

Chapitre N^o 6 Les assemblages

6.1 Introduction :

Un assemblage est un moyen permettant de réunir et solidariser plusieurs pièces entre elles ; en assurant la transmission et la répartition des diverses sollicitations entre les pièces .

Pour réaliser une structure métallique on dispose des pièces individuelles ,qu'ils convient d'assembler :

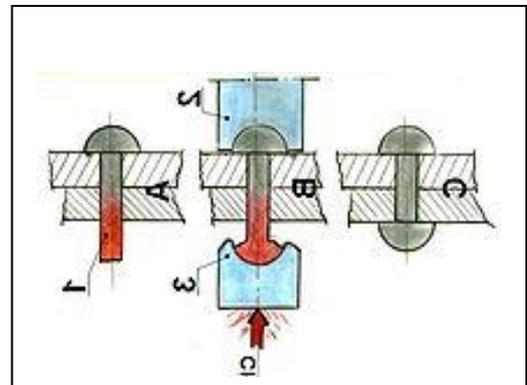
- soit bout à bout (pour assurer la continuité) p.e : poteau –poteau .
- soit concourantes (même point de départ) p .e :poteau-poutre .
- soit avec d'autre éléments de natures différentes p.e :poteau-fondation en BA

6.2 Moyens d'assemblage :

-Le rivetage :

sont des organes de liaison en acier constituée d'une tige cylindrique et d'une tête ronde, plate ou fraisé.

Les tiges des rivets doivent être chauffées avant d'être employées (1200°C) et la partie de tige qui dépasse les pièces assemblées écrasée pour former la seconde tête ,en refroidissant la tige se contracte et enserre les éléments assemblés.



du fait des difficultés inhérentes a leur mise en œuvre les assemblages par rivets pratiquement abandonnés de nos jours (reste seulement pour assembler les tôles fines)

-le boulonnage :

sont des organes de liaison en acier

Constituées par tronçon de barre ronde

fileté et une tête hexagonale ou carrée

et un écrou qui assure le serrage des pièces assemblées.



-Le soudage : est un procédé qui permet d'assembler les pièces par liaison intime de la manière obtenue par fusion ou plastification.

Le soudage à la flamme oxyacétylénique (3100 °C) et le soudage à l'arc électrique (4000 °C) sont les moyens de chauffage qui permettent d'élever la température de fusion au niveau des bords des pièces de métal à assembler.

-Le collage : peu utilisée car il s'agit d'une technique non encore réglementée qui exige une préparation des surfaces particulièrement méticuleuse ; la performance des colles ne peuvent garantir la cohésion suffisante des assemblages .

Donc nous allons examiner successivement :

Les assemblages par boulon ; et les assemblages par soudure .

1-Assemblage par Boulons :

1-1 Les Boulons Ordinaires :

Dans ce cas le cop du boulon joue un rôle de butée ,les pièces assemblées imprimant une contrainte de cisaillement au boulon et par réaction une contrainte normale sur la surface du trou dans les pièces est appelée la Pression diamétrale.

1.1.2 Caractéristiques mécaniques des boulons :

classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
fyb(mpa)	240	320	300	400	480	640	900
fub(mpa)	400	400	500	500	600	800	1000

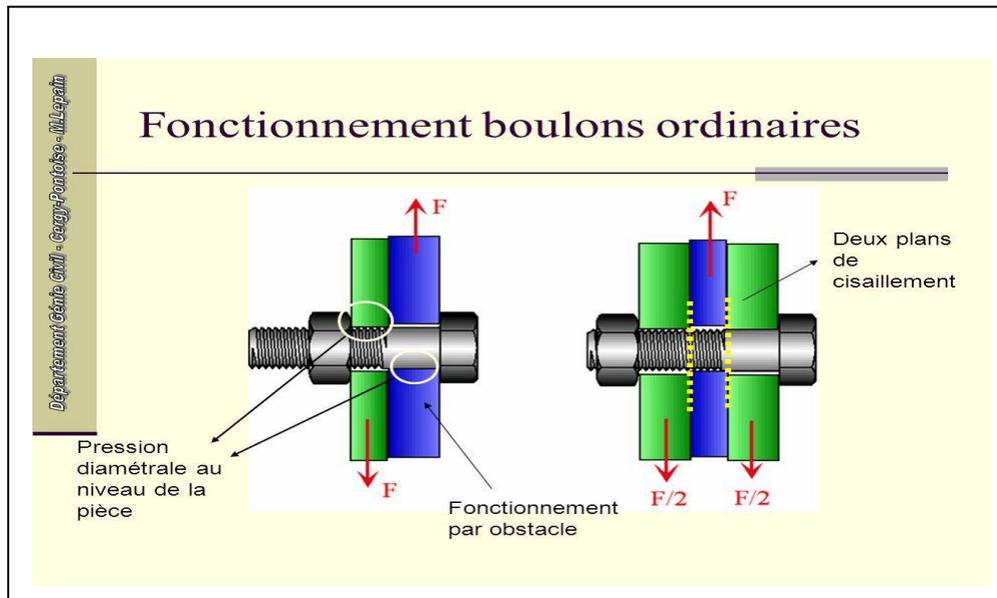
1.1.3 Caractéristiques géométriques des boulons :

Diamètre du boulon (mm)	14	16	18	20	22	24	27	30
Section résistante As(mm²)	115	157	192	245	303	353	459	561

1.1.4 Vérifications des assemblages sollicités au Cisaillement :

Dans ce cas ,il convient de vérifier : -d'une part , la résistance au cisaillement des boulons .

-d'autre part ,la résistance à la pression diamétrale des pièces assemblées .



A) la résistance au cisaillement des boulons :

A.1 La résistance des boulons au cisaillement par un plan de cisaillement :

- Pour les classes de qualité :4.6 ,5.6 ,8.8 : $F_v=0.6 f_{ub} A_b/ \gamma_{mb}$
- Pour les classes de qualité :4.8 ,5.8 ,6.8 et 10.9 : $F_v=0.5 f_{ub} A_b/ \gamma_{mb}$

Avec $A_b = A$:aire de section brute du boulon si le plan de cisaillement passe par la partie non fileté du boulon .

$A_b = A_s$: section résistante du boulon ,Si le plan de cisaillement passe par la partie fileté du boulon .

$\gamma_{mb}=1.25$ coefficient de sécurité des boulons au cisaillement.

B) La résistance des pièces assemblées à la pression diamétrale :

$$F_B=2.5 \alpha f_u d t / \gamma_{mb} \quad \text{ou} \quad \alpha=\min (e_1/3d_0, P_1/3d_0 - 0.25, f_{ub}/f_u ,1)$$

d_0 : diamètre du trou $d_0=d+1$ à 2 mm. d :diamètre du boulon . t :l'épaisseur de l pièce

$$1.2d_0 \leq e_1 \leq \text{Max} (12t,150\text{mm}) \quad \text{et} \quad 2.2d_0 \leq P_1 \leq \text{Min}(14t,200\text{mm})$$

1.1.5 Vérifications des assemblages sollicités à la traction :

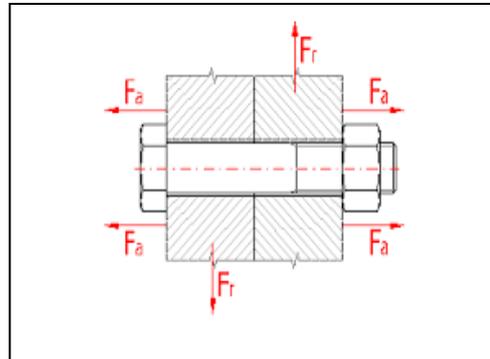
La résistance en traction des boulons est : $F_T = 0.9 f_{ub} A_s / \gamma_{mb}$

$\gamma_{mb} = 1.50$ coefficient de sécurité des boulons à la traction .

1.1.6 Vérifications des assemblages sollicités simultanément à la traction et au cisaillement :

Les boulons soumis à des efforts combinés de cisaillement V et de traction T doivent satisfaire aux conditions suivante :

$$V/F_v + T/1.4 F_T \leq 1$$



* le Soudage :

le Soudage présente, par rapport au boulonnage plusieurs avantages : - il assure la continuité de matière (garantit une bonne transmission des sollicitations).

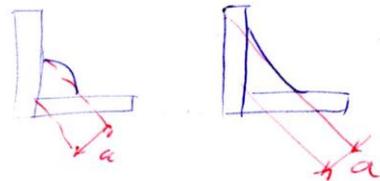
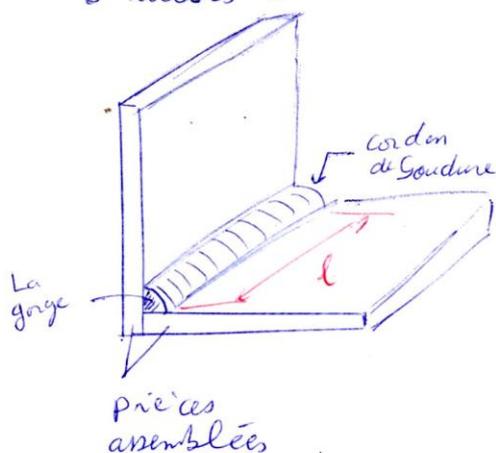
- il dispense de pièces secondaires (goussets, attaches, etc -)

- il est de moindre encombrement et plus esthétique que le boulonnage.

En revanche, le Soudage exige un main d'œuvre qualifiée matériel spécifique et coûteux.

principe de Soudage :

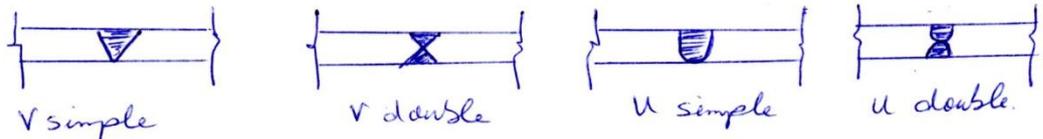
Le principe du Soudage consiste à créer une continuité de la matière entre deux pièces différentes, cette continuité est obtenue par la création d'un cordon de soudure provenant de la fusion d'une partie des pièces à assembler (métal de base) et un métal d'apport sous forme d'électrode, la fusion est provoquée par le passage d'un courant électrique de forte intensité entre l'électrode et le métal de base à travers d'un arc électrique.



les différents types d'assemblage soudés:

1. Assemblage bout à bout:

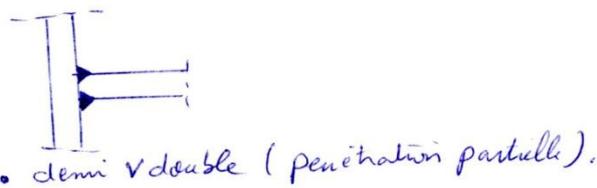
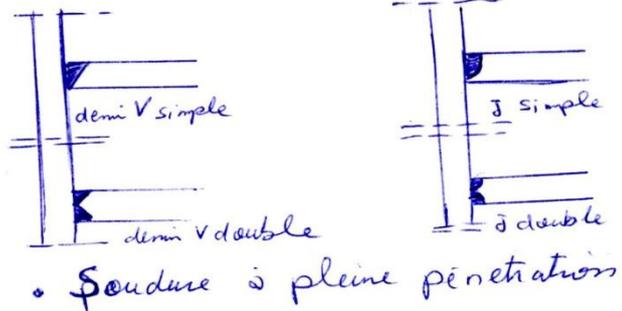
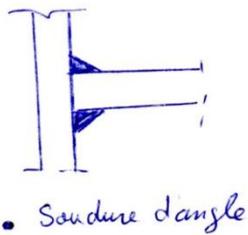
- o Soudure en bout à pleine pénétration:



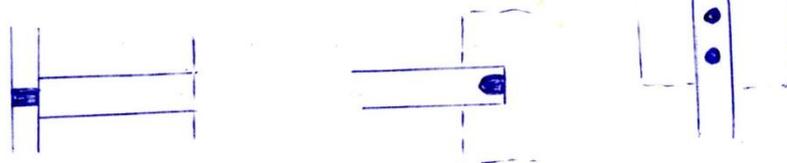
- o Soudure en bout à pénétration partielle:



2 Assemblage en T:



• Soudure en bouchon:



• Soudure en entailles:



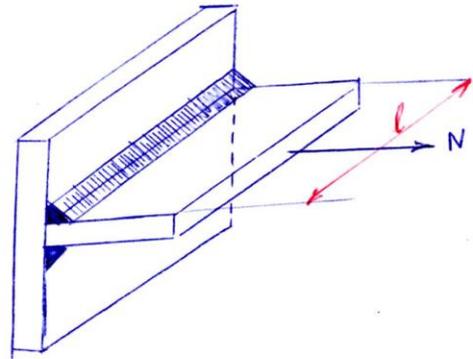
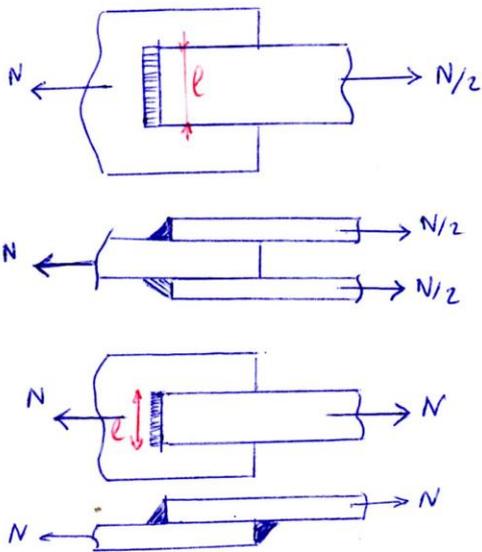
Calcul des cordons de soudure:

La soudure bout à bout ne se calcule pas, on admet qu'il y a continuité de matière à condition que,

- L'épaisseur de la soudure a soit au moins égale à l'épaisseur de la plus faible des pièces.
- Le métal d'apport ait les mêmes caractéristiques mécaniques des pièces à celle du métal de base.

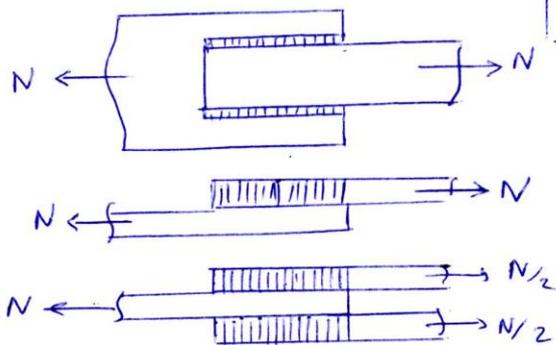
Les méthodes de calcul qui vont suivre s'appliquent donc aux soudures d'angle.

Cordons frontaux :



$$a \cdot \sum l \geq \beta_w \cdot \gamma_{mw} \cdot \frac{N\sqrt{2}}{f_u}$$

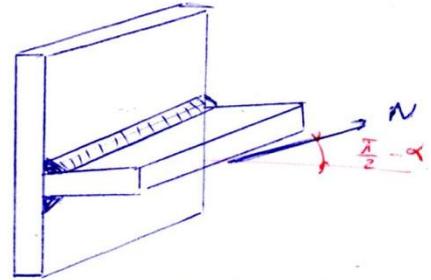
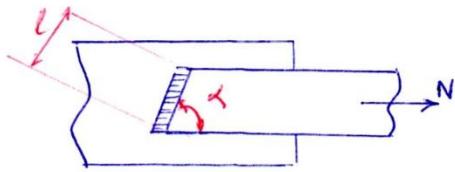
Cordons Latéraux :



$$a \cdot \sum l \geq \beta_w \cdot \gamma_{mw} \cdot \frac{N\sqrt{3}}{f_u}$$

a : épaisseur utile
 l : longueurs utiles des cordons.
 N : effort appliqué au cordon.
 β_w et γ_{mw} : variables selon la nuance d'acier.

Arbres obliques



$$a \geq l \geq \beta_w \cdot \gamma_{M2} \frac{N \sqrt{3 \sin^2 \alpha}}{f_u}$$

Les Coefficients β_w et γ_{M2}

f_y (MPa)	f_u (MPa)	γ_{M2}	β_w
235	360	1.25	0.8
275	430	1.3	0.85
355	510	1.35	0.90

Chapitre 7

Pièces soumises à la compression simple

(Phénomène d'instabilité élastique : Le flambement)

7.1 Introduction :

L'épuisement de la capacité portante des pièces comprimées peut se passer non seulement par destruction du matériau lorsque les contraintes dépassent sa résistance, mais aussi par perte de forme (rectiligne) de l'élément, même si les contraintes sont nettement inférieures à la limite d'élasticité. Le premier cas c'est la compression sans flambement par contre le 2^{ème} cas c'est la compression avec flambement.

7.2 Compression sans flambement :

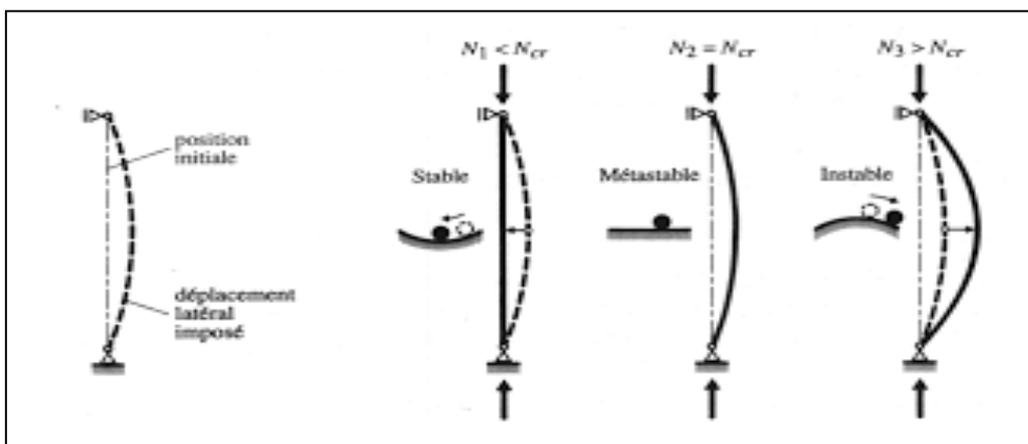
Il s'agit des pièces courtes (une pièce est courte si la hauteur ne dépasse pas 5 à 6 dimensions minimales de leur section transversale).

La vérification s'effectue de la même manière que la vérification des pièces tendues et la condition de résistance reste la même : $N_{sd} \leq N_{pl,rd} = A \cdot f_y / \gamma_{m0}$

7.3 Compression avec flambement :

7.3.1 aspect théorique du flambement :

Afin d'illustrer ce phénomène on prend un exemple d'une barre bi-articulée parfaitement rectiligne. La barre étant soumise à une charge axiale de compression N_1 qui provoque un petit déplacement latéral.



- ❖ Si la barre revient a sa position initiale lorsque la cause de ce déplacement est supprimé ; on dit quelle est en **équilibre stable**.
- ❖ Il existe une charge $N_2 > N_1$ pour laquelle la barre garde sa position déformée après la suppression de la cause du déplacement latéral quelque soit la grandeur de ce dernier ; la barre a trouver une nouvelle état d'équilibre on dit alors quelle est en **équilibre Neutre** .la charge N_2 est appelée charge critique (N_{cr}).
- ❖ Pour une charge $N_3 > N_{cr}$ la barre se déforme excessivement si la déformation augmenté et devient inacceptable le système est alors **instable**.

L'étude de la stabilité d'un élément comprimé consiste donc a déterminé la valeur de la charge critique pour laquelle l'élément soit en équilibre neutre.

7.3 Problème d'EULER :

La charge critique de flambement à été déterminé pour la 1^{ère} fois en 1877 par EULER ,il avait considérais une barre bi articulée à ses extrémités ;Parfaitement rectiligne a une section constante et un matériau homogène soumise à un effort de compression parfaitement centré . la barre conserve sa forme d'équilibre légèrement courbé tant que $N_{sd} < N_{cr}$; la valeur la plus petite de N_{cr} s'obtient par l'expression suivante :

$$N_{cr} = \pi^2 E I / L_f^2$$

La force critique d'Euler N_{cr} correspond une contrainte critique : $\sigma_{cr} = N_{cr}/A$

$$\sigma_{cr} = \pi^2 E I / A L_f^2 = \pi^2 E i^2 / L_f^2 \dots\dots\dots i = \sqrt{I / A} : \text{rayon de giration .}$$

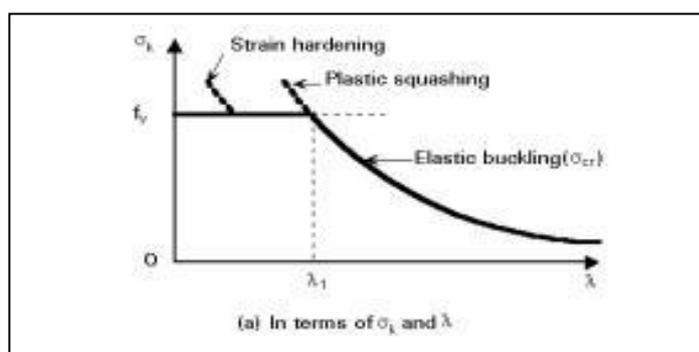
$$\lambda = L_f / i \dots\dots\dots \lambda : \text{c'est l'élancement .}$$

$$\text{Finalement : } \sigma_{cr} = \pi^2 E / \lambda^2 .$$

N_{cr} : force critique d'Euler . E : module de Young . I : moment d'inertie .

L_f : longueur de flambement . A : la section brute de la barre .

La courbe (λ, σ_{cr}) :



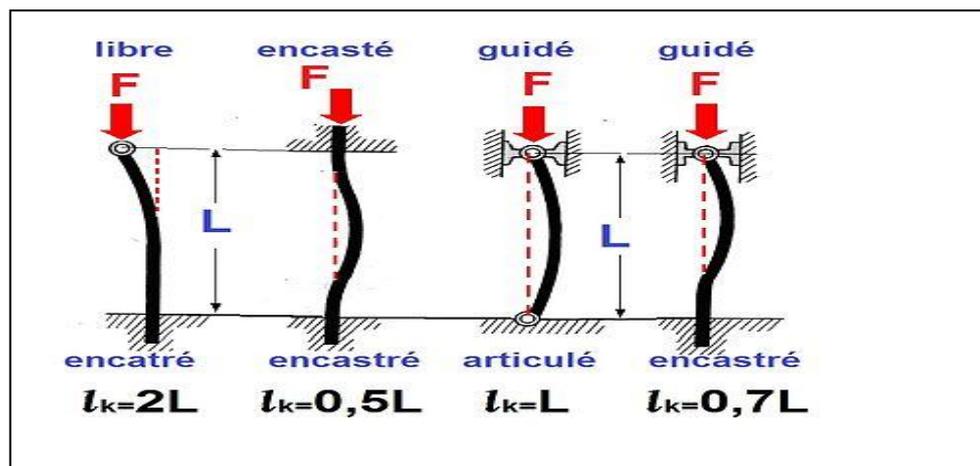
$\sigma_{cr} > f_y$: aucun risque de flambement n'est à craindre et la ruine survient lorsque $\sigma = f_y$

$\sigma_{cr} < f_y$: il y a ruine par flambement dès lors que $\sigma = f_y$.

$\sigma_{cr} = f_y$: c'est un point remarquable il correspond le plus grand élancement pour lequel la section transversale du poteau est utilisée au maximum de sa capacité de résistance.

7.3.2 la longueur de flambement L_f :

La longueur de flambement d'un élément comprimé est la plus grande distance séparant deux points d'inflexion de la déformée,



7.3.1 l'aspect réglementaire du flambement :

La résistance au flambement d'une barre simplement comprimée fait l'objet du **Paragraphe 5.5.1 de l'EC3**.

Une barre soumise à un effort axial de compression de calcul N_{Sd} doit satisfaire à la condition :

$$N_{Sd} \leq N_b \cdot R_d$$

$N_b \cdot R_d$: est la résistance de calcul vis-à-vis du flambement prise égale à :

$$N_b \cdot R_d = \chi \beta_A A f_y / \gamma_{M1}$$

γ_{M1} : est le coefficient partiel de sécurité pour la résistance des éléments aux instabilités $\gamma_{M1} = 1,1$.

β_A : est un coefficient qui est fonction de la classe de la section.

- pour les sections de Classe 1, 2 ou 3 : $\beta_A = 1$

- pour les sections de Classe 4 : $\beta_A = A_{eff} / A$ ou A_{eff} : est la section efficace .

χ : est le coefficient de réduction pour le sens de flambement à considérer. Ce coefficient doit être calculé à partir de l'élancement réduit λ et de la courbe de flambement appropriée. Lorsque le flambement est à considérer par rapport aux deux axes principaux d'inertie, on retient la valeur la plus faible des deux coefficients : $\chi = \text{Min}(\chi_y, \chi_z)$

L'élancement réduit est défini par : $\lambda = \sqrt{(\beta_A A f_y / N_{cr})} = (\lambda / \lambda_1) \sqrt{\beta_A}$

λ : est l'élancement pour le mode de flambement à considérer $\lambda = Lf/i$

$\lambda_1 = 93.9 \varepsilon$ ou $\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$ f_y en MPa

Le risque de flambement n'est a considéré que si $\lambda > 0.2$. dans le cas contraire $\lambda \leq 0.2$ la ruine se manifeste par l'affaissement sous la contrainte f_y ou $\sigma_{cr} > f_y$ c'est a dire pas de risque de flambement.

Le coefficient de réduction χ est calculé par la formule : $\chi = 1 / (\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2})$ mais $\chi \leq 1$

où : $\phi = 0,5 [1 + \alpha (\lambda - 0,2) + \lambda^2]$

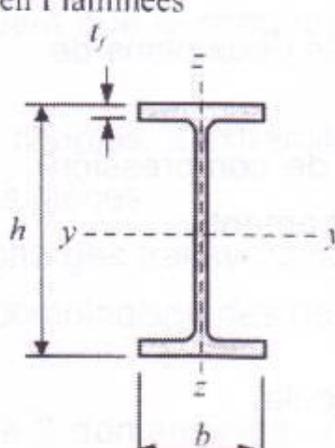
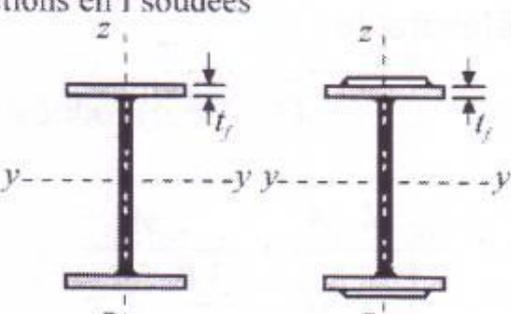
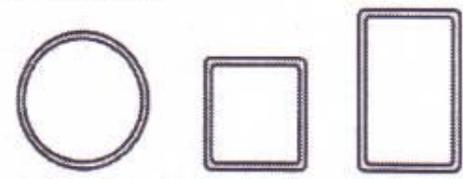
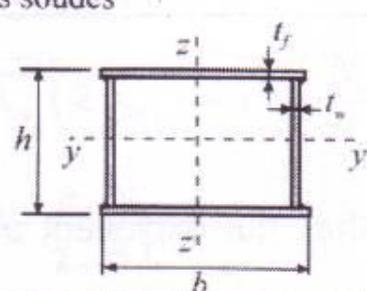
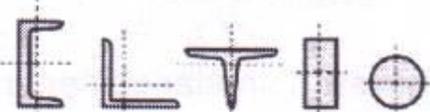
α : est le facteur d'imperfection, correspond à la courbe de flambement appropriée (a,b,c et d) prend les valeurs suivantes :

Courbe de flambement	a	b	c	D
Facteur d'imperfection α	0.21	0.34	0.49	0.76

La courbe de flambement appropriée doit être déterminée a partir le tableau 55.3 des règles CCM97 ,le choix de la courbe de flambement est fonction de :

- Le type de la section transversales (I laminée, I soudée, fers marchands.....)
- Les dimensions de la section transversales.
- L'axe de flambement YY ou ZZ.

Tableau 5.5.3 Choix de la courbe de flambement correspondant à une section

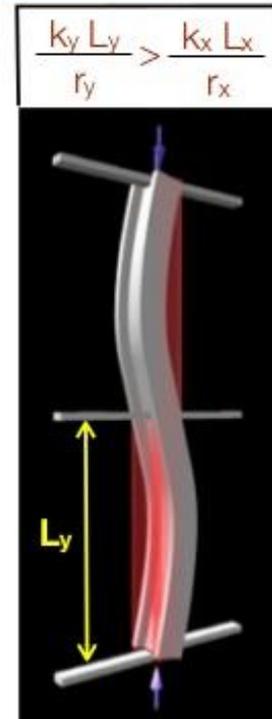
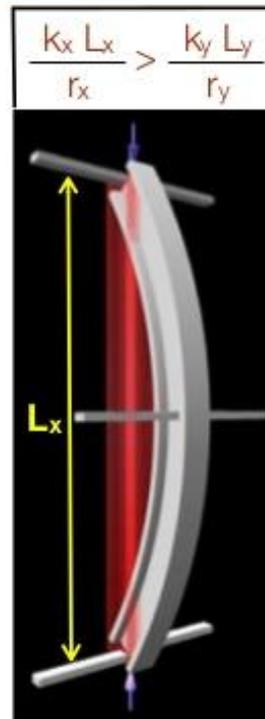
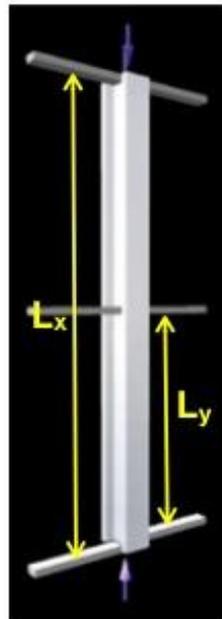
Type de section	limites	axe de flambement	courbe de flambement
Sections en I laminées 	$h/b > 1,2$: $t_f \leq 40$ mm	y - y z - z	a b
	$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$ mm	y - y z - z	b c
	$h/b \leq 1,2$: $t_f \leq 100$ mm $t_f > 100$ mm	y - y z - z y - y z - z	b c d d
Sections en I soudées 	$t_f \leq 40$ mm	y - y z - z	b c
	$t_f > 40$ mm	y - y z - z	c d
Sections creuses 	laminées à chaud	quel qu'il soit	a
	formées à froid - en utilisant f_{yb} ¹	quel qu'il soit	b
	formées à froid - en utilisant f_{ya} ¹	quel qu'il soit	c
Caissons soudés 	d'une manière générale (sauf ci-dessous)	quel qu'il soit	b
	Soudures épaisses et $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	y - y z - z	c c
Sections en U, L, T et sections pleines 		quel qu'il soit	c

¹ Voir 5.5.1.4 et figure 5.5.2

Notion d'axe fort et d'axe faible

20

Si les conditions de retenue du poteau ne sont pas les mêmes sur les deux axes principaux, le poteau flamblera selon l'axe où l'élançement (kL/r) est le plus élevé.



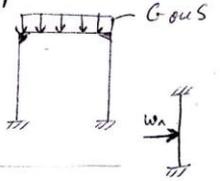
Chap 8: Flambement flexion

8.1 def: c'est un phénomène d'instabilité élastique qui affecte les pièces comprimées et fléchies c.à.d les pièces sous la flexion composée.

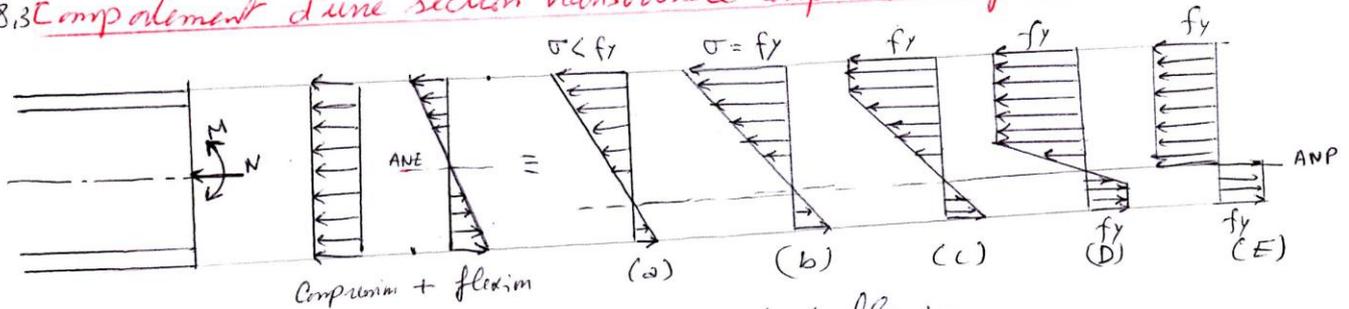
8.2 origine de la flexion composée

La flexion des éléments comprimés provient de différents type de phénomène :

1. les actions gravitaire (G ou S_n) sur les traverses (poutres)
2. les actions horizontales du vent sur les éléments verticaux
3. les actions ou les phénomènes parasites : c'est le cas des défauts de convergence des axes passant par les centres de gravité des sections (compression excentrée).

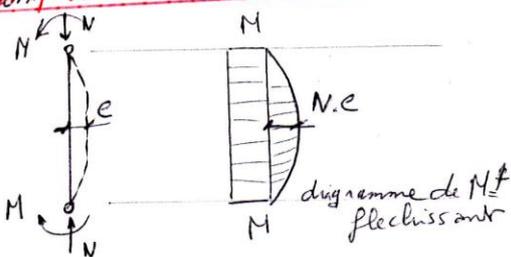


8.3 Comportement d'une section transversale comprimée et fléchie :



- a) Combinaison des actions de compression et de flexion.
- b) la fibre la plus comprimée atteinte à f_y .
- c) Seules les fibres comprimées sont plastifiées.
- d) les fibres tendues se plastifient également.
- e) la section est entièrement plastifiée (c'est la rotule plastique).

8.4 Comportement d'un poteau comprimé et fléchi :



Pour un état d'un état d'un poteau soumis à une compression combinée avec une flexion, le diagramme qui représente le moment fléchissant compte en plus du moment de flexion M, un moment supplémentaire (N.e) dû à la

déformée de l'élément c'est l'effet du 2^{ème} ordre ou l'effet P-Δ. le flambement est à craindre (dangereux) et vient d'amplifier l'effet de flexion lorsque :

$$\lambda_{max} = \max(\lambda_y, \lambda_z) > 0.2$$

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{min} \cdot \frac{A f_y}{\gamma_{m1}}} > 0.1$$

8.5 Aspect réglementaire du flambement et flexion:

• Flambement flexion (Eurocode 3 § 5.5.4.)

Les éléments sollicités simultanément en flexion et en compression axiale, doivent satisfaire à diverses conditions, selon la classe de leur section transversale.

• Sections de classes 1 et 2:

$$\frac{N}{\chi_{\min} \cdot \frac{N_{pl}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_y}{\gamma_{M1} \cdot \frac{M_{pl,y}}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_z}{\gamma_{M1} \cdot \frac{M_{pl,z}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

avec :

$$N_{pl} = A \cdot f_y$$

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

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N}{\chi_y A f_y} \quad \text{avec } k_y \leq 1.5$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2 \beta_{My} - 4) + \left(\frac{W_{pl,z} - W_{eff,z}}{W_{pl,y}} \right) \quad \text{avec } \mu_y \leq 0.9$$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N}{\chi_z A f_y} \quad \text{avec } k_z \leq 1.5$$

$$\mu_z = \bar{\lambda}_z (2 \beta_{Mz} - 4) + \left(\frac{W_{pl,x} - W_{eff,x}}{W_{pl,z}} \right) \quad \text{avec } \mu_z \leq 0.9$$

χ_{\min} est la plus petite des valeurs de χ_y et χ_z où χ_y et χ_z sont les coefficients de réduction définis précédemment et β_{My} et β_{Mz} sont les facteurs de moment uniforme équivalent pour le flambement en flexion (voir tableau page 117).

• Sections de classe 3:

Les formules établies pour les sections 1 et 2, que ce soit avec ou sans risque de déversement, restent valables à la condition de remplacer $M_{pl} = W_{pl} \cdot f_y$ par $M_{el} = W_{el} \cdot f_y$.

• Sections de classe 4:

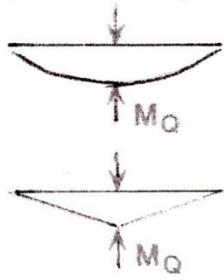
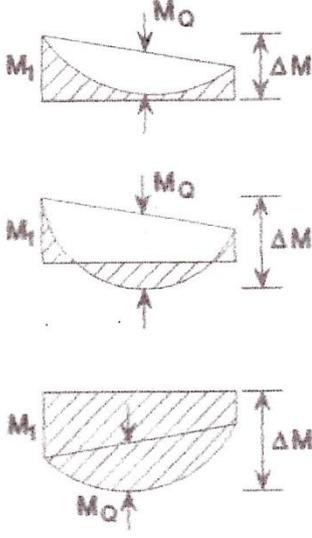
Les formules deviennent, en introduisant les sections et modules efficaces :

$$\frac{N}{\chi_{\min} \cdot A_{\text{eff}} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_y \cdot M_y + N e_{Ny}}{W_{\text{eff},y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_z + N e_{Nz}}{W_{\text{eff},z} \cdot \frac{f_z}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Si le déversement représente un mode potentiel de ruine, il faut également vérifier :

$$\frac{N}{\chi_z \cdot A_{\text{eff}} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{LT} \cdot M_y + N e_{Ny}}{k_{LT} \cdot W_{\text{eff},y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_z \cdot M_z + N e_{Nz}}{W_{\text{eff},z} \cdot \frac{f_z}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

Tableau 1 - Facteurs de moment uniforme équivalent β_M

Diagramme des moments	Facteur de moment uniforme équivalent β_M
<p>Moments d'extrémité</p>  <p>$-1 \leq \psi \leq 1$</p>	$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi$
<p>Moment créé par des forces latérales dans le plan</p> 	$\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$
<p>Moment créé par des forces latérales dans le plan et des moments d'extrémité</p> 	$\beta_M = \beta_{m,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ $M_Q = \text{Max} M \quad \text{dû aux charges transversales seulement}$ $\Delta M = \begin{cases} \text{max} M & \text{pour diagrammes de moment sans changement de signe} \\ \text{max} M + \text{min} M & \text{pour diagrammes de moment avec changement de signe} \end{cases}$