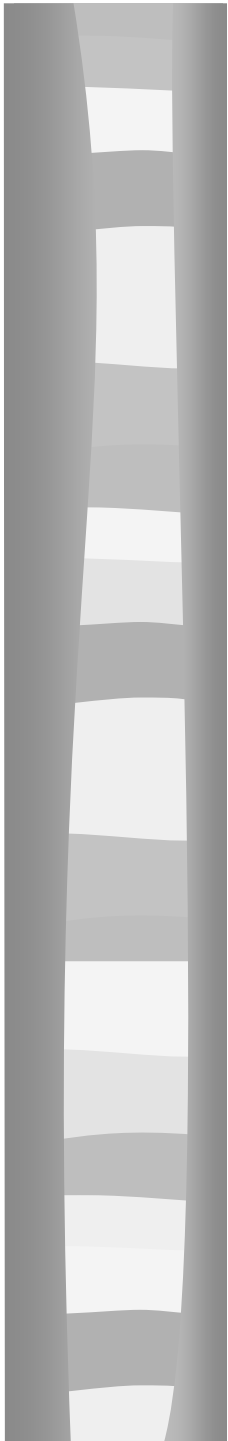


POUTRES MAINTENUES LATÉRALEMENT

Les poutres empêchées de se déplacer latéralement sont dites :
« maintenues latéralement »

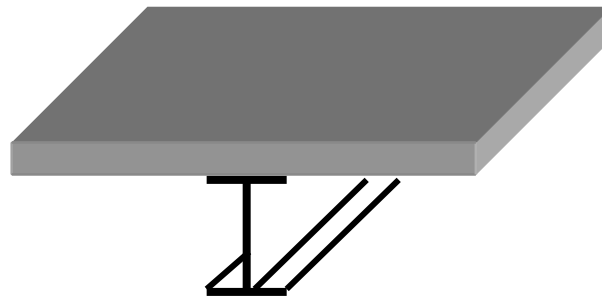


Ces poutres ne sont pas affectées par le flambement hors du plan de leur semelle comprimée appelé :
« phénomène de déversement »



POUTRES MAINTENUES LATÉRALEMENT

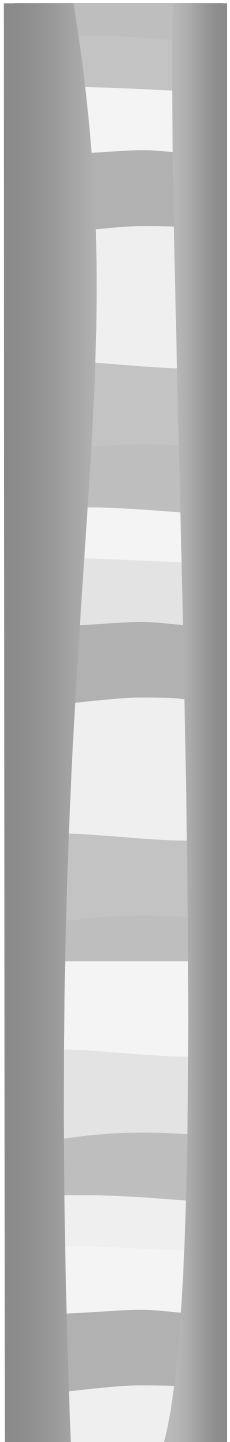
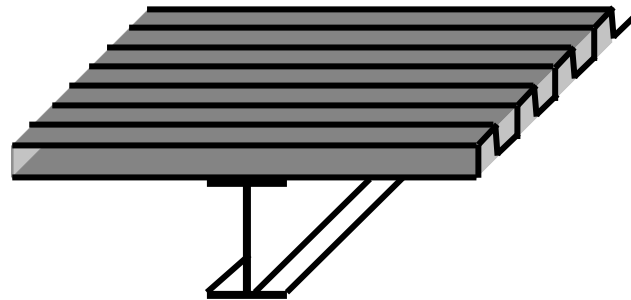
- Les poutres peuvent être considérées comme maintenues latéralement si :
 - ◆ un blocage latéral total de la semelle comprimée est assuré, par exemple par un plancher en béton ou des tôles nervurées ;



(un blocage latéral de la semelle tendue est pratiquement inutile !)

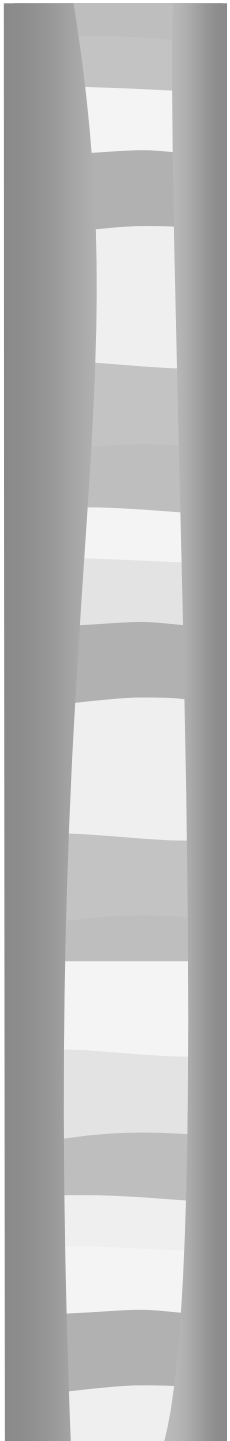
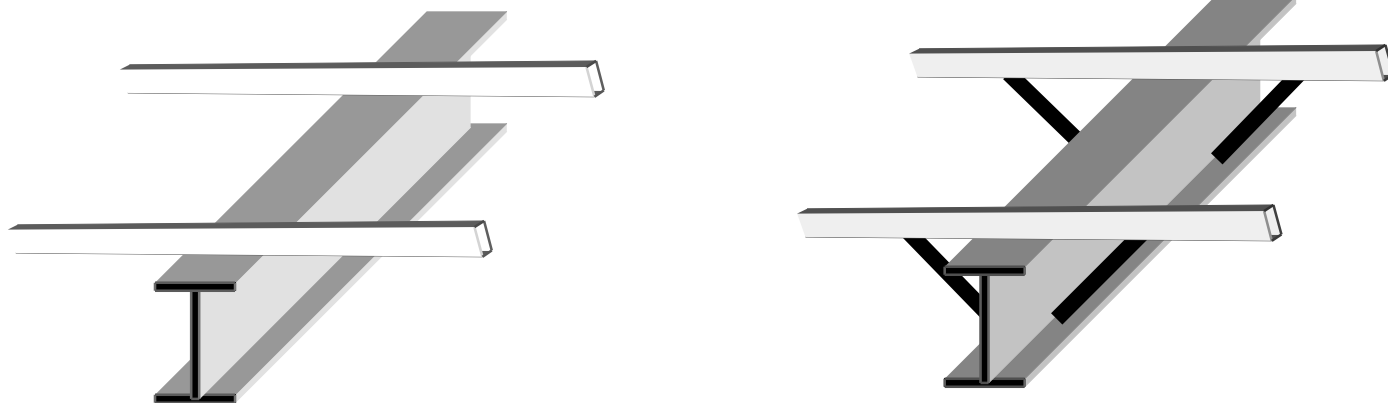
POUTRES MAINTENUES LATÉRALEMENT

- Les poutres peuvent être considérées comme maintenues latéralement si :
 - ◆ un blocage continu contre la torsion de la section est réalisé, théoriquement à n'importe quel niveau ;
 - ◆ par exemple, par des tôles nervurées fixées efficacement, même à la semelle tendue, de profilés de hauteur ≤ 200 mm ;



POUTRES MAINTENUES LATÉRALEMENT

- Les poutres peuvent être considérées comme maintenues latéralement si :
 - ◆ il existe des dispositifs de support latéraux de la membrure comprimée ou des deux membrures ou de la section, suffisamment rapprochés (pannes, poutres transversales, bracons, pouvant être considérés comme points fixes)



POUTRES MAINTENUES LATÉRALEMENT

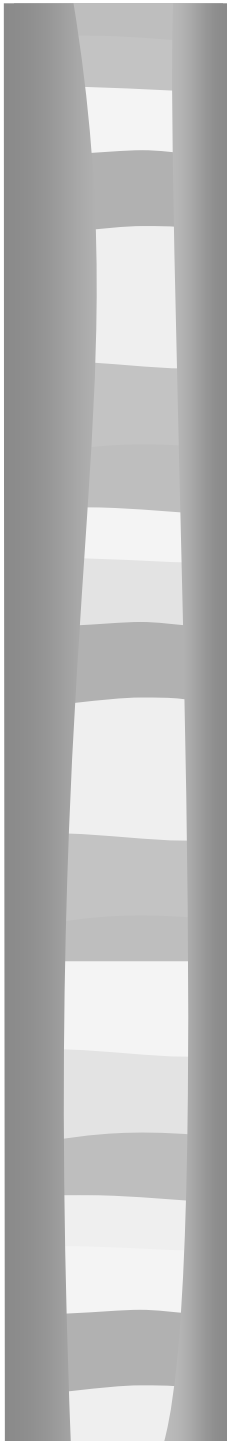
Calcul sur base de la résistance de la section à la flexion : $M_{cRd} \geq M_{Ed}$

Vérification que l'effort tranchant n'a pas d'effet sur la résistance à la flexion : $V_{Ed} \leq 0,5.V_{plRd}$

Dans le cas contraire ($V_{Ed} > 0,5.V_{plRd}$), calcul de la résistance à la flexion réduite à cause de l'interaction avec l'effort tranchant

POUTRES MAINTENUES LATÉRALEMENT

- Les poutres peuvent être considérées comme non sujettes au déversement si :
 - ◆ elles sont fléchies selon l'axe faible de leur section;
 - ◆ elles sont constituées de profils offrant des rigidités latérales et de torsion élevées (caissons, sections rectangulaires creuses).

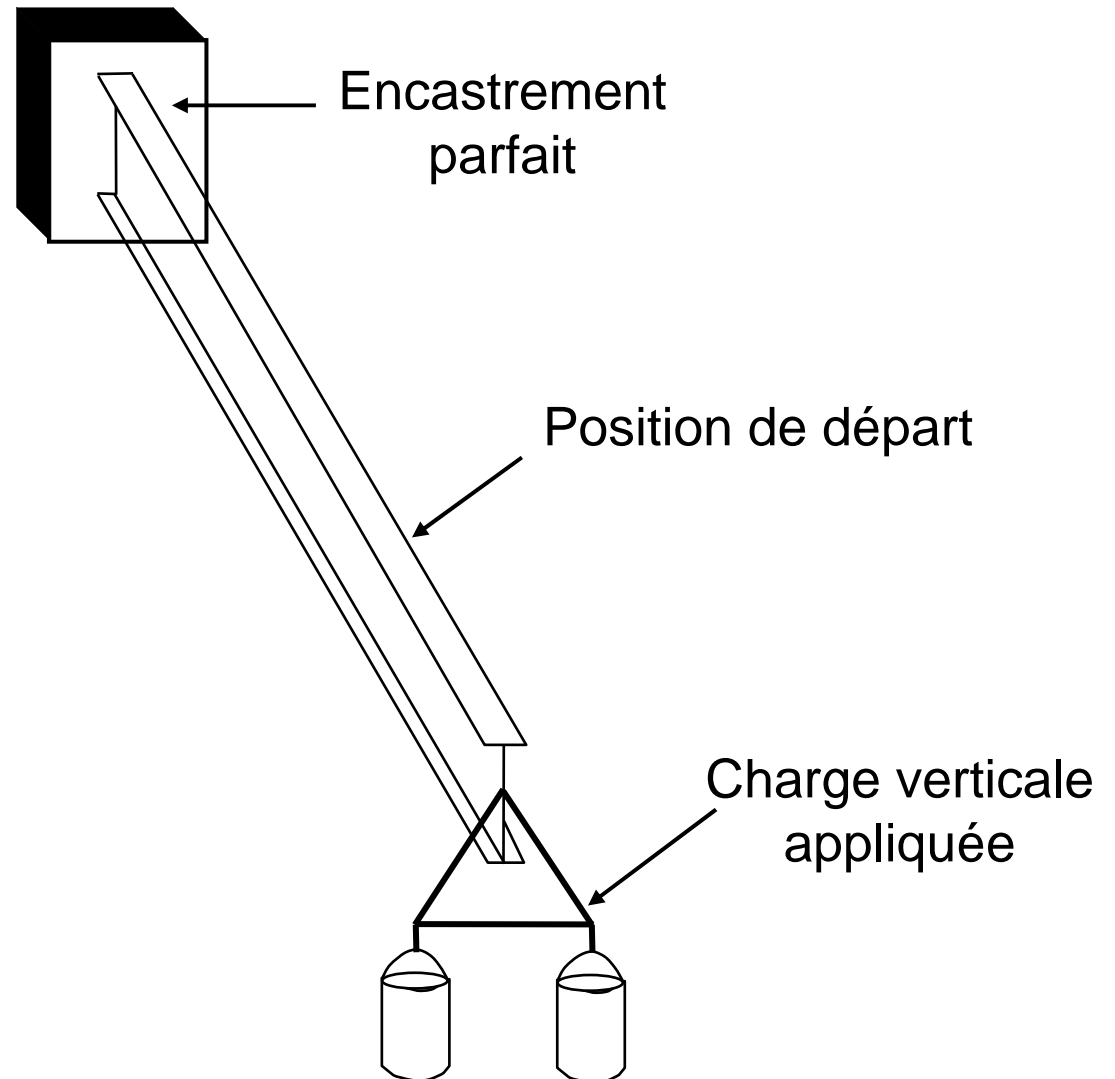




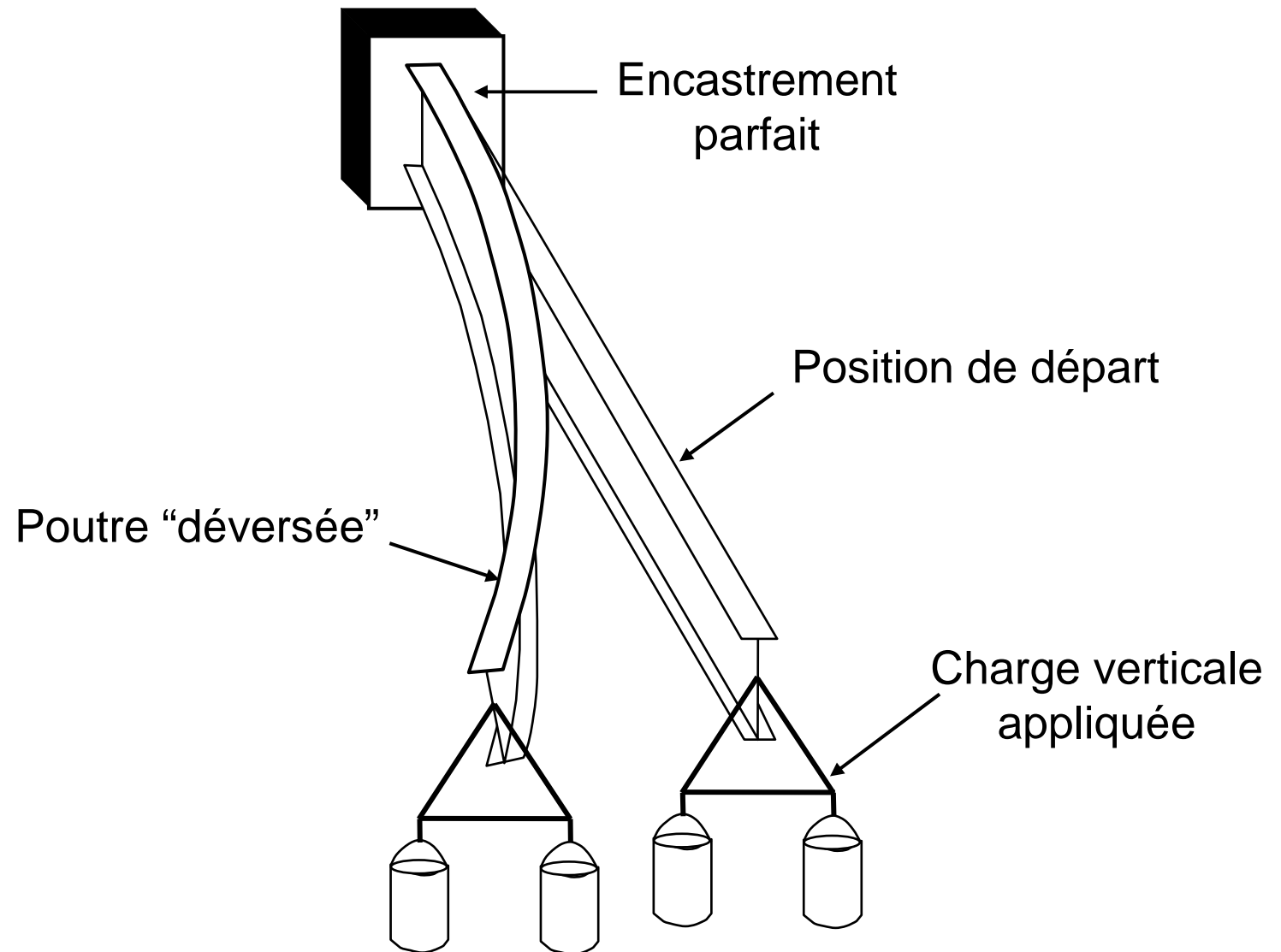
POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

- Dans le cas d'une poutre en I élancée, chargée dans son plan principal de flexion, la ruine peut se produire par dérobement de celle-ci sous forme d'un déplacement latéral et d'une rotation de torsion !
- C'est un phénomène d'instabilité connu sous le nom de « déversement » !

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

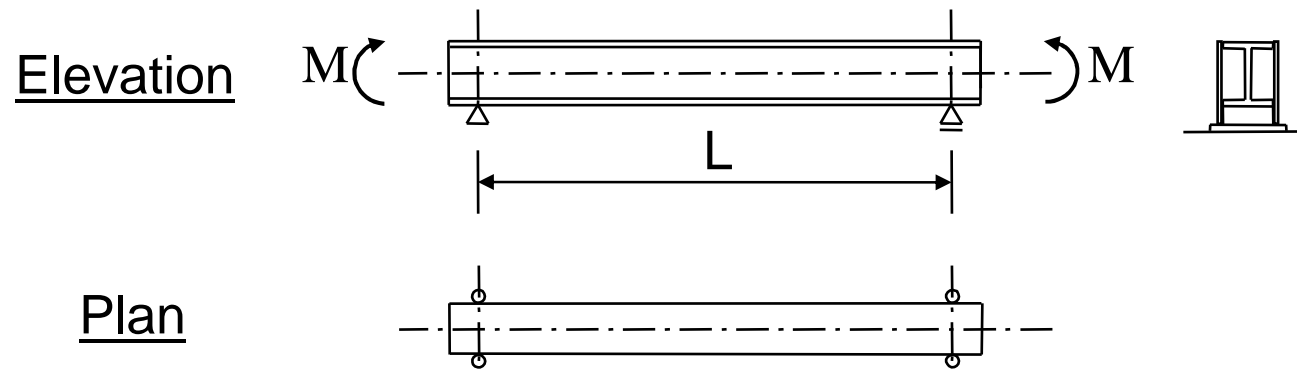


POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT



POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

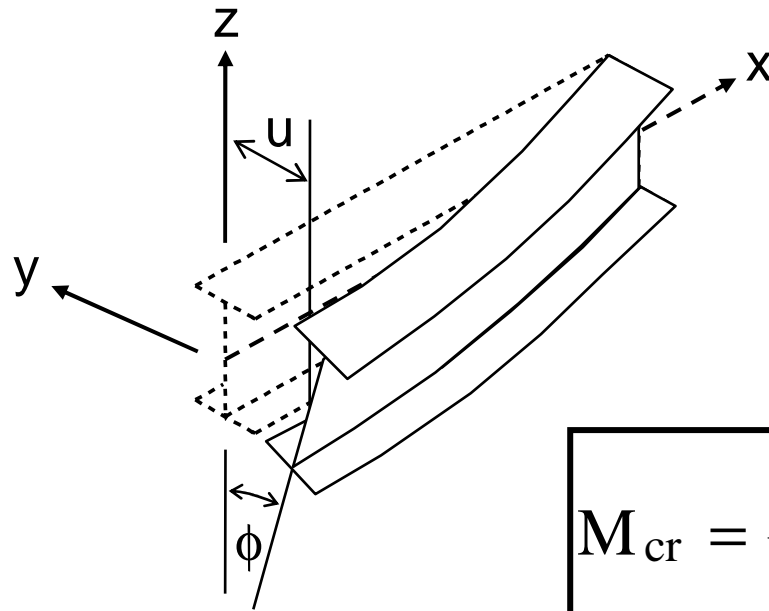
- Soit une poutre en I symétrique, sur deux appuis à fourches, et soumise à flexion pure:



- ◆ si le matériau est parfaitement élastique;
- ◆ si la poutre est parfaitement rectiligne;
- ◆ si la section n'a aucun défaut géométrique ni structural (libre de toutes contraintes résiduelles notamment) :

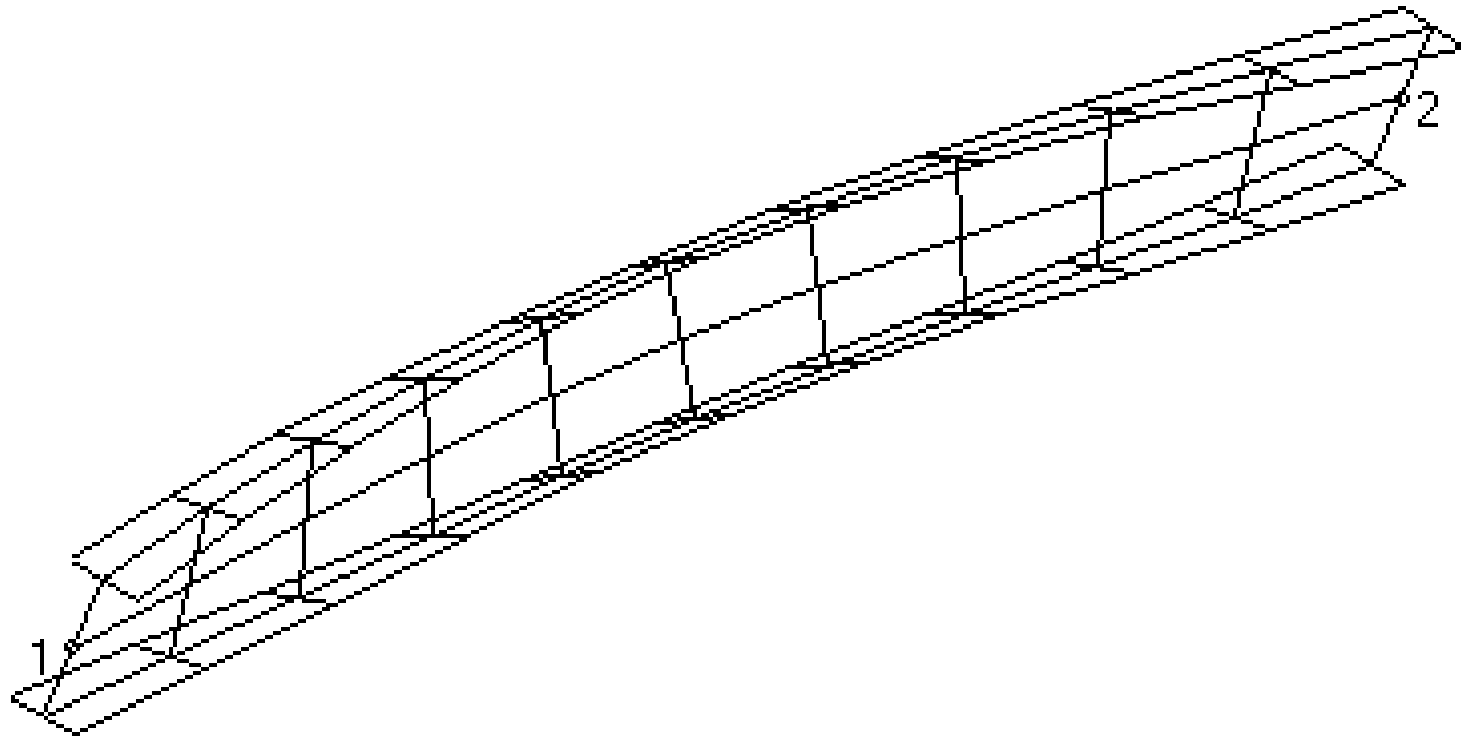
POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

- Le déversement se produira soudainement pour la valeur du « moment critique élastique »:



$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\left[\frac{EI_w}{EI_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]}$$

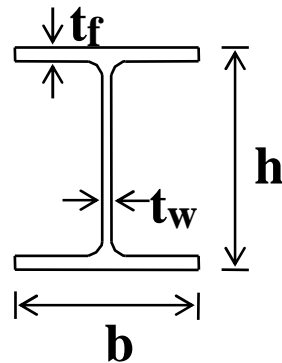
POUTRES NON MAINTENUES LATERALEMENT



POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\left[\frac{EI_w}{EI_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]}$$

- ◆ EI_z : rigidité flexionnelle latérale;
- ◆ GI_t : rigidité torsionnelle (torsion uniforme);
- ◆ EI_w : rigidité torsionnelle (torsion non uniforme);



$$I_w = \frac{I_z (h - t_f)^2}{4}$$

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\left[\frac{EI_w}{EI_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]}$$

- L = la longueur de déversement = la distance entre sections droites entretoisée contre une rotation ou un déplacement latéral de la semelle comprimée !



**M_{cr} faible →
sensible au déversement**

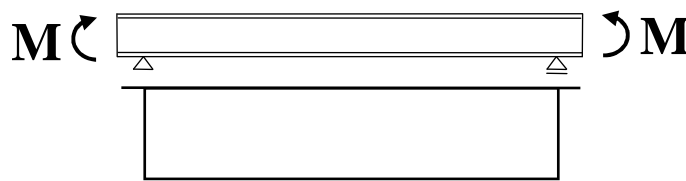


**M_{cr} élevé →
peu sensible au déversement**

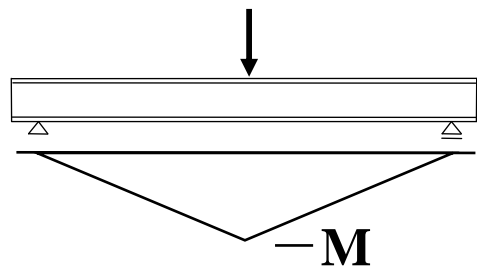


POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

- Extension du cas de référence (flexion pure) :

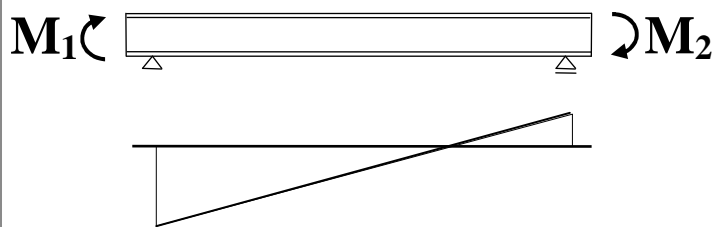


$$M_{cr} = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]}$$



$$M_{cr} = \mathbf{C_1} \frac{1,36 \pi^2 EI_z}{L^2} \sqrt{\left[\frac{I_w}{I_z} + \frac{L^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} \right]}$$

→ Utilisation d'un coefficient C_1

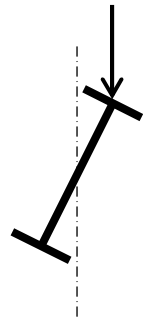


$$C_1 = 1,77 - 1,04\psi + 0,27\psi^2 \leq 2,6$$

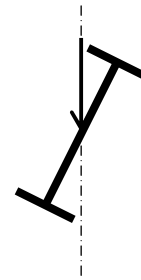
$$\psi = \frac{M_2}{M_1} \quad (|M_1| > |M_2|)$$

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

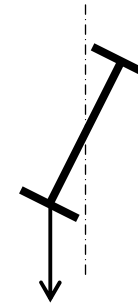
- Niveau d'application des charges :
 - ◆ Les expressions théoriques du M_{cr} supposent les charges appliquées au centre de torsion!
 - ◆ Le niveau d'application des charges a une influence sur le déversement :



défavorable au déversement



référence



favorable au déversement

→ Utilisation d'un coefficient C_2

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

- Conditions d'appui aux extrémités :
 - ◆ Les expressions théoriques du M_{cr} supposent des appuis à fourches aux extrémités!
 - ◆ Des encastremements d'extrémités empêchant une rotation de flexion latérale et des dispositifs anti-gauchissement des sections d'extrémités augmentent la résistance au déversement:





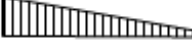
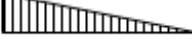
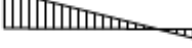
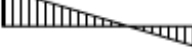


Utilisation de



« facteurs réducteurs de la longueur de déversement » k_z et k_w



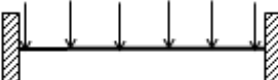







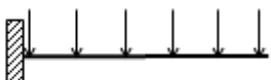

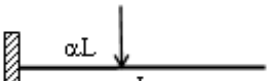
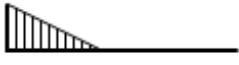
POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

Tableau des valeurs de C_1 et C_2

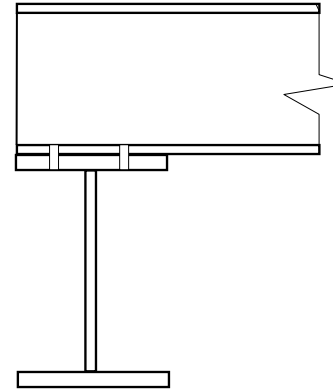
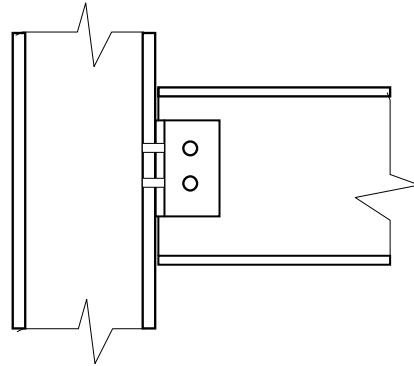
Chargement et conditions d'appui dans le plan principal de flexion	Diagramme des moments de flexion	Valeur de k_z	Coefficient C_1	Coefficient C_2
	$\varphi = +1,0$ 	1,0 0,5	1,00 1,05	
	$\varphi = +0,75$ 	1,0 0,5	1,14 1,19	
	$\varphi = +0,50$ 	1,0 0,5	1,31 1,37	
	$\varphi = +0,25$ 	1,0 0,5	1,52 1,60	
	$\varphi = +0,0$ 	1,0 0,5	1,77 1,86	
	$\varphi = -0,25$ 	1,0 0,5	2,06 2,15	
	$\varphi = -0,50$ 	1,0 0,5	2,35 2,42	
	$\varphi = -0,75$ 	1,0 0,5	2,60 2,45	
	$\varphi = -1,0$ 	1,0 0,5	2,60 2,45	

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

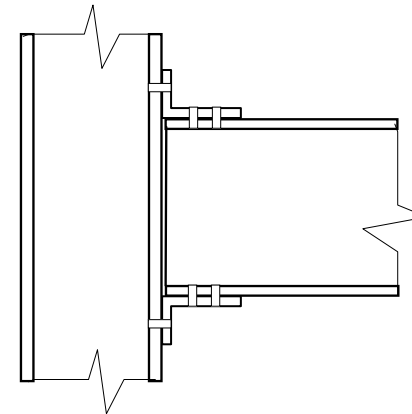
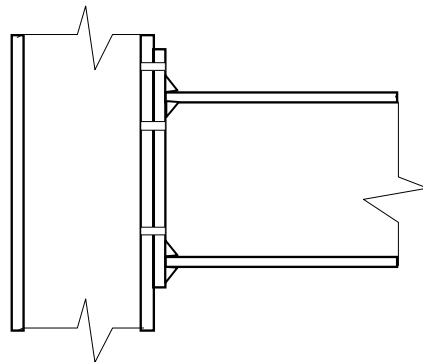
Tableau des valeurs de C_1 et C_2

Chargement et conditions d'appui dans le plan principal de flexion	Diagramme des moments de flexion	Valeur de k_z	Coefficient C_1	Coefficient C_2
		1,0 0,5	1,13 0,97	0,46 0,30
		1,0 0,5	1,28 0,71	1,56 0,65
		1,0 0,5	1,36 1,07	0,55 0,43
		1,0 0,5	1,56 0,94	1,27 0,71
		1,0 0,5	1,05 1,01	0,43 0,41
		2,0	2,05	0,83
		2,0	$1,28/\alpha$	0,43

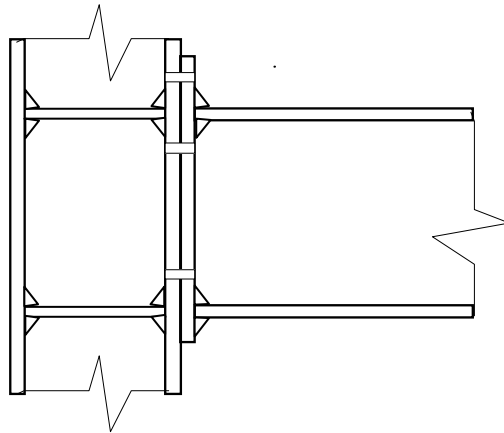
POUTRES NON MAINTENUES LATERALEMENT



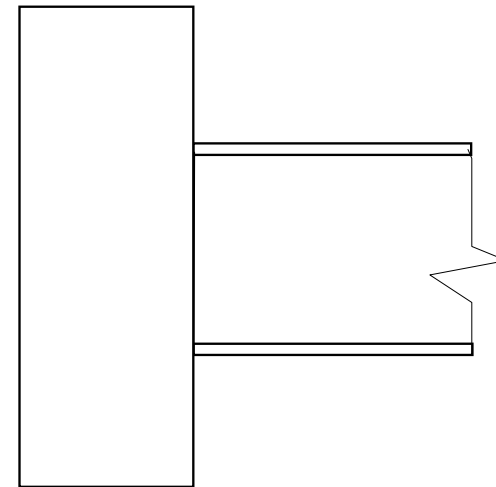
$$k_z = k_w = 1$$



POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT



$$k_z = 1$$
$$k_w = 0,7 \text{ ou } 0,5$$



$$k_z = k_w = 0,7 \text{ ou } 0,5$$

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

■ Formules de l' EC3 :

◆ Pour des sections bi-symétriques:



$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{(k_z L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g)^2} - (C_2 z_g) \right)$$

◆ C_1, C_2 : voir tableau EC3;

◆ k_z : 0,5 pour encastrement latéral aux 2 extrémités

0,7 pour encastrement latéral à 1 extrémité

1 pour absence d'encastrement latéral;

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

■ Formules de l'EC3 :

◆ Pour des sections bi-symétriques:



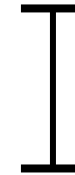
$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2} - (C_2 z_g) \right)$$

- ◆ k_w : 0,5 pour gauchissement empêché aux 2 extrémités
0,7 pour gauchissement empêché à 1 extrémité
1 pour absence de mesures anti-gauchissement;

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

■ Formules de l'EC3 :

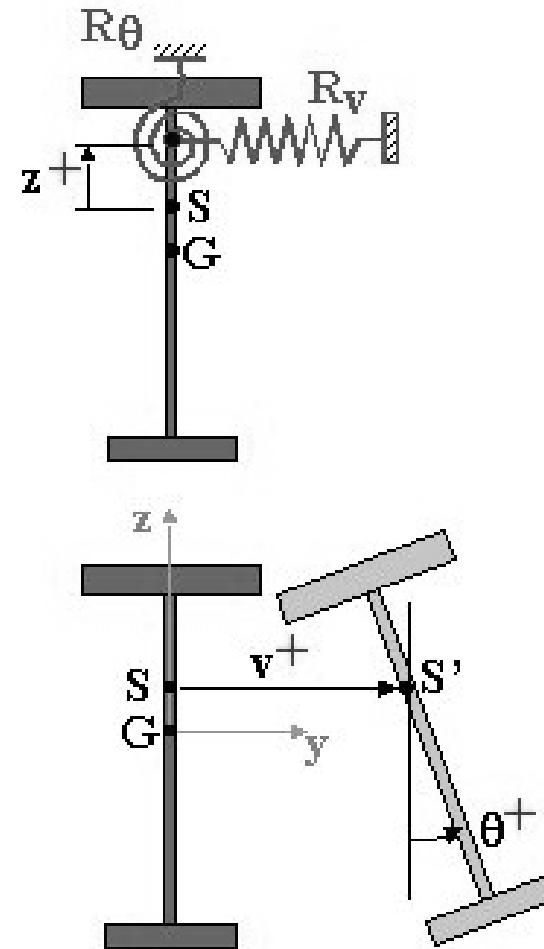
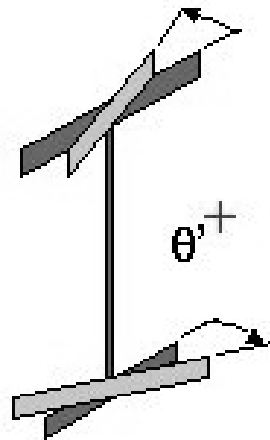
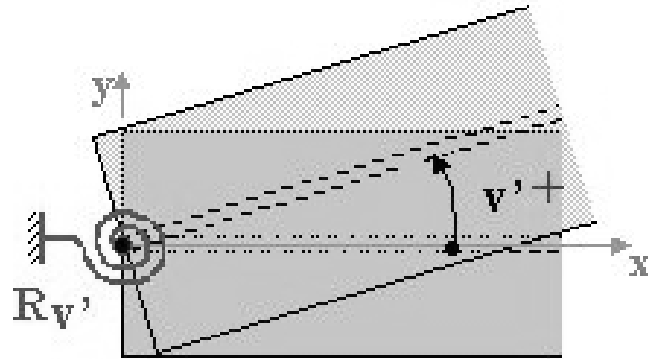
◆ Pour des sections bi-symétriques:



$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left(\sqrt{\left(\frac{k_z}{k_w} \right)^2 \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k_z L)^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2} - (C_2 z_g) \right)$$

◆ z_g : distance du point d'application de la charge au centre de torsion (+ si la charge agit vers le centre de torsion);

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT





POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

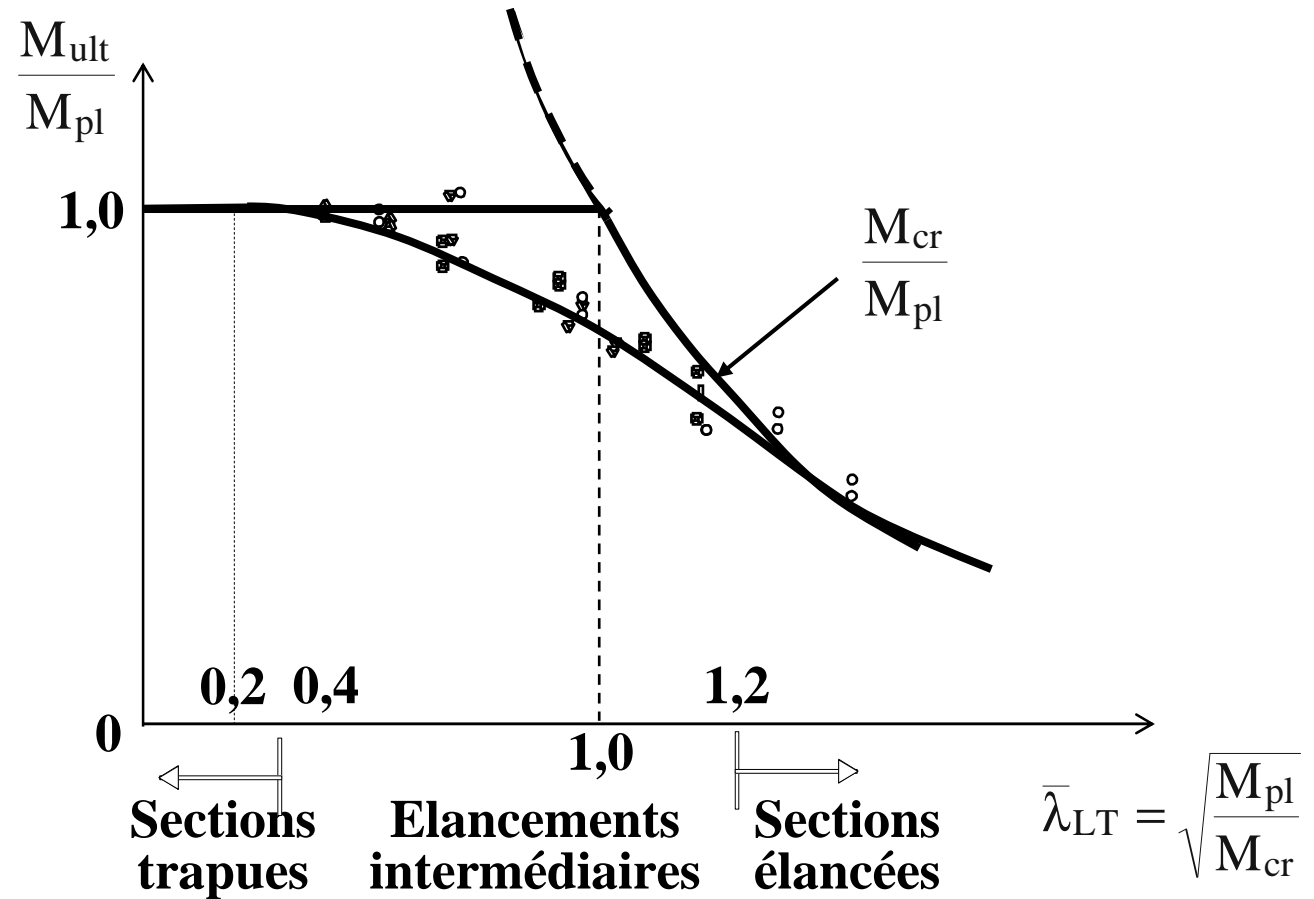
- Qu'en est-il des poutres réelles ?
 - ◆ le matériau n'est pas parfaitement élastique;
 - ◆ les poutres comportent des défauts géométriques;
 - ◆ les sections sont le siège de contraintes résiduelles (plastification prématurée);
 - ◆ etc...



- Les poutres d'élancements moyens déverseront pour des moments inférieurs aux moments critiques de la théorie élastique !

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

- Comparaison résultats essais / calcul théoriques :



POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

- L'EC3 introduit le coefficient $\chi_{LT} = M_{ult}/M_{pl}$ et la « résistance au déversement »: M_{bRd} !

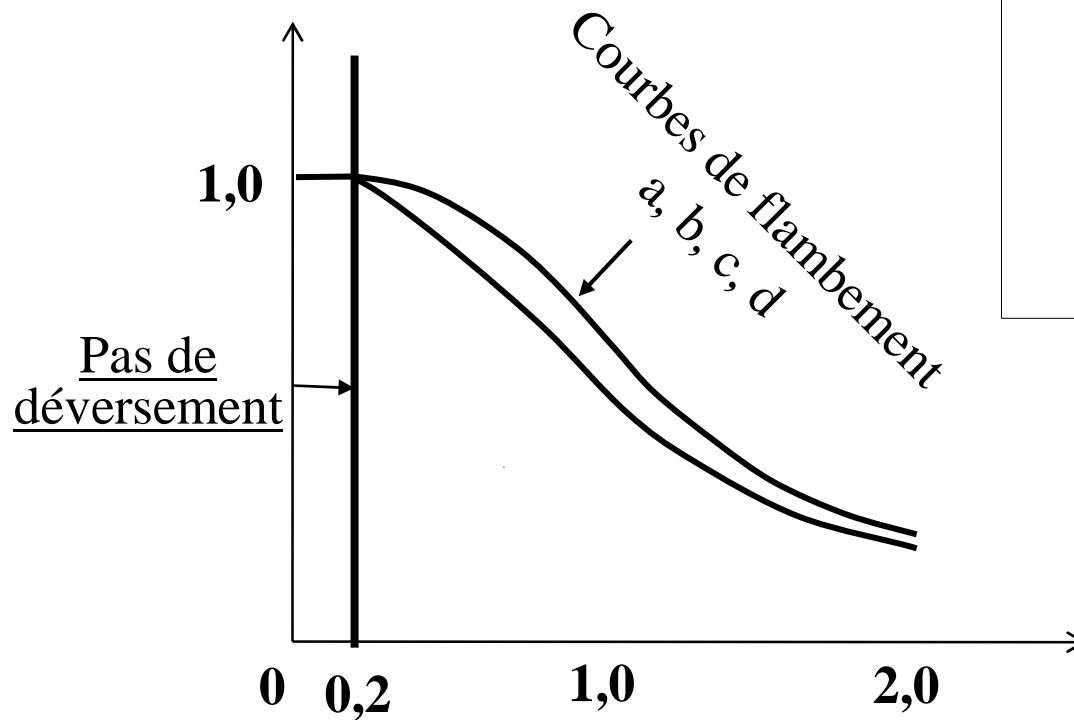
$$M_{bRd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$M_{bRd} \geq M_{Ed}$$

- ◆ χ_{LT} : coefficient de réduction au déversement;
- ◆ $W_y = W_{ply}$ pour les sections de classes 1 et 2;
- ◆ $W_y = W_{ely}$ pour la classe 3;
- ◆ $W_y = W_{effy}$ pour la classe 4;
- ◆ γ_{M1} : coefficient partiel de sécurité de 1;

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

$$M_{bRd} = \chi_{LT} \cdot W_y \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$



Courbes de déversement = courbes de flambement !

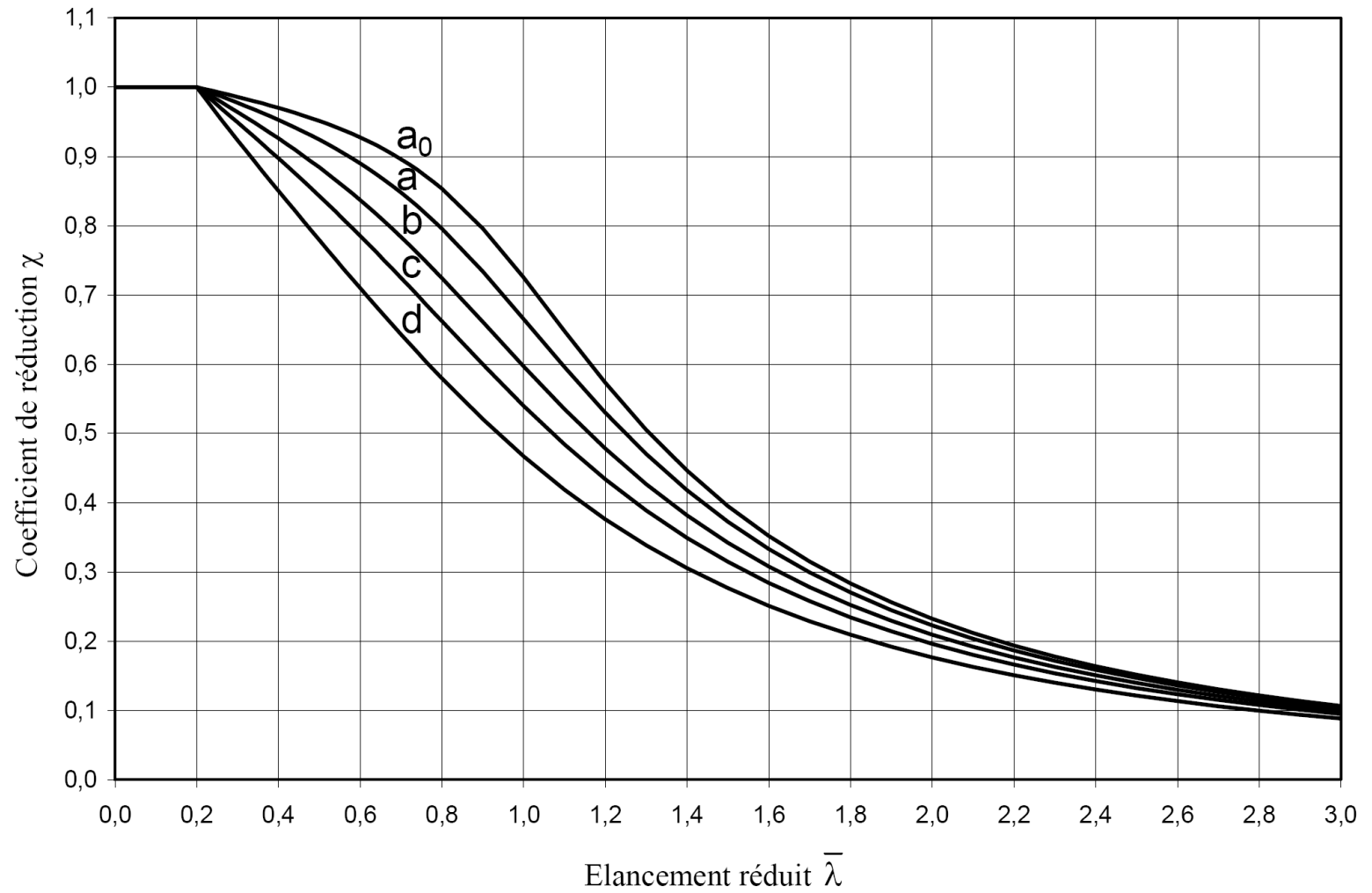
$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

- ◆
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \left(\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2\right)^{0,5}}$$
- ◆
$$\phi_{LT} = 0,5 \left(1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2\right)$$
- ◆ $\alpha_{LT} = 0,21$ pour courbe a; $0,34$ pour courbe b
- ◆ $\alpha_{LT} = 0,49$ pour courbe c; $0,76$ pour courbe d
- ◆
$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{cRk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_y}{M_{cr}}} \text{ (} W_y \text{ fonction des classes)}$$

M_{cr} se calcule avec la section brute !

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT



POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

- ◆ Sections en I laminées à chaud :

 - h/b ≤ 2 : courbe a ;

 - h/b > 2 : courbe b;

- ◆ Sections en I soudées :

 - h/b ≤ 2 : courbe c ;

 - h/b > 2 : courbe d;


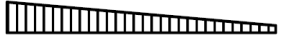






- ◆ Autres sections : courbe d

- ◆ MODIFICATION DU FACTEUR χ_{LT}

$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \quad f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[1 - 2(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \leq 1$$

POUTRES NON MAINTENUES LATÉRALEMENT

◆ MODIFICATION DU FACTEUR χ_{LT}

Distribution des moments	k_c
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82