

Affaire n°	Page	1 sur 6	Rev	A
Nom Affaire	Projet de Valorisation RFCS : Utilisation de l'Inox			
Sujet	<b>Exemple 11</b> – Calcul d'un bac de couverture à profil trapézoïdal portant sur deux travées			
Client RFCS	Rédigé par	JG/AO	Date	Fév. 2006
	Vérfié par	GZ	Date	Mars 2006

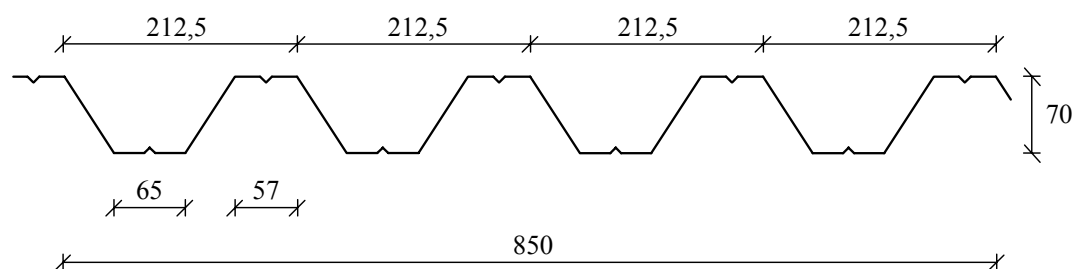
### EXEMPLE N°11 – CALCUL D'UN BAC DE COUVERTURE A PROFIL TRAPÉZOÏDAL PORTANT SUR DEUX TRAVÉES

Cet exemple concerne le calcul d'un bac de couverture à nervures trapézoïdales d'épaisseur 0,6 mm portant sur deux travées. Le matériau est un acier inoxydable de nuance 1.4401 CP500, c'est-à-dire formé à froid avec une limite d'élasticité de 500 MPa. Des comparaisons seront menées avec un bac similaire de nuance 1.4401 à l'état recuit, soit  $f_y = 240$  MPa (voir également l'Exemple n°3).

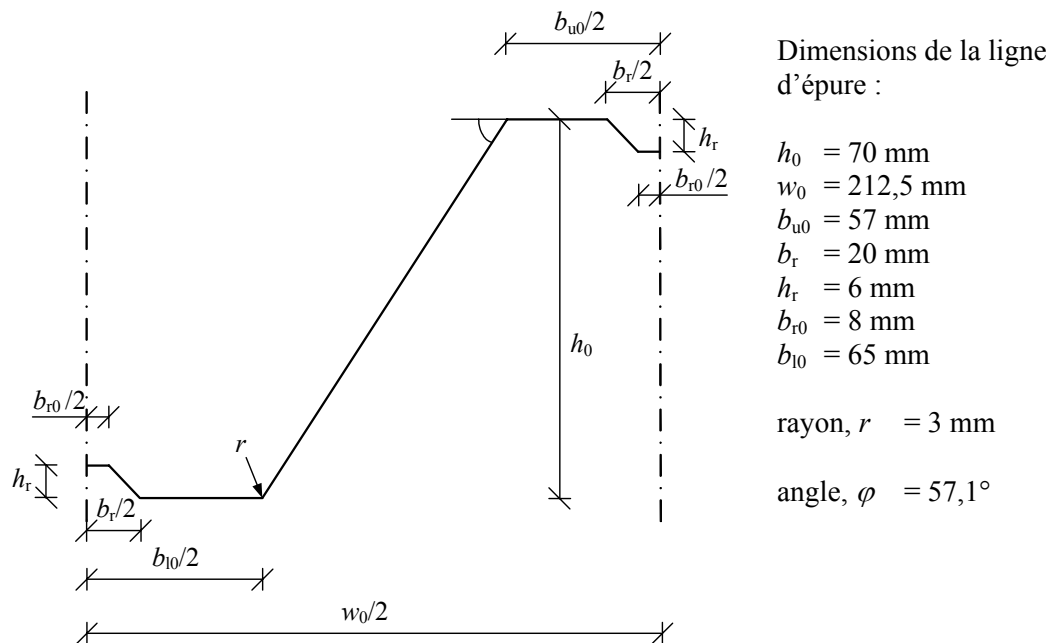
Dans le cas où la limite d'élasticité nominale n'est pas garantie par le fabricant dans toutes les directions du bac, il convient de la minorer à 80 % de sa valeur. Dans cet exemple, on suppose que la résistance n'est pas garantie afin de nous placer dans ce cas de figure.

§ 3.2.4

Les dimensions du bac profilé sont données ci-dessous.



Un schéma de détail de ce bac de couverture est donné à la figure ci-dessous. La semelle inférieure est comprimée au droit de l'appui intermédiaire et c'est, par conséquent, la configuration qui est vérifiée dans cet exemple.



Affaire n°	Page	2 sur 6	Rev	A
Nom Affaire	Projet de Valorisation RFCS : Utilisation de l'Inox			
Sujet	<b>Exemple 11</b> – Calcul d'un bac de couverture à profil trapézoïdal portant sur deux travées			
Client	Rédigé par	JG/AO	Date	Fév. 2006
RFCS	Vérifié par	GZ	Date	Mars 2006

## Données

Portée	$L = 3,5 \text{ m}$	
Charge	$q = 1,4 \text{ kN/m}^2$	
Poids propre	$g = 0,07 \text{ kN/m}^2$	
Épaisseur du bac	$t = 0,6 \text{ mm}$	
Largeur d'appui	$s_s = 100 \text{ mm}$	
Limite d'élasticité	$f_y = 0,8 \times 500 = 400 \text{ MPa}$	Tableau 3.5
Module d'élasticité	$E = 200\,000 \text{ MPa}$	

Coefficient partiel	$\gamma_{M0} = 1,1$	Tableau 2.1
Coefficient partiel	$\gamma_{M1} = 1,1$	Tableau 2.1
Coefficient de pondération	$\gamma_G = 1,35$ (charges permanentes)	§ 2.3.2
Coefficient de pondération	$\gamma_Q = 1,5$ (charges variables)	§ 2.3.2

## Caractéristiques de la section efficace

Rapports largeur-épaisseur maximums

$$\max(b_{10}/t, b_{u0}/t) = b_{10}/t = 108 < 400$$

$$h_0/t = 117 < 400$$

Tableau 4.1

## Position de l'axe neutre lorsque l'âme est pleinement efficace

Largeur efficace de la semelle comprimée

§ 4.4.1

$$b_p = \frac{b_{10} - b_r}{2} = 22,5 \text{ mm} \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y} \frac{E}{210000}} = 0,75$$

Tableau 4.2

$$k_\sigma = 4 \quad \bar{\lambda}_p = \frac{b_p/t}{28,4\varepsilon\sqrt{k_\sigma}} = 0,883$$

Tableau 4.3

Éq. 4.2

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,714 \rightarrow b_{\text{eff},1} = \rho b_p = 16,1 \text{ mm}$$

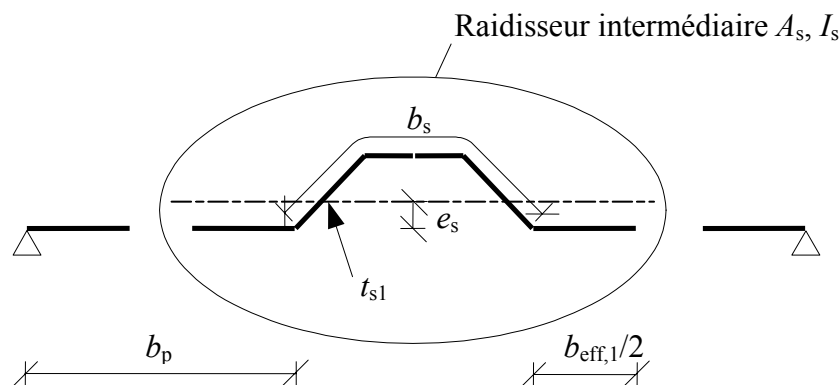
Éq. 4.1a

Tableau 4.3

Épaisseur réduite du raidisseur de semelle :

§ 4.5.3

La semelle inférieure comprimée est montrée en détail ci-dessous.



<h1>SBI</h1> <p>Stålbyggnadsinstitutet The Swedish Institute of Steel Construction</p> <p><b>FEUILLE DE CALCUL</b></p>	Affaire n°	Page	3 sur 6	Rev	A
	Nom Affaire <b>Projet de Valorisation RFCS : Utilisation de l'Inox</b>				
	Sujet <b>Exemple 11 – Calcul d'un bac de couverture à profil trapézoïdal portant sur deux travées</b>				
	Client	Rédigé par	JG/AO	Date	Fév. 2006
RFCS	Vérfié par	GZ	Date	Mars 2006	

Épaisseur efficace de la partie inclinée du raidisseur

$$t_{rl} = \frac{\left( \sqrt{\left( \frac{b_r - b_{r0}}{2} \right)^2 + h_r^2} \right) t}{h_r} = 0,85 \text{ mm}$$

$$A_s = (b_{eff,l} + b_{r0})t + 2h_r t_{rl} = 24,62 \text{ mm}^2$$

$$e_s = \frac{b_{r0} h_r t + 2h_r \frac{h_r}{2} t_{rl}}{A_s} = 2,41 \text{ mm}$$

Figure 4.3

Le moment d'inertie du raidisseur est calculé avec deux bandes adjacentes de largeur  $15t$  (les termes plus petits sont négligés)

Figure 4.3

$$I_s = 2 \times 15t^2 e_s^2 + b_{r0} t (h_r - e_s)^2 + 2h_r t_{rl} \left( \frac{h_r}{2} - e_s \right)^2 + 2 \frac{t_{rl} h_r^3}{12} = 159,1 \text{ mm}^4$$

$$b_s = 2 \sqrt{h_r^2 + \left( \frac{b_r - b_{r0}}{2} \right)^2} + b_{r0} = 24,97 \text{ mm}$$

$$l_b = 3,074 \sqrt[4]{\frac{I_s b_p^2 (2b_p + 3b_s)}{t^3}} = 251,0 \text{ mm}$$

Éq. 4.9

$$s_w = \sqrt{\left( \frac{w_0 - b_{u0} - b_{l0}}{2} \right)^2 + h_0^2} = 83,4 \text{ mm}$$

$$b_d = 2b_p + b_s = 70,0 \text{ mm}$$

Éq. 4.11

$$k_{wo} = \sqrt{\frac{s_w + 2b_d}{s_w + 0,5b_d}} = 1,37$$

Éq. 4.10

$$l_b / s_w = 3,01 > 2 \rightarrow k_w = k_{wo} = 1,37$$

Éq. 4.7

$$\sigma_{cr,s} = \frac{4,2k_w E}{A_s} \sqrt{\frac{I_s t^3}{4b_p^2 (2b_p + 3b_s)}} = 557,5 \text{ MPa}$$

Éq. 4.3

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,s}}} = 0,85 \rightarrow \chi_d = 1,47 - 0,723 \bar{\lambda}_d = 0,86$$

Éq. 4.16

$$t_{red} = \chi_d t = 0,51 \text{ mm}$$

Une itération optionnelle permettrait d'affiner la valeur du coefficient de réduction pour le flambement du raidisseur.

prEN 1993-1-3, clause 5.5.3.3 (3)

Distance de la semelle comprimée à l'axe neutre (âme pleinement efficace)

$$A_{tot} = \sum A_i = 84,0 \text{ mm}^2$$

<h1>SBI</h1> <p>Stålbyggnadsinstitutet The Swedish Institute of Steel Construction</p> <p><b>FEUILLE DE CALCUL</b></p>	Affaire n°	Page	4 sur 6	Rev	A
	Nom Affaire	Projet de Valorisation RFCS : Utilisation de l'Inox			
	Sujet	<b>Exemple 11</b> – Calcul d'un bac de couverture à profil trapézoïdal portant sur deux travées			
	Client	Rédigé par	JG/AO	Date	Fév. 2006
RFCS	Vérfié par	GZ	Date	Mars 2006	

$$e_c = \frac{\sum A_i e_i}{A_{\text{tot}}} = 36,3 \text{ mm}$$

### Section transversale efficace de l'âme

$$\psi = -\frac{h_0 - e_c}{e_c} = -0,929 \quad k_\sigma = 7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2 = 22,1$$

$$b_{p,w} = s_w = 83,4 \text{ mm} \quad \bar{\lambda}_p = \frac{b_{p,w} / t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}} = 1,391$$

$$\rho = \frac{0,772}{\bar{\lambda}_p} - \frac{0,125}{\bar{\lambda}_p^2} = 0,490 \rightarrow b_{\text{eff},w} = \rho \frac{b_{p,w}}{1 - \psi} = 21,2 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},1} = 0,4b_{\text{eff},w} = 8,47 \text{ mm} \quad s_{\text{eff},2} = 0,6b_{\text{eff},w} = 12,7 \text{ mm}$$

### Propriétés de la section transversale efficace par demi-onde

$$A_{\text{eff,tot}} = \sum A_{\text{eff},i} = 70,8 \text{ mm}^2$$

$$e_{\text{eff},c} = \frac{\sum A_{\text{eff},i} e_{\text{eff},i}}{A_{\text{eff,tot}}} = 40,0 \text{ mm}$$

$$I_{\text{tot}} = \sum I_{\text{eff},i} + \sum A_{\text{eff},i} (e_c - e_{\text{eff},i})^2 = 51710 \text{ mm}^4$$

### Résistance à la flexion par unité de largeur (1m)

$$I = I_{\text{tot}} \frac{1000 \text{ mm}}{0,5w_0} = 486685 \text{ mm}^4$$

$$W_{\text{eff},l} = \frac{I}{e_c} = 12165 \text{ mm}^3 \quad W_{\text{eff},u} = \frac{I}{h_0 - e_c} = 16227 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},l} < W_{\text{eff},u} \rightarrow W_{\text{eff},\text{min}} = W_{\text{eff},l}$$

$$M_{c,Rd} = W_{\text{eff},\text{min}} f_y / \gamma_{M0} = 4,42 \text{ kNm}$$

### Résistance aux efforts transversaux localisés sur l'appui intermédiaire

Résistance aux efforts transversaux localisés par unité de largeur (1 m)

$$\alpha = 0,15 \text{ (pour les bacs nervurés) et } l_a = s_s$$

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_y E} (1 - 0,1\sqrt{r/t}) \left[ 0,5 + \sqrt{0,02l_a / t} \right] \left( 2,4 + (\varphi/90)^2 \right) \frac{1000 \text{ mm}}{0,5w_0} / \gamma_{M1}$$

$$R_{w,Rd} = 20,9 \text{ kN}$$

§ 4.4.1

Tableau 4.3

Éq. 4.2

Éq. 4.1a,  
Tableau 4.3

Tableau 4.3

§ 4.7.4

Éq. 4.29

prEN 1993-1-3,  
Éqs. 6.20c,  
6.19b et 6.18

<h1>SBI</h1> <p>Stålbyggnadsinstitutet The Swedish Institute of Steel Construction</p> <p><b>FEUILLE DE CALCUL</b></p>	Affaire n°	Page	5 sur 6	Rev	A
	Nom Affaire <b>Projet de Valorisation RFCS : Utilisation de l'Inox</b>				
	Sujet <b>Exemple 11 – Calcul d'un bac de couverture à profil trapézoïdal portant sur deux travées</b>				
	Client	Rédigé par	JG/AO	Date	Fév. 2006
RFCS	Vérfié par	GZ	Date	Mars 2006	

### Interaction entre le moment fléchissant et les efforts transversaux

Le moment fléchissant maximum apparaissant au droit de l'appui intermédiaire où il se trouve en interaction avec la réaction d'appui, les vérifications suivantes doivent donc être effectuées.

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \quad \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1 \quad \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} \leq 1,25$$

Charge de calcul par unité de largeur (1 m)

$$q_d = \gamma_G g + \gamma_Q q = 2,20 \text{ kN/m}$$

La charge de calcul,  $q_d$ , conduit au moment fléchissant et à la réaction d'appui suivants au droit de l'appui intermédiaire.

$$M_{Ed} = \frac{qL^2}{8} = 3,37 \text{ kNm} \quad F_{Ed} = \frac{5}{4}qL = 9,63 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,76 \quad \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} = 0,46 \quad \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd}} = 1,22 \quad \text{OK}$$

### Flèche à l'état limite de service

Pour les vérifications à l'ELS, il convient de déterminer la largeur efficace des parois comprimées pour la contrainte de compression dans la paroi due au chargement à l'état limite de service. La contrainte de compression maximale est calculée comme suit. Une approximation plaçant en sécurité est faite en se basant sur  $W_{eff,min}$  déterminé à l'état limite ultime.

$$M_{Ed,ser} = \frac{(q+g)L^2}{8} = 2,25 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{com,Ed,ser} = \frac{M_{Ed,ser}}{W_{eff,min}} = 186 \text{ MPa}$$

Alors, les caractéristiques de la section efficace sont déterminées comme précédemment mais en remplaçant  $f_y$  par  $\sigma_{com,Ed,ser}$ . Ces calculs ne sont pas détaillés ici mais les résultats principaux sont :

$$I = 573\,150 \text{ mm}^4$$

$$W_u = 15\,866 \text{ mm}^3$$

$$W_l = 16\,919 \text{ mm}^3$$

### Détermination de la flèche :

Le module sécant correspondant respectivement à la contrainte dans la semelle tendue et la semelle comprimée.

$$\sigma_{l,Ed,ser} = \frac{M_{Ed,ser}}{W_u} = 142 \text{ MPa}$$

prEN 1993-1-3, Éqs. 6.28a-c  
§ 2.3.2  
Éq. 2.3

prEN 1993-1-3, clause 5.5.1(4)

§ 2.3.4

Annexe C

<h1>SBI</h1> <p>Stålbyggnadsinstitutet The Swedish Institute of Steel Construction</p> <p><b>FEUILLE DE CALCUL</b></p>	Affaire n°	Page	6 sur 6	Rev	A
	Nom Affaire <b>Projet de Valorisation RFCS : Utilisation de l'Inox</b>				
	Sujet <b>Exemple 11 – Calcul d'un bac de couverture à profil trapézoïdal portant sur deux travées</b>				
	Client	Rédigé par	JG/AO	Date	Fév. 2006
RFCS	Vérfié par	GZ	Date	Mars 2006	
$\sigma_{2,Ed,ser} = \frac{M_{Ed,ser}}{W_1} = 133 \text{ MPa}$ $E_{s,1} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{f_y} \left( \frac{\sigma_{1,Ed,ser}}{f_y} \right)^{n-1}} = 199\,604 \text{ MPa} \quad n = 7,0$ $E_{s,2} = \frac{E}{1 + 0,002 \frac{E}{f_y} \left( \frac{\sigma_{2,Ed,ser}}{f_y} \right)^{n-1}} = 199\,730 \text{ MPa}$ $E_s = \frac{E_{s,1} + E_{s,2}}{2} = 199\,667 \text{ MPa}$ <p>Par simplification, on peut négliger la variation de <math>E_s</math> le long de la barre et utiliser sa valeur minimale en se plaçant en sécurité, soit :</p> $E_s = E_{s,1} = 199\,603 \text{ MPa}$ <p>La flèche admissible est <math>L/300 = 11,7 \text{ mm}</math></p> $x = \frac{1 + \sqrt{33}}{16} L = 1,47 \text{ m} \quad (\text{position de la flèche maximale})$ $\delta = \frac{(g + q)L^4}{48E_{s,1}I} \left( \frac{x}{L} - 3\frac{x^3}{L^3} + 2\frac{x^4}{L^4} \right) = 10,4 \text{ mm} \qquad \text{OK}$ <p><b>Comparaison avec un bac de nuance 1.4401 en condition recuit</b></p> <p>La résistance à la flexion par unité de largeur d'un bac identique en acier de nuance 1.4401 en condition recuit (<math>f_y = 240 \text{ MPa}</math>) est :</p> $M_{c,Rd} = 3,22 \text{ kN.m}$ <p>et la résistance aux charges transversales localisées est :</p> $R_{w,Rd} = 16,2 \text{ kN}$ <p>Avec un bac réalisé avec un acier de nuance 1.4401 en condition recuit, la portée doit être réduite à 2,9 m comparativement à 3,5 m pour un matériau en condition formé à froid. En conséquence, une couverture réalisée en acier formé à froid autorise des portées plus grandes, ce qui signifie que le nombre de poutres ou de pannes secondaires peut être réduit, conduisant ainsi à un coût inférieur.</p>				Annexe C Tableau C.1	
				Annexe C	