prendre en compte son interaction sur le comportement résistant plastique soit :

Si :

$$\frac{V_{sd}}{V_{pl}} \leq 0.5 \rightarrow M \leq M_R$$

Si :

$$\frac{V_{sd}}{V_{pl}} > 0.5 \rightarrow M \leq M_v$$

Avec : M_R : moment résistant plastique ;

M_v : moment résistant plastique réduit du fait de l'effort tranchant, déterminé en utilisant une limite d'élasticité réduite f_{red} pour l'aire de cisaillement seule, soit :

$$f_{red} = (1 - \rho) \cdot f_y$$

Avec

$$\rho = \left(\frac{2V}{V_{pl}} - 1 \right)^2$$

Pour les sections transversales à semelles égales et fléchies suivant l'axe de forte inertie, on obtient :

$$M_v = \frac{(W_{pl} \cdot f_y - W_v \cdot f_y + W_v \cdot f_{red})}{\gamma_{M0}}$$

D'où :

$$M_v = (W_{pl} - W_v \cdot \rho) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Avec : W_v : module de résistance plastique de l'aire de cisaillement.

$$W_v = \frac{A_v^2}{4t_w}$$

Soit :

$$M_v = (W_{pl} - \rho A_v^2 / 4t_w) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

5.7 Vérification aux états limites de service

En plus des conditions de résistance auxquelles doivent satisfaire les sections transversales sous différentes sollicitations, elles doivent aussi vérifier le comportement aux états limites de service. Les flèches et les vibrations des poutres doivent être limitées afin d'éviter les effets néfastes sur l'aspect et l'utilisation effective de la structure.