

# Université de Batna 2-Chahid Mostefa Ben Boulaid

Faculté de technologie - Département de génie civil

Cours Master : « Structures métalliques et composites »

Année académique 2020-2021

Chapitre IV – Poutres Composites Acier-Béton

Responsable du Module : Dr. Tayeb Bouzid

I- Introduction :

## 1.1 Rappel : Qu'est-ce qu'une poutre composite ?

La combinaison du matériau béton et des éléments d'armatures donne naissance à ce que l'on appelle communément des structures composites acier-béton. En associant et en liant le béton et l'acier, on réduit et parfois même on annule le glissement entre le béton et l'acier. Comme nous le savons par expérience, le béton travaille principalement en compression et la poutre en acier travaille en tension, évitant ainsi les risques d'instabilité. Ainsi, les deux matériaux travaillent dans leur plage optimale.

Une poutre composite acier-béton est constituée d'une poutre en acier, sur laquelle est coulée une dalle en béton armé avec des connecteurs de cisaillement. Comme l'action composite réduit la profondeur de la poutre, les sections d'acier laminé elles-mêmes sont souvent adéquates (pour les bâtiments) et les poutres renforcées sont généralement inutiles. La poutre composite peut également être construite avec une tôle profilée surmontée de béton, au lieu d'une dalle en béton armé coulée sur place ou préfabriquée. Les tôles profilées sont au nombre de deux.

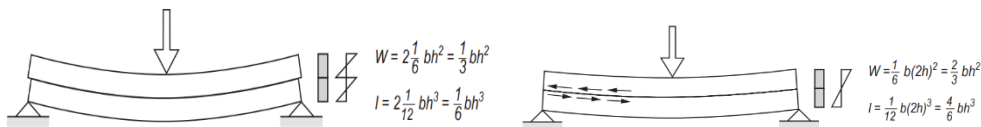


Fig. 4.1 comportement de la poutre composite

Si l'on compare ces deux schémas, on peut voir :

**Cas 1** : En doublant l'épaisseur de la section, nous doublons l'inertie de la section transversale.

**Cas 2** : Si nous utilisons une structure composite acier-béton, l'inertie de la section transversale de la structure composite sera multipliée par 4,0.

Cela montre tout l'intérêt d'utiliser la section composite acier-béton pour avoir donc une longue portée avec une structure plus légère et plus solide.

## 1.2 Classification de la section de la poutre composite :

Le flambage local des éléments d'une section en acier réduit sa capacité et doit être pris en compte dès la phase préliminaire de la conception. En raison de l'apparition d'un flambement local, les sections soumises à un moment négatif peuvent ne pas atteindre leur moment de résistance plastique ou ne pas développer la rotation plastique requise pour la redistribution du moment complet, associée à la formation d'un mécanisme plastique de la poutre. Afin de permettre une évaluation préliminaire de la résistance et de la capacité de rotation, les sections en acier peuvent être classifiées en fonction de l'élançement de la semelle et de l'âme. Par conséquent, l'effet du flambage local est pris en compte dans la conception, en limitant le rapport d'élançement des éléments, c'est-à-dire l'âme et la bride de compression.

La classification de l'âme et de la semelle de compression et les limites spécifiées par l'Eurocode 4 sont indiquées dans les tableaux 4.1 et 4.2. Les quatre comportements différents sont définies concernant quatre comportements différents de membres ou de sections qui pourraient être identifiés, selon l'importance des effets de flambage local tels que :

- **Classe 1.** Sections qui développent la pleine capacité de moment plastique et possèdent une capacité de rotation suffisante pour réaliser, dans la plupart des cas pratiques, un mécanisme plastique de poutre,
- **Classe 2.** Sections qui peuvent développer leur moment de résistance plastique, mais qui ont ensuite une capacité de rotation limitée,
- **Classe 3.** Sections qui atteignent le moment de résistance élastique associé à la déformation de l'acier dans les zones les plus sollicitées (fibre), mais pas le moment de résistance plastique,
- **Classe 4.** Sections pour lesquelles le flambement local se produit toujours dans la plage élastique, de sorte que même le moment élastique limite ne peut pas être développé et que le flambement local élastique régit la résistance.

Dans la figure 4.2, les quatre comportements décrits ci-dessus sont présentés de manière schématique.

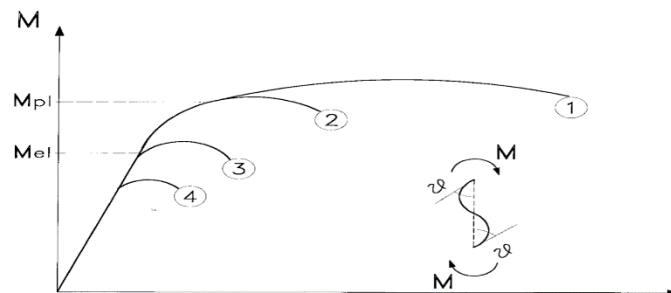




Fig. 4.2 Comportement de la section

TABLEAU 2.1 Ratios largeur/épaisseur maximums pour les toiles en acier

Eurocode 4

Webs: elements perpendicular to axis of bending)				
Class	Web subject to bending	Web subject to compression	Web subject to bending and compression	
Stress distribution (compression positive)				
1	$d/t \leq 72 \epsilon$	$d/t < 33 \epsilon$	when $\alpha > 0.5$ $d/t \leq 396\epsilon / (13\alpha - 1)$ when $\alpha \leq 0.5$ $d/t \leq 36\epsilon / \alpha$	
2	$d/t \leq 83 \epsilon$	$d/t \leq 38 \epsilon$	when $\alpha > 0.5$ $d/t \leq 456\epsilon / (13\alpha - 1)$ when $\alpha \leq 0.5$ $d/t \leq 41.5\epsilon / \alpha$	
Stress distribution (compression positive)				
3	$d/t \leq 124\epsilon$	$d/t \leq 42\epsilon$	when $\psi > -1$ $d/t \leq 42\epsilon / (0.67 + 0.33\psi)$ when $\psi \leq -1$ $d/t \leq 62\epsilon / (1 - \psi)$	
$c = 235 / f_y$	$f_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	235	275	355
	$\epsilon$	1.0	0.92	0.81

TABLEAU 2.2 Ratios largeur/épaisseur maximums pour les brides en acier en compression - Eurocode 4

Class		Type	Web not encased		Web encased
Stress distribution (compression positive)					
1	Rolled Welded		$c/t \leq 10\epsilon$ $c/t \leq 9\epsilon$		$c/t \leq 10\epsilon$ $c/t \leq 9\epsilon$
2	Rolled Welded		$c/t < 11$ $c/t \leq 10\epsilon$		$c/t \leq 15\epsilon$ $c/t \leq 14\epsilon$
3	Rolled Welded		$c/t \leq 15\epsilon$ $c/t \leq 14\epsilon$		$c/t \leq 21\epsilon$ $c/t \leq 20\epsilon$
$\alpha = 235 / f_y$	$f_y$	(N/mm <sup>2</sup> )	235	275	355
	$\epsilon$		1.0	0.92	0.81

## II- Analyse des poutres composites Acier-Béton:

### 2.1 État limite ultime :

Parmi les méthodes autorisées par l'Eurocode, on peut utiliser l'analyse linéaire élastique avec redistribution. Le calcul est effectué en deux phases :

- Analyse élastique classique en supposant un béton non fissuré en traction,
- Prise en compte des effets de la fissuration du béton sur les supports en réduisant les moments de flexion négatifs sur les supports intermédiaires d'une valeur maximale indiquée dans le tableau 5.1, tout en augmentant par conséquent les moments de flexion positifs se produisant dans les travées adjacentes de manière à toujours équilibrer les charges appliquées.

### 2.2 Analyse plastique :

Une analyse non linéaire plus élaborée de la poutre composite peut être effectuée en tenant compte de la déformation du profilé en acier et de l'inélasticité de la dalle en béton. Cependant, l'état de contrainte typique des poutres composites sous des moments de rupture permet généralement d'obtenir le moment plastique de la section composite. Dans la plupart des cas, l'axe neutre plastique se trouve dans la dalle et l'ensemble du profilé en acier est en tension, ce qui se traduit par :

- Le flambage local n'est pas un phénomène critique,
- Les contraintes dans le béton sont limitées, même lorsque la poutre d'acier a atteint sa pleine capacité de rendement.

Par conséquent, la méthode d'analyse plastique est applicable à la plupart des poutres composites simplement appuyées. Un tel outil est si avantageux sur le plan pratique qu'il constitue la méthode de conception non linéaire pour ces éléments. En particulier, cette approche est basée sur des équations d'équilibre à la limite, et ne dépend pas des relations constitutives des matériaux et de la méthode de construction. Le moment plastique peut être calculé par application de la théorie des blocs de contrainte rectangulaires.

### 2.3 Évaluation de l'effort à l'ULS

En outre, on peut supposer que le béton, dans les poutres composites, est soumis à une contrainte uniforme sur toute la profondeur  $x_{pl}$  du côté compression de l'axe plastique neutre, alors que pour les

sections en béton armé, la profondeur du bloc de contrainte est généralement limitée à **0,8xpl**. L'évaluation du moment plastique nécessite le calcul des quantités suivantes :

$$F_{comp,max} = 0.85b_{eff} \cdot h_c \cdot f_c \dots \dots \dots (4.1)$$

Avec :  $f_c = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$

$$F_{tension,max} = A_s \cdot f_{ys} \dots \dots \dots (4.2)$$

Pour le comportement des poutres composées, trois (03) situations peuvent se présenter :

**a- Situation 1** : Béton complètement en compression et acier complètement en tension

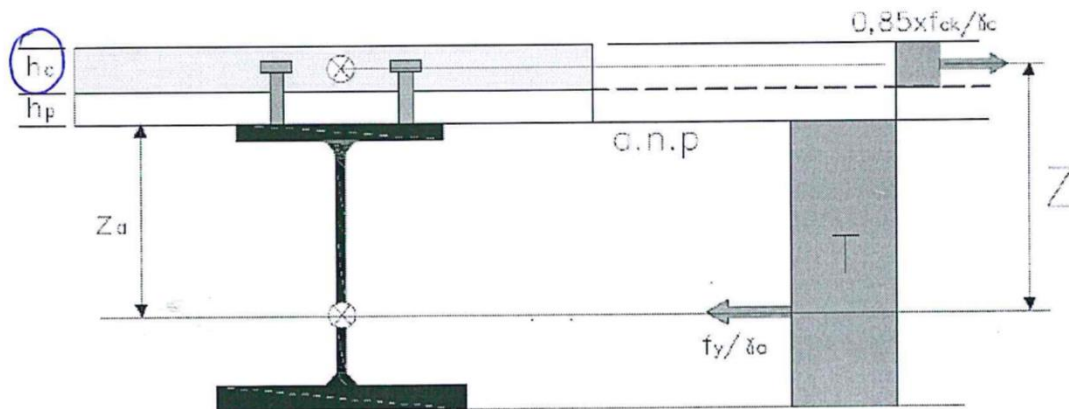


Fig. 4.3 Répartition du stress dans l'ULS

$$F_{comp} = F_{traction} \dots \dots \dots (4.3)$$

Ceci veut dire enfin de compte :

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = F_c \cdot Z = F_t \cdot Z \dots \dots \dots (4.4)$$

Avec :  $Z = Z_a + h_p + \frac{h_c}{2}$

Dans ce cas, le béton et l'acier sont utilisés de manière à obtenir une résistance et des caractéristiques optimales, ce qui n'est pas possible dans la réalité.

**b- Situation 2**: L'axe plastique neutre dans la dalle ou la table avec l'acier complètement en tension :

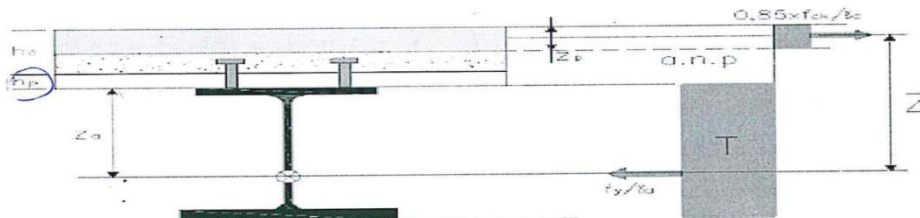


Fig. 4.4 Répartition des contraintes dans l'ELS

Dans ce cas :  $F_{comp} > F_{traction}$  et  $F_{comp,r} = F_{traction}$

On peut dire que la résistance à la compression est importante alors qu'une partie de la dalle est nécessaire pour équilibrer la force de tension. Dans ce cas, nous n'avons pas besoin de tout le béton.

L'axe plastique neutre se trouve dans le tableau à une distance de la fibre supérieure du béton et est donné par la relation suivante :

$$Z_p = \frac{F_{traction}}{0.85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} b_{eff}} < h_c \dots\dots\dots (4.5)$$

Le moment est égal dans ce cas :

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = F_{traction} \cdot Z \dots\dots\dots (4.6)$$

Avec :  $Z = Z_a + h_p + h_c - \frac{Z_p}{2}$

**c- Situation 3 : Axe plastique neutre dans la poutre d'acier :**

La résistance est importante dans ce cas. Tout le béton et une partie de la poutre en acier sont soumis à une compression et l'axe plastique neutre se trouve dans la poutre.

Dans ce cas :  $F_{traction} > F_{comp}$

On peut alors présenter deux cas possibles.

**1- L'axe neutre est situé dans l'aile supérieure de la poutre :**

Lorsqu'une partie de l'aile est mobilisée en compression pour équilibrer la force de traction dans la section, alors les relations d'équilibre sont :

Si :  $f_{ten} - F_{comp} \leq 2 \left( \frac{f_y}{\gamma_s} \right) b_{fs} \cdot t_{fs} \dots\dots\dots (4.7)$

Et :  $Z_p = \frac{F_{traction} - F_{comp}}{2 \frac{f_y}{\gamma_s} \cdot b_{fs}} < t_{fs} \dots\dots\dots (4.8)$

Où :  $Z_p$  représente la distance entre l'axe neutre plastique et la fibre supérieure de la poutre en acier.

Le moment de flexion est alors :

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = F_{comp} \left( Z_a + h_p + \frac{h_c}{2} \right) + (F_{traction} - F_{comp}) \left( Z_a - \frac{Z_p}{2} \right) \dots\dots\dots (4.9)$$

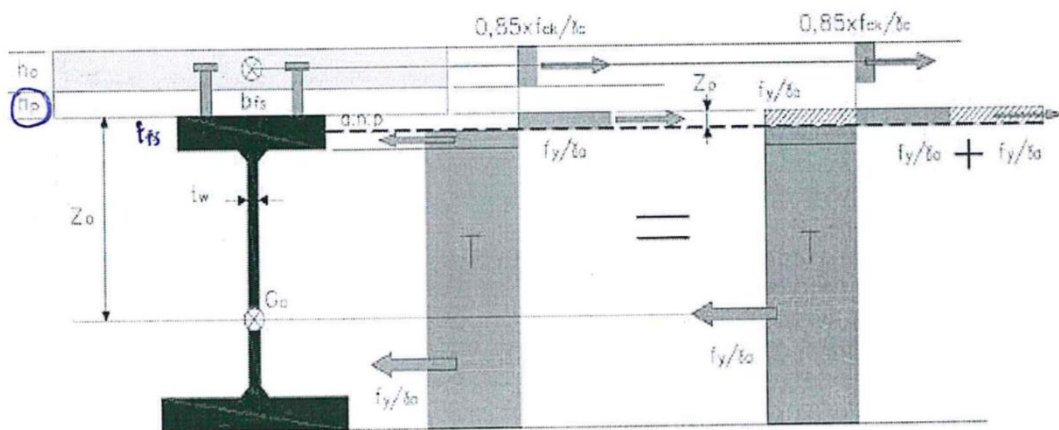


Fig. 4.5 Répartition des contraintes à l'Etat Limite Ultime

La semelle supérieure est entièrement comprimée, dans ce cas, il faut s'assurer que la semelle est de classe 1 ou 2 afin que le moment plastique puisse être calculé. Ceci est dans tous les cas validé par le fait que la semelle supérieure est fixée à la dalle par des connecteurs. Cela évite bien sûr le flambage de la semelle par compression. Il faudra donc procéder à un calcul élastique de la résistance en flexion.

Dans le cas où la semelle est de classe 3 ou 4, il y aura flambage et il sera impossible d'effectuer un calcul simplifié et dans ce cas il est indiqué de procéder à un calcul élastique de la résistance à la flexion.

**1- L'axe neutre se trouve dans l'âme :**

Ceci a lieu quand :

$$F_{traction} - F_{comp} > 2 \left( \frac{f_y}{\gamma_a} \right) b_{fs} \cdot t_{fs} \dots\dots\dots (4.10)$$

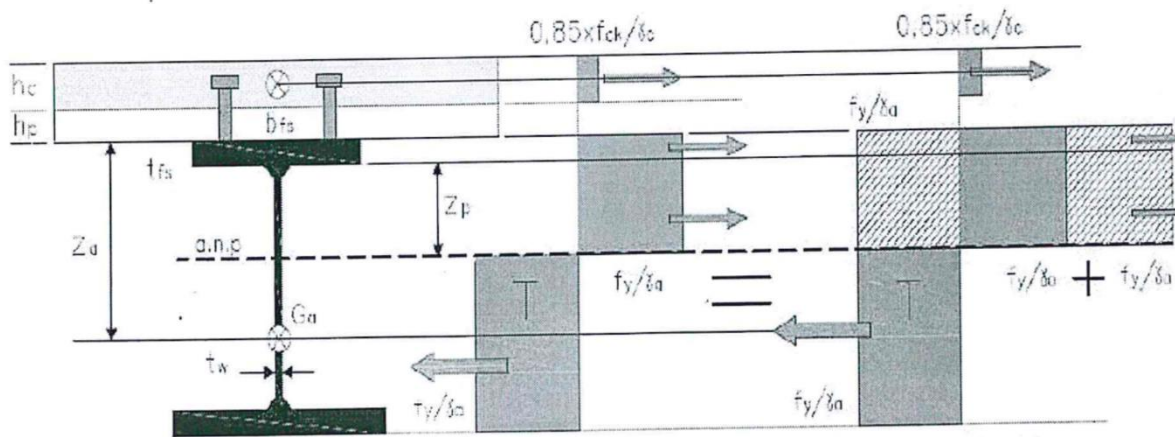


Fig. 4.4 : Distribution des contraintes à l'Etat Limite Ultime

Dans ce cas le bras de levier est donné par la relation suivante :

$$Z_p = \frac{F_{trac} - F_{comp} - 2b_{fs} \frac{f_y}{\gamma_a}}{2 \frac{f_y}{\gamma_a} t_w} < Z_a - t_{fs} \dots\dots\dots (4.11)$$

Le moment sera donc donné par l'expression suivante :

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = F_{comp} \left( Z_a + h_p + \frac{h_c}{2} \right) + 2 \frac{f_y}{\gamma_a} b_{fs} t_{fs} \left( Z_a - \frac{t_{fs}}{2} \right) + 2 \frac{f_y}{\gamma_a} t_w Z_p \left( Z_a - \frac{t_{fs}}{2} - \frac{t_{fs}}{2} \right) \dots\dots (4.12)$$

Comme semelle est partiellement comprimée à nouveau, il faut s'assurer qu'elle appartient à la classe 1 ou 2 afin de pouvoir calculer le moment de résistance plastique. La classification se fait comme s'il s'agissait uniquement d'acier. Si la semelle appartient à la classe 3 ou 4, il est nécessaire de calculer la résistance élastique, mais c'est assez rare dans les cas actuels.