

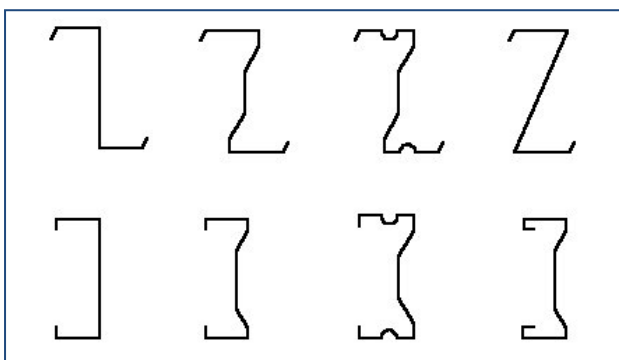
1. INTRODUCTION AU DIMENSIONNEMENT DES ÉLÉMENTS FORMÉS À FROID :

Antérieurement, l'utilisation des éléments minces formés à froid était surtout restreinte aux produits pour lesquels le gain de cout était de première importance, par exemple dans les industries aéronautique, ferroviaire et mécanique. Les éléments de section simple formés à froid (de section semblable aux profilés laminés à chaud), de même que des panneaux profilés, ont aussi été utilisés dans la construction comme éléments non structuraux depuis environ 100 ans.

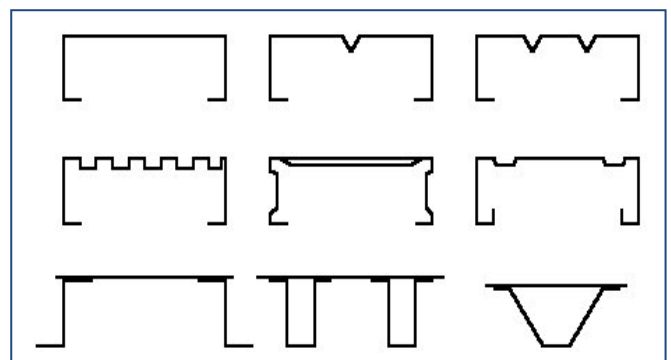
Un travail de recherche systématique, mené sur les quatre dernières dizaines d'années, de même qu'une technologie de fabrication améliorée, la protection contre la corrosion, l'augmentation de la résistance des aciers et la mise à disposition de codes pour le dimensionnement, ont conduit à un usage plus large des sections formés à froid dans la construction. Dans beaucoup de pays, les éléments formés à froid représentent le secteur qui se développe le plus dans le domaine de la construction métallique.

1.1 PRODUITS TYPES ET UTILISATIONS :

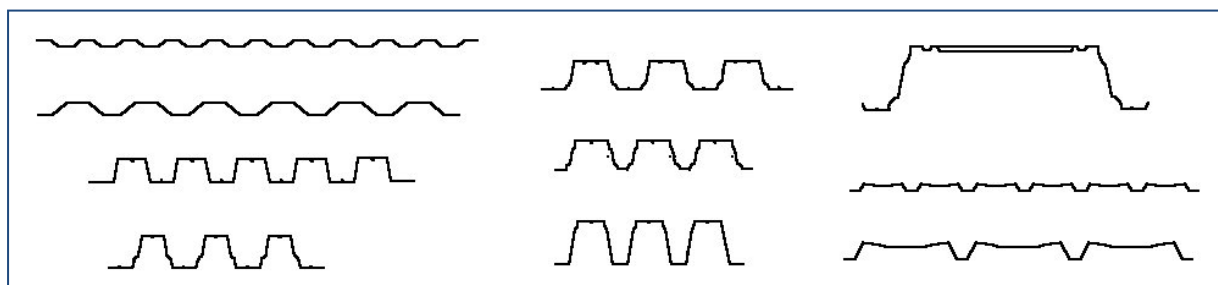
Les éléments formés à froid sont des éléments prismatiques constitués d'une succession de parois planes d'épaisseur constante et de plis, prévus pour remplir une fonction structurale d'élément d'ossature ou aussi parfois une fonction de couverture.



Eléments de type barre



Eléments porteurs pour couverture



Panneaux profilés

Une caractéristique des sections formées à froid est la présence, dans les parois soumises à la compression, de plis faisant fonction de raidisseurs (raidisseurs de bord ou en pleine paroi plane); ceux-ci ont pour but de retarder ou d'éviter un voilement prématuré des parois concernées.



1.2 APPLICATIONS :

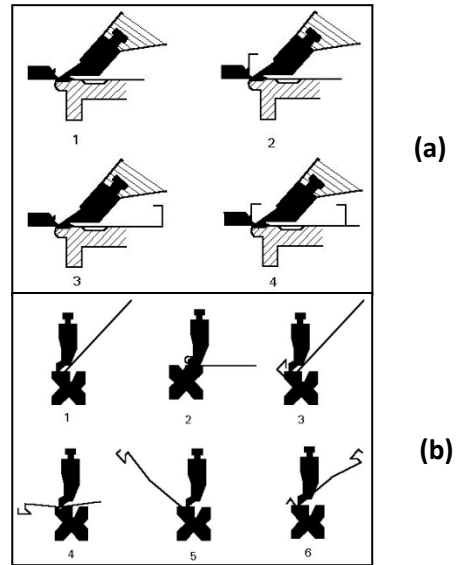
Les types de produits disponibles pour une utilisation dans la construction des structures sont:

- Les éléments de type barre, utilisés comme poutres, principalement avec des épaisseurs relativement importantes, pour des charges relativement faibles et des petites portées ou comme poteaux et supports verticaux ou encore dans des treillis.
- Les éléments plans, d'épaisseur relativement réduite, comme éléments porteurs, utilisés en couverture d'un espace – par exemple comme plancher, toitures ou murs – lorsque les charges à supporter restent raisonnables.

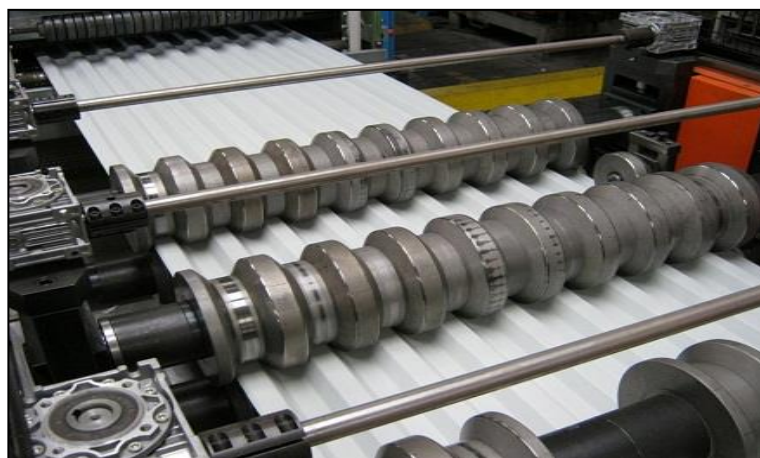
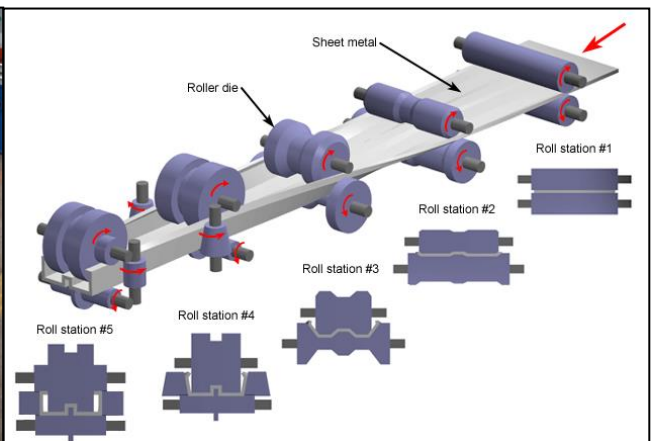
Les éléments minces formés à froid sont donc principalement utilisés dans la construction de bâtiments de faible hauteur, de portée modeste, lorsque la combinaison de tels profils et panneaux présente le plus grand avantage.

1.3 FABRICATION :

Les éléments formés à froid peuvent être fabriqués soit par pliage simple, par pliage à la presse, ou par profilage en continu.



Fabrication par pliage (a) à la plieuse (b) à la presse



Fabrication par profilage en continu

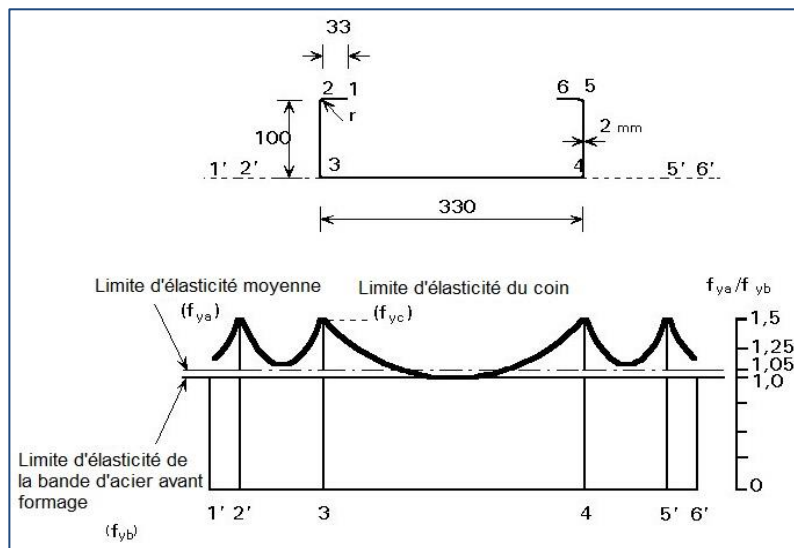
Pour de petites quantités d'éléments avec des longueurs inférieures à 6m (12m dans des cas exceptionnels), il est en principe avantageux d'utiliser le pliage à la plieuse ou à la presse. L'effort requis pour assurer le pliage dépend de l'épaisseur du matériau mis en œuvre, de la ductilité du métal et de la forme de la section. Cette dernière étant limitée par la largeur de la bande d'acier utilisée.

Ces procédés de fabrication permettent d'optimiser la forme des sections en fonction des charges qu'elles devront supporter et selon leur utilisation.

1.4 EFFETS DU FORMAGE A FROID :

Les techniques de formage à froid permettent une variété quasi infinie de la forme des sections des éléments. Il est dès lors possible d'influencer la capacité d'un élément, en termes de résistance, de rigidité et de mode de ruine, par exemple en introduisant, à la fabrication, des raidisseurs intermédiaires dans la section ou par l'utilisation de rapports adéquats largeur-épaisseur des parois de la section.

Le formage à froid de l'acier produit inévitablement un écrouissage, la limite d'élasticité, la résistance et la ductilité seront modifiées localement, dans une mesure qui dépend des rayons de pliage, de l'épaisseur de la bande d'acier, du type d'acier et du processus de formage. La limite d'élasticité moyenne de l'acier sur l'ensemble de la section, dépend donc du nombre de plis réalisés, vis-à-vis de la largeur des parties planes de cette section.



La limite d'élasticité moyenne après formage peut être estimée par des formulations mathématiques données dans les codes appropriés. Dans cet exemple, la limite d'élasticité moyenne est augmentée de 5% après formage et la limite d'élasticité des coins est augmentée – localement donc – de 40%.

Lors de l'opération de formage, les forces internes naissant de ce formage peuvent être responsables de l'apparition de contraintes résiduelles qui peuvent modifier de manière

sensible la résistance de l'élément. Des effets favorables peuvent même être observés si, par exemple, des contraintes résiduelles de traction ont été produites dans des parois planes soumises à la compression et donc sujettes au risque de voilement local.

1.5 AVANTAGES :

L'utilisation des éléments formés à froid offre de nombreux avantages par rapport à la construction plus traditionnelle :

- La forme de la section peut être optimisée pour utiliser au mieux le matériau;
- le champ d'innovation est plus large (cela a été largement démontré dans la pratique);
- Les éléments d'ossature, formés à froid, combinés avec les panneaux formés de même, offrent des solutions fiables et économiques (plus légers). Ils assurent en même temps une fonction de couverture et de stabilité vis-à-vis des éléments sous-jacents.

En conséquence, ces avantages peuvent être considérés comme conduisant à des réductions de poids, par optimisation des produits eu égard à la fonction de résistance, aux exigences de la construction et à la performance en termes de capacité à ouvrir un espace.

1.6 CARACTERISTIQUES DE COMPORTEMENT :

Vis-à-vis des éléments traditionnels en acier, les éléments structuraux à parois minces sont caractérisés par :

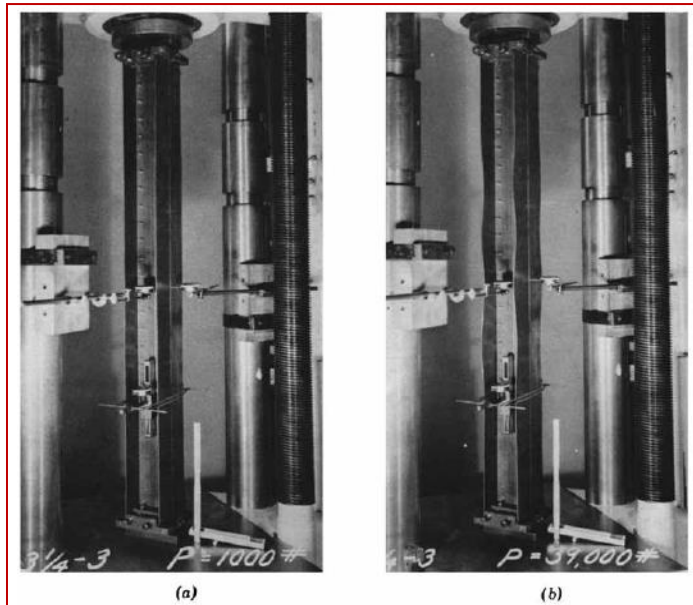
- des rapports largeur/épaisseur relativement élevés,
- des sections monosymétriques ou non symétrique,
- des parties de leur section non raidies ou partiellement supportées.
- Des imperfections géométriques du même ordre de grandeur que l'épaisseur ou plus.

En conséquence, un certain nombre de facteur doit être pris en compte lors du dimensionnement tels que :

- les effets du voilement local des parois,
- l'instabilité latérale par flexion et torsion,
- l'effet des contraintes résiduelles.

1.7 VOILEMENT LOCAL ET CONCEPT DE LARGEUR EFFICACE :

Le voilement local prématuré des parois comprimées des sections minces, détermine souvent le comportement et la capacité portante des éléments. La solution théorique de ce problème, prenant en compte la résistance *post-critique*, n'est pas envisageable en pratique. Le concept des largeurs efficaces a été mis au point pour servir de solution.



Voilement local des parois non raidies

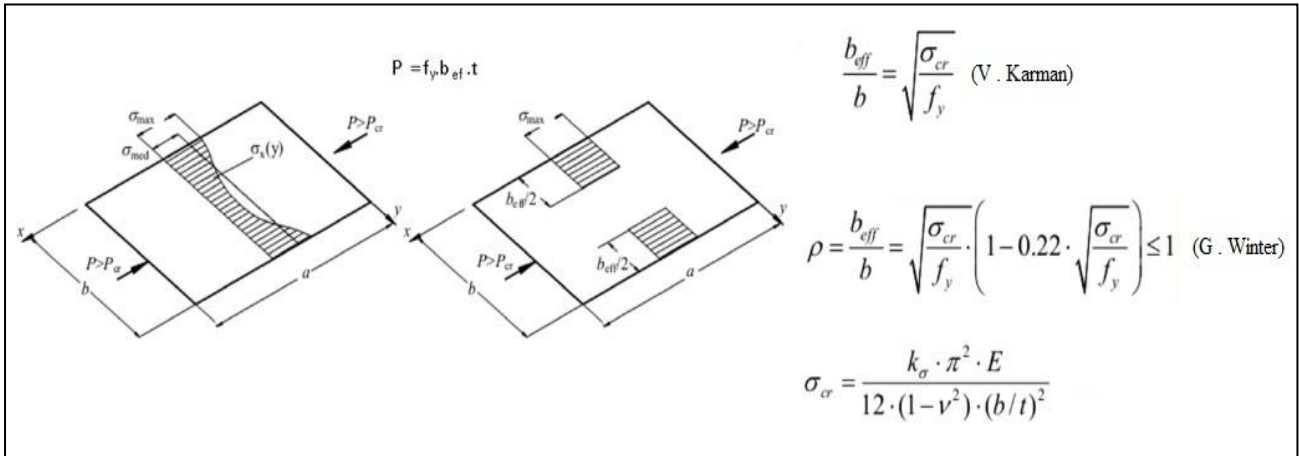
Là où c'est nécessaire, il faudra utiliser ces largeurs efficaces des parois pour calculer les propriétés efficaces de la section à savoir : l'aire de la section A_{eff} , le module de flexion w_{eff} , l'inertie I_{eff} , etc.

1.8 SECTION EFFICACE :

Le premier travail à effectuer lorsque l'on veut analyser le comportement d'un élément formé à froid et estimer sa capacité portante, c'est d'évaluer les largeurs efficaces des parois comprimées de la section de l'élément. Ceci doit par ailleurs se faire sur la base d'une distribution adéquate des contraintes dans la section en question. Puis il faut calculer les propriétés géométriques de la section efficace, en prenant en compte le déplacement de l'axe neutre lié à la redéfinition de la section en parties efficaces. Ensuite, on applique les mêmes principes et règles de bases de calcul des sections à parois épaisses (sections laminées à chaud) dans le dimensionnement et vérification des parois formés à froid.

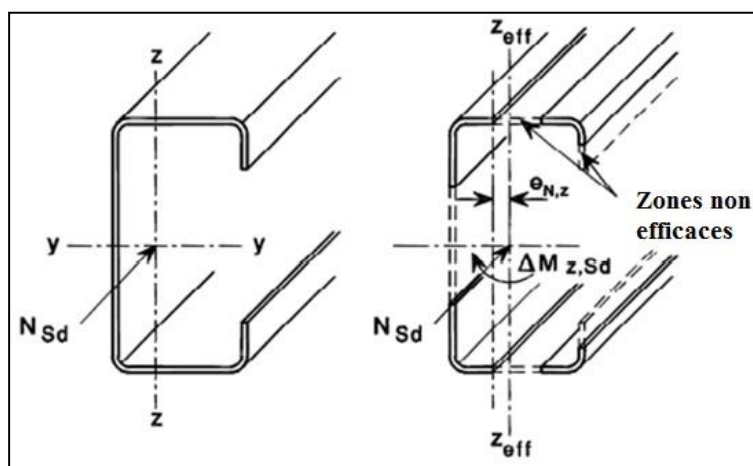
1.9 CONCEPT DE LARGEUR EFFICACE :

Si l'on considère une plaque simplement supportée sur ses bords et soumise à la compression dans une direction, il est clair que dans le stade poste-critique, les contraintes se concentrent le long des bords. On peut alors déterminer la capacité de cette plaque sur la base d'une distribution uniforme de contrainte, mais limitée à une largeur réduite, appelée efficace, b_{eff} qui dépend de la contrainte critique élastique de voilement de la plaque, σ_{cr} et de la limite d'élasticité du matériau f_y .



Validité du concept des largeurs efficaces:

Des comparaisons entre des résultats d'essais et les charges de ruine obtenues analytiquement pour des sections en C, ainsi que pour d'autres sections, ont confirmé la validité de ce modèle de calcul. L'avantage du concept des largeurs efficaces c'est qu'il permet l'emploi de méthodes de calcul relativement simples. Il permet aussi de visualiser l'effet de la géométrie de la section sur la capacité portante de l'élément considéré.



Références : APK / EN 1993-1-3 / EN 1993/1-5

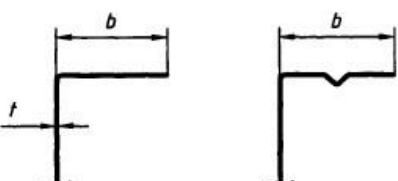
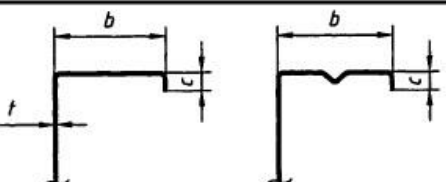
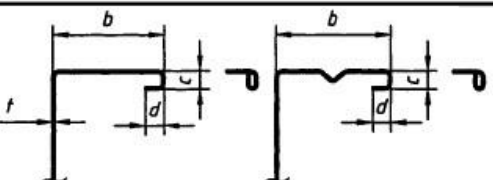
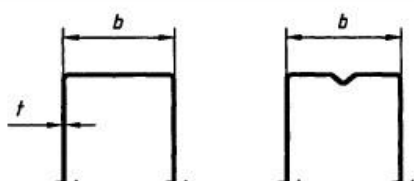
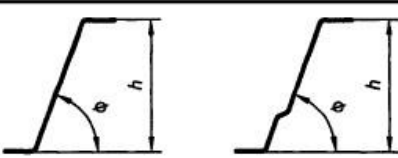
2. ASPECT RÉGLEMENTAIRE (EN 1993-1-3 : 1998) & (EN 1993-1-5 : 1997) :

3.4 Proportions géométriques

(1)P Les dispositions données dans la présente partie 1-3 de l'ENV 1993 pour le dimensionnement par calcul ne doivent pas être appliquées aux sections transversales dont les rapports largeur sur épaisseur ne se situent pas dans la gamme de valeurs pour laquelle il existe suffisamment d'expérience et de vérifications par essais.

(2) Les rapports maximums largeur sur épaisseur b/t et h/t donnés dans le tableau 3.2 peuvent être considérés comme représentant le domaine pour lequel il existe déjà suffisamment d'expérience et de vérifications par essais.

Tableau 3.2 : Rapports largeur-épaisseur maximum

Paroi de section transversale	Valeur maximale
	$b/t \leq 50$
	$b/t \leq 60$
	$b/t \leq 90$
	$b/t \leq 500$
	$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

(3) Les sections transversales présentant des rapports largeur sur épaisseur plus élevés peuvent également être utilisées, à condition que leur résistance aux états limites ultimes et leur comportement aux états limites de service soient vérifiés par essais conformément à la section 9.

(4) Afin de garantir une rigidité suffisante et d'éviter le flambement du raidisseur lui-même, il convient que les dimensions des raidisseurs se situent dans la gamme de valeurs suivante :

$$0,2 \leq c/b \leq 0,6 \quad \dots(3.4a)$$

$$0,1 \leq d/b \leq 0,3 \quad \dots(3.4b)$$

où b , c et d représentent les dimensions indiquées dans le tableau 3.2.

3.5 Modélisation pour l'analyse des sections transversales

(1) Les parois d'une section transversale peuvent être modélisées en vue de l'analyse comme indiqué dans le tableau 3.3.








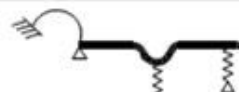





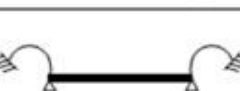

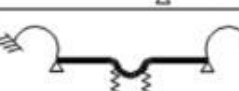




Type de paroi	Modèle	Type de paroi	Modèle
			
			
			
			
			

Tableau 3.3 : Modélisation d'es parois d'une section transversale

4.2 Parois sans raidisseurs

(1)P Les largeurs efficaces des parois comprimées doivent être obtenues d'après le tableau 4.1 pour les parois comprimées sur deux appuis, ou d'après le tableau 4.2 pour les parois comprimées en console.

Tableau 4.1 : Parois comprimées sur deux appuis

Distribution des contraintes [compression positive]		Largeur efficace b_{eff}				
		$\psi = +1 :$ $b_{eff} = \rho b_p$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5 b_{eff}$				
		$+1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho b_p$ $b_{e1} = 2 b_{eff} / (5 - \psi)$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$				
		$0 > \psi \geq -1 :$ $b_{eff} = \rho b_c$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$				
		$\psi < -1 :$ $b_{eff} = \rho b_c$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6 b_{eff}$				
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	+1	$+1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -3$
Coefficient de voilement k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98(1 - \psi)^2$
De manière alternative pour $+1 \geq \psi \geq -1 :$						
$k_\sigma = \frac{16}{\left[(1 + \psi)^2 + 0,112(1 - \psi)^2 \right]^{0,5} + (1 + \psi)}$						

Tableau 4.2 : Parois comprimées en console

Distribution des contraintes [compression positive]		Largeur efficace b_{eff}			
		$+1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho b_p$			
		$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	+1	0	-1	$+1 \geq \psi \geq -1$	
Coefficient de voilement k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$+1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho b_p$			
		$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho b_c$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	+1	$+1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
Coefficient de voilement k_σ	0,43	$\frac{0,578}{\psi+0,34}$	1,70	$1,70 - 5\psi + 17,1\psi^2$	23,8

(3)P Le coefficient de réduction ρ utilisé dans les tableaux 4.1 et 4.2 pour déterminer b_{eff} doit être basé sur la contrainte de compression $\sigma_{com,Ed}$ la plus élevée s'exerçant dans la paroi concernée (calculée sur la base de la section transversale efficace et tenant compte d'éventuels effets de second ordre), lorsque la résistance de la section transversale est atteinte.

(4) Si $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M1}$, il convient d'obtenir le coefficient de réduction ρ de la façon suivante :

$$\text{- si } \bar{\lambda}_p \leq 0,673 : \rho = 1,0 \quad \dots (4.1a)$$

$$\text{- si } \bar{\lambda}_p > 0,673 : \rho = (1,0 - 0,22 / \bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p \quad \dots(4.1b)$$

avec l'élanement de la paroi $\bar{\lambda}_p$ donné par :

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr}}} \cong \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{12(1-\nu^2)f_{yb}}{\pi^2 E k_\sigma}} \cong 1,052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E k_\sigma}} \cong \frac{b_p / t}{28,4 \varepsilon \sqrt{k_\sigma}} \quad (4.2)$$

où :

k_σ est le coefficient de voilement approprié, pris dans le tableau 4.1 ou 4.2 ;

ε est le rapport $\sqrt{235 / f_{yb}}$ avec f_{yb} en N/mm².

NB : Le coefficient réducteur ρ peut également être obtenu de la façon suivante conformément à l'EN 1993-1-5 : 2006 E

Si $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M0}$

EN 1993-1-5 : 2006(E)

Parois internes en compression :

$$\rho = 1.0$$

$$\text{Si } \bar{\lambda}_p \leq 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055\psi}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} < 1.0$$

$$\text{Si } \bar{\lambda}_p > 0.5 + \sqrt{0.085 - 0.055\psi}$$

Parois comprimées en console :

$$\rho = 1.0$$

$$\text{Si } \bar{\lambda}_p \leq 0.748$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0.188}{\bar{\lambda}_p^2} < 1.0$$

$$\text{Si } \bar{\lambda}_p > 0.748$$

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_{yb}}{\sigma_{cr}}} = \frac{b_p / t}{28.4 \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}}$$

k_σ est le coefficient de voilement approprié, pris dans le tableau 4.1 ou 4.2

ε est le rapport $\sqrt{235 / f_{yb}}$ avec f_{yb} en N/mm²;

ψ est le rapport de contraintes

σ_{cr} est la contrainte critique élastique de voilement des plaques

(5) Si $\sigma_{com,Ed} < f_{yb} / \gamma_{M1}$, il convient de déterminer le coefficient de réduction ρ de la façon suivante :

- **Alternative 1** : Utiliser les expressions (4.1a) et (4.1b) mais remplacer l'élanement de la paroi $\bar{\lambda}_p$ par l'élanement de la paroi réduit $\bar{\lambda}_{p,red}$ donné par :

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\frac{\sigma_{com,Ed}}{f_{yb} / \gamma_{M1}}} \quad \dots (4.3)$$

- **Alternative 2** : Remplacer les expressions (4.1a) et (4.1b) par les expressions (4.4a) et (4.4b) de la façon suivante :

$$\text{- si } \bar{\lambda}_{p,red} \leq 0,673 : \rho = 1,0 \quad \dots (4.4a)$$

$$\text{- si } \bar{\lambda}_{p,red} > 0,673 :$$

$$\rho = \frac{1 - 0,22 / \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0,18 \frac{\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_p - 0,6} \quad \text{mais } \rho \leq 1,0 \quad \dots (4.4b)$$

4.3 Parois munies de raidisseurs de bord ou intermédiaires

4.3.1 Généralités

(0)P A Dans le cas d'une paroi munie d'un raidisseur de bord et d'un raidisseur intermédiaire, il y a lieu de négliger le raidisseur intermédiaire.

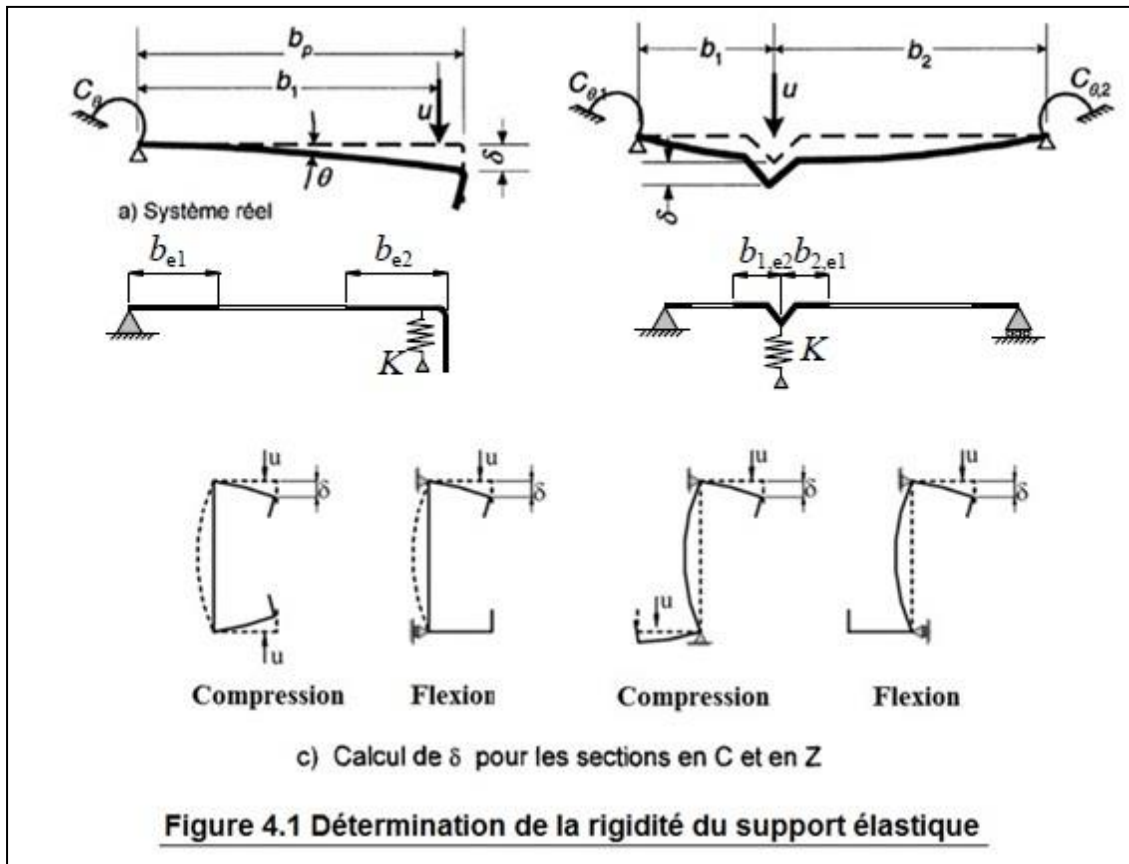
(1)P Le calcul des parois comprimées munies de raidisseurs de bord ou intermédiaires doit être basé sur l'hypothèse selon laquelle le raidisseur se comporte comme une barre comprimée avec un maintien partiel continu, dont la rigidité élastique dépend des conditions aux limites et de la rigidité de flexion des parois adjacentes.

(2) Il convient de déterminer la rigidité du support élastique d'un raidisseur par l'application d'une charge unitaire par unité de longueur u comme illustré sur la figure 4.1. La rigidité élastique K par unité de longueur peut être déterminée par :

$$K = u / \delta \quad \dots (4.6)$$

où :

δ est la flèche du raidisseur sous l'effet de la charge unitaire u .



(3) Pour la détermination des valeurs des rigidités élastiques en rotation C_θ , $C_{\theta,1}$ et $C_{\theta,2}$ à partir de la géométrie de la section transversale, il convient de tenir compte des effets éventuels d'autres raidisseurs existant sur la même paroi, ou sur toute autre paroi comprimée de la section transversale.

(3) C Les rigidités élastiques en rotation C_θ , $C_{\theta,1}$ et $C_{\theta,2}$ sont illustrées par la figure 4.1.

(4) Pour un raidisseur de bord, il convient d'obtenir la flèche δ par :

$$\delta = \theta b_p + \frac{u b_p^3}{3} \times \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3} \quad \dots (4.7)$$

avec :

$$\theta = u b_p / C_\theta$$

(5) Dans le cas des raidisseurs de bord de profils en C à bords tombés et de profils en Z à bords tombés, il convient de déterminer C_θ avec les charges unitaires u appliquées comme indiqué sur la figure 4.1(c).

Pour un raidisseur de bord d'un profilé en C ou Z, la rigidité du ressort K_1 pour la semelle 1 est donnée par l'expression :

$$K_1 = \frac{Et^3}{4(1-\nu^2)} \cdot \frac{1}{b_1^2 h_w + b_1^3 + 0,5 b_1 b_2 h_w k_f}$$

Avec :

b_1 : est la distance entre la jonction âme/semelle et le centre de gravité de l'aire efficace du raidisseur de bord de la semelle 1.

b_2 : est la distance entre la jonction âme/semelle et le centre de gravité de l'aire efficace du raidisseur de bord de la semelle 2.

h_w : est la hauteur de l'âme.

$k_f = 0$ Si la semelle 2 est tendue (cas d'une poutre en flexion par rapport à l'axe y-y).

$k_f = \frac{A_{s2}}{A_{s1}}$ Si la semelle 2 est aussi comprimée (cas d'une poutre en compression).

A_{s1} et A_{s2} sont les aires efficaces du raidisseur de bord des semelles 1 et 2 respectivement (en incluant la partie efficace b_2 de la semelle).

(6) Pour un raidisseur intermédiaire, une alternative plaçant du côté de la sécurité peut consister à prendre les valeurs de rigidités élastiques en rotation $C_{\theta,1}$ et $C_{\theta,2}$ égales à zéro, et la flèche δ peut être obtenue par :

$$\delta = \frac{ub_1^2 b_2^2}{3(b_1 + b_2)} \times \frac{12(1-\nu^2)}{Et^3} \quad \dots (4.8)$$

(7) Le coefficient de réduction de l'épaisseur χ_d pour un raidisseur peut être obtenu à partir de l'élanement réduit $\bar{\lambda}_d$ comme suit : **EN 1993-1-3 : 2006 (E)**

$$\chi_d = 1,0 \quad \text{Si } \bar{\lambda}_d \leq 0,65 \quad (5.12a)$$

$$\chi_d = 1,47 - 0,723\bar{\lambda}_d \quad \text{Si } 0,65 < \bar{\lambda}_d < 1,38 \quad (5.12b)$$

$$\chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d} \quad \text{Si } \bar{\lambda}_d \geq 1,38 \quad (5.12c)$$

Où :

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb} / \sigma_{cr,s}} \quad (5.12d)$$

où :

$$\text{Avec } \sigma_{cr,s} = \frac{2 \cdot \sqrt{KEI_s}}{A_s}$$

$\sigma_{cr,s}$ est la contrainte critique de flambement élastique pour un raidisseur de bord

K est la rigidité du support élastique par unité de longueur, voir 4.3.1(2) ;

I_s est le moment d'inertie de la section efficace d'aire A_s du raidisseur, par rapport à l'axe centroïde a - a de sa section transversale efficace, voir figure 4.2.

(8) Si $\chi < 1$, on peut éventuellement l'affiner par itération, en commençant avec des valeurs modifiées de ρ obtenues à l'aide de 4.2(5) avec $\sigma_{com,Ed}$ égal à $\chi f_y b / \gamma_{M1}$, de telle sorte que :

$$\bar{\lambda}_{p,red} = \bar{\lambda}_p \sqrt{\chi} \quad \dots (4.13)$$

(9) Si cette itération est effectuée, il convient de la poursuivre jusqu'à ce que la valeur courante de χ soit approximativement égale à la valeur précédente, mais sans la dépasser.

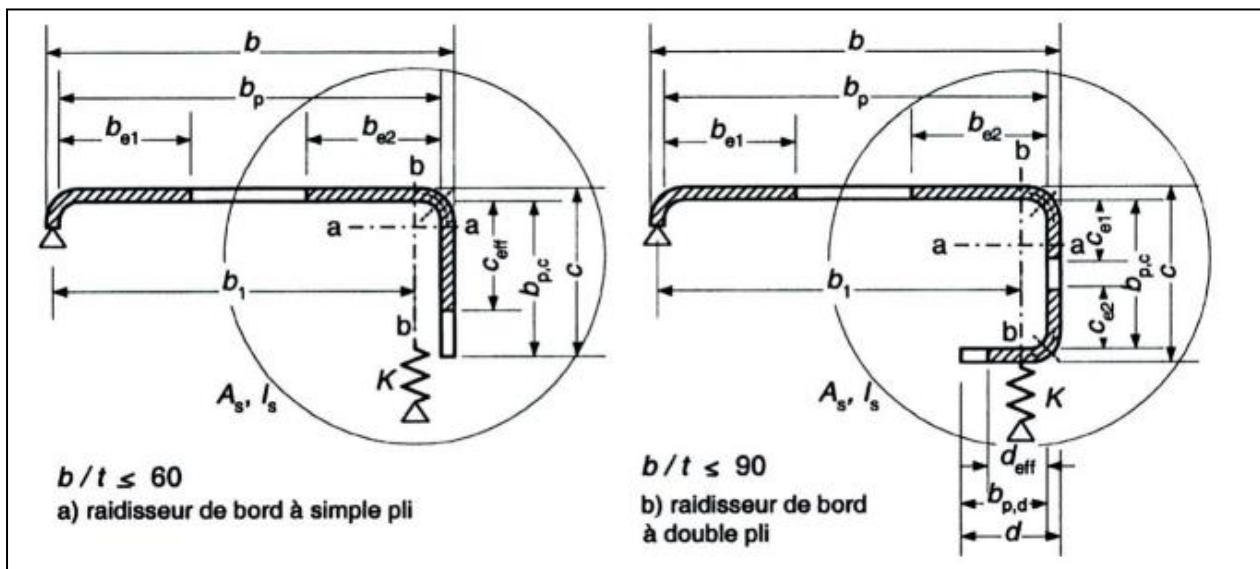
4.3.2 Parois munies de raidisseurs de bord

4.3.2.1 Conditions

(1) Un raidisseur de bord peut être à simple pli, ou à double pli, comme illustré sur la figure 4.2.

(2)P Un raidisseur de bord ne doit être pris en compte pour la détermination de la résistance des parois dont il fait partie, que si les conditions ci-après sont satisfaites :

- l'angle entre le raidisseur et la paroi n'est pas inférieur à 45° ni supérieur à 135° ;
- le débord c n'est pas inférieur à $0,2 b_p$, avec b_p et c tels qu'indiqué sur la figure 4.2 ;
- le rapport b_p / t n'est pas supérieur à 60 pour un raidisseur de bord à simple pli, ou à 90 pour un raidisseur de bord à double pli.



4.3.2.2 Méthode générale

(1) Il convient de prendre en compte comme section transversale d'un raidisseur de bord les parties efficaces du raidisseur, paroi c ou parois c et d comme indiqué sur la figure 4.2, augmentées de la partie efficace adjacente de la paroi plane b_p .

(2) Il convient d'appliquer la méthode, illustrée par la figure 4.3, en suivant les étapes ci-après :

- **Etape 1** : Obtenir une section transversale efficace initiale pour le raidisseur à l'aide des largeurs efficaces déterminées en considérant que le raidisseur confère un maintien total et que $\sigma_{com,Ed} = f_{yb} / \gamma_{M1}$, voir (3) à (5).
- **Etape 2** : Utiliser la section transversale efficace initiale du raidisseur pour déterminer le coefficient de réduction pour le flambement par flexion, en tenant compte des effets du maintien élastique continu, voir (6) et (7).
- **Etape 3** : Procéder par itération pour affiner la valeur du coefficient de réduction pour le flambement du raidisseur, voir (8) et (9).

(3) Il convient de déterminer les valeurs initiales des largeurs efficaces b_{e1} et b_{e2} indiquées sur la figure 4.2 à partir de l'article 4.2 en prenant pour hypothèse que la paroi b_p est une paroi sur deux appuis, voir tableau 4.1.

(4) Il convient d'obtenir les valeurs initiales des largeurs efficaces c_{eff} et d_{eff} indiquées sur la figure 4.2 de la façon suivante :

a) pour un raidisseur de bord à simple pli :

$$c_{eff} = \rho b_{p,c} \quad \dots (4.10a)$$

avec ρ obtenu d'après 4.2(4), en utilisant une valeur du coefficient de voilement k_σ donnée par les expressions suivantes :

- si $b_{p,c} / b_p \leq 0,35$:

$$k_\sigma = 0,5 \quad \dots (4.10b)$$

- si $0,35 < b_{p,c} / b_p \leq 0,6$:

$$k_\sigma = 0,5 + 0,83 \times \sqrt[3]{(b_{p,c} / b_p - 0,35)^2} \quad \dots (4.10c)$$

b) pour un raidisseur de bord à double pli :

$$c_{eff} = \rho b_{p,c} \quad \dots (4.10d)$$

avec ρ obtenu d'après 4.2(4), avec un coefficient de voilement k_σ pour une paroi sur deux appuis pris dans le tableau 4.1 ;

$$d_{eff} = \rho b_{p,d} \quad \dots (4.10e)$$

avec ρ obtenu d'après 4.2(4), avec un coefficient de voilement k_σ pour une paroi en console pris dans le tableau 4.2 ;

