



WP N°: 3
WP Title: eLectures: Interactive electronic lectures
Deliverable N°: D3.1
Deliverable Title : Holed profiles
Deliverable Date: 30th June 2018

<p>The GRISPE PLUS project has received financial support from the European Community’s Research Fund for Coal and Steel (RFCS) under grant agreement N° 754092”</p>		
Author(s)		
<i>Sokol Palisson Consultants, Anna Palisson</i>		
Drafting history		
<i>FINAL- DATE: 30th of June</i>		
Dissemination Level		
<i>PU</i>	<i>Public-Open</i>	
<i>PP</i>	<i>Restricted to the Commission Services, the Coal and Steel Technical Groups and the European Committee for Standardisation (CEN)</i>	
<i>RE</i>	<i>Restricted to a group specified by the Beneficiaries</i>	
<i>CO</i>	<i>Confidential, only for Beneficiaries (including the Commission services)</i>	

D3.1 HOLED PROFILES

RFCS funded – agreement N° 754092

Disclaimer notice and EU acknowledgement of support

Disclaimer notice

By making use of any information or content in this manual (Part 1 and Part 2) you agree to the following:

No warranties

All the information or content provided in this manual is provided “as is” and with no warranties. No express or implies warranties of any type, including for example implied warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, are made with respect to the information or content, or any use of the information or content in this manual.

The authors make no representations or extend no warranties of any type as to the completeness, accuracy, reliability, suitability or timeliness of any information or content in this manual.

Disclaimer of liability

This manual is for informational purposes only. It is your responsibility to independently determine whether to perform, use or adopt any of the information or content in this manual.

The authors specifically disclaim liability for incidental or consequential damages and assume no responsibility or liability for any loss or damage suffered by any

person as a result of the use or misuse of any of the information or content in this manual.

The authors will not be liable to you for any loss or damage including without limitation direct, indirect, special or consequential loss or damage, or any loss or damage whatsoever arising from loss of data or loss of business, production, revenue, income, profits, commercial opportunities, reputation or goodwill, arising out of, or in connection with, the use of the information or content in this manual.

The authors do not represent, warrant, undertake or guarantee that the use of the information or content in this manual will lead to any particular outcome or results.

Reasonableness

By using this manual, you agree that the exclusions and limitations of liability set out in this disclaimer are reasonable. If you do not think they are reasonable, you must not use this manual.

Severability

If any part of this disclaimer is declared unenforceable or invalid, the remainder will continue to be valid and enforceable.

"The information and views set out in this manual (Part 1 and Part 2) are those of the author(s) and do not necessarily reflect the official opinion of the European Union. Neither the European Union and bodies nor any person acting on their behalf may be held responsible for the use which may be made of the information or views contained therein"

EU acknowledgement of support

The GRISPE project has received financial support from the European Community's Research Fund for Coal and Steel (RFCS) under grant agreement No75 4092

RESUME

L'objectif de ce manuel de calcul est de présenter une nouvelle méthode analytique de dimensionnement des plaques nervurées avec ouverture, développée durant le projet Européen GRISPE.

Ce manuel est basé sur les principes des Eurocodes en général et plus spécifiquement sur ceux des normes EN 1993-1-3 et EN 1993-1-5.

Cette nouvelle méthode analytique de dimensionnement des plaques nervurées avec ouverture est basée sur des essais réalisés dans le cadre du projet Européen GRISPE (2013-2016).

Le background de cette méthode est décrit dans l'Annexe 1.

Le chapitre 1 détaille les types de profils concernés, l'état de l'art, les principaux résultats de recherche de GRISPE ainsi que les exigences et règles générales de dimensionnement;

Le chapitre 2 présente les considérations préalables qui doivent être prises en compte lors des phases de pré-dimensionnement incluant en particulier la vérification des champs d'application de la nouvelle méthode de calcul ;

Le chapitre 3 fournit les exigences technologiques de base ;

Le chapitre 4 énumère les propriétés des matériaux des profils ;

Le chapitre 5 indique la détermination des actions et leurs combinaisons ;

Le chapitre 6 explique la nouvelle méthode de calcul ;

Le chapitre 7 dresse la liste des considérations spécifiques de dimensionnement non couvertes par le présent manuel ;

Le chapitre 8 explique en détail le logiciel développé pour les plaques nervurées avec ouverture;

Le chapitre 9 présente une application de cette nouvelle méthode de dimensionnement ;

Le chapitre 10 présente l'autocontrôle du logiciel.

Une bibliographie ainsi qu'une Annexe sont incluses.

Préface

Ce manuel de calcul a été réalisé avec le soutien du financement RFCS n°**754092**

Cette nouvelle méthode de calcul a été présentée au groupe d'évolution de l'EN 1993-1-3 en 2016-2017 et, est considérée pour inclusion dans l'EN 1993-1-3.

Ce manuel de calcul a été rédigé par PALISSON Anna et a fait l'objet de discussions au sein d'un groupe de travail, du projet GRISPE PLUS, composé des membres suivants :

Mickael BLANC	France
Silvia CAPRILI	Italie
David IZABEL	France
Markus KUHNENNE	Allemagne
Anna PALISSON	France
Valérie PRUDOR	France
Irene PUNCELLO	Italie
Dominik PYSCHNY	Allemagne
Thibaut RENAUX	France
Daniel SPAGNI	France

Le(s) membre(s) correspondant(s) suivant(s) a(ont) été inclus :

SOKOL	Léopold	France
-------	---------	--------

Figures

Les figures ont été réalisées par les organismes et sociétés suivants:

Figure 1.1.1 – JORIS IDE et Sokol Palisson Consultants

Figure 1.1.2 – JORIS IDE et Sokol Palisson Consultants

Figure 1.3.1 – KIT

Figure 1.3.2 – KIT

Figure 1.3.3 – KIT

Figure 2.2.1.1 – Copie de l'EN 1993-1-3

Figure 2.2.2.1 – Copie de l'EN 1993-1-3

Figure 6.2.1 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.1 – Sokol Palisson Consultants

Figure 8.1.1 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.1.2 - Sokol Palisson Consultants

Figure 8.1.3 – Copie de l'EN 1993-1-3

Figure 9.1- Sokol Palisson Consultants

Figure 9.1.1- Sokol Palisson Consultants

Figure 9.1.2- Sokol Palisson Consultants

Figure 9.1.3- Sokol Palisson Consultants

Figure 9.2.1 – Copie de l'EN 1993-1-3

Figure 9.3.1.1 – Copie de l'EN 1993-1-3

Figure 9.3.1.2 – Copie de l'EN 1993-1-3

Figure 9.3.1.3 - Sokol Palisson Consultants

SOMMAIRE

Domaine d'application de la publication

Notations

1. INTRODUCTION

- 1.1. Type de tôle d'acier profilée concernée**
- 1.2. Etat de l'art avant le projet GRISPE**
- 1.3. Principaux résultats du projet GRISPE**
- 1.4. Exigences et règles générales de dimensionnement**

2. CONSIDERATION PRELIMINAIRE

- 2.1. Champ d'application de la nouvelle méthode de dimensionnement**
- 2.2. Dispositions technologiques pour la tôle d'acier**

3. EXIGENCES TECHNOLOGIQUES DE BASE

4. PROPRIETES DES MATERIAUX

5. ACTIONS ET LEURS COMBINAISONS

6. BASES DU CALCUL

- 6.1. Principes**
- 6.2. Champ d'application de la nouvelle méthode de calcul d**
- 6.3. Procédure du dimensionnement**

7. CONSIDERATION DU DIMENSIONNEMENT SPECIFIQUE

8. EXPLICATION DU LOGICIEL "HOLE – SPAN"

- 8.1. Données**

8.2. Vérification des proportions géométriques

8.3. Résultats

9. EXAMPLE DE DIMENSIONNEMENT

9.1. Section transversale de la plaque nervurée

9.2. Calcul de l'aire de la section transversale brute A_g

9.3. Calcul de l'aire de la section transversale efficace A_{eff} Etape 1 de l'itération

9.4. Calcul de l'aire de la section transversale efficace A_{eff} Etapes suivantes de l'itération

9.5. Calcul du moment résistant

10. AUTOCONTROLE DU LOGICIEL

Calcul du moment résistant

11. BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE 1

DOMAINE D'APPLICATION DE LA PUBLICATION

Le but de cette publication est de présenter une nouvelle méthode de dimensionnement des plaques nervurées avec ouverture qui a été proposée pour inclusion dans l'Eurocode EN 1993-1-3.

Cet exemple pratique traite de situations qui se produisent couramment.

Pour des problèmes spécifiques ou pour des situations exceptionnelles (telles que pour le sismique et le feu), il est nécessaire de suivre les clauses correspondantes des Eurocodes et/ou de l'EN 1090-4.

NOTATIONS

Les symboles suivants sont utilisés:

t : épaisseur de calcul

t_{nom} : épaisseur nominale

t_{eff} : épaisseur efficace

h_w : hauteur d'âme

h_a : hauteur de la partie de l'âme au-dessus du raidisseur

h_{sa} : hauteur du raidisseur de l'âme

d_s : hauteur du raidisseur de la semelle

d : dimension de l'ouverture

f_{yb} : limite d'élasticité

E : module d'Young

t_{red} : épaisseur réduite

b_{pi} : largeur de référence de la paroi

$b_{i,eff}$: largeur efficace de la paroi

A_g : aire de la section transversale brute

A_{eff} : aire de la section transversale efficace

z_G : position de l'axe neutre

σ_{xx} : contrainte

χ_d : coefficient de réduction pour la résistance au flambement par distorsion

$M_{c,Rd}$: moment résistant

M_{span} : moment résistant en travée

e_c : distance entre la semelle comprimée et la position de l'axe neutre

s_n : largeur de la partie de l'âme entre la semelle comprimée et la position de l'axe neutre

s_{eff} : largeur efficace de l'âme

W_{eff} : module d'inertie de la section efficace

1. INTRODUCTION

1.1. Type de tôle d'acier profilée concernée

Ce manuel de calcul traite des plaques nervurées avec ouverture circulaire (Figure 1.1.1) ou ouverture carrée (Figure 1.1.2) dans la semelle supérieure.

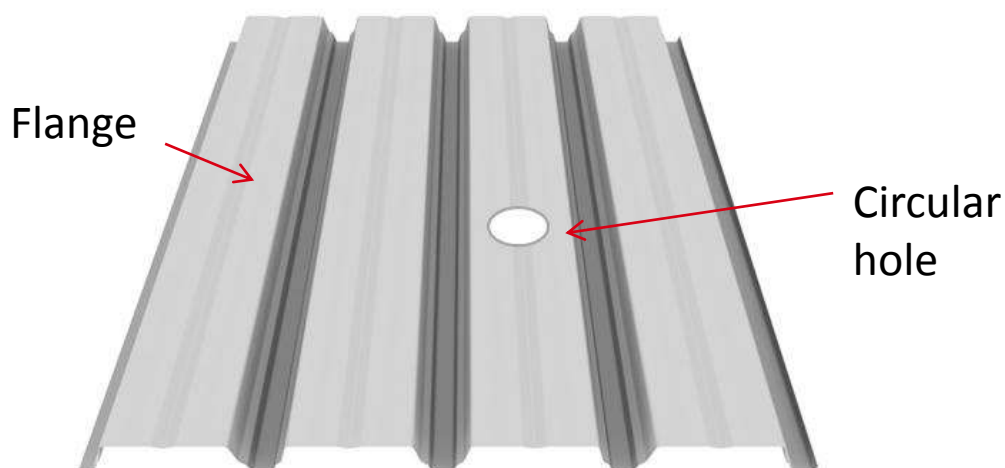


Figure 1.1.1 – Plaque nervurée en acier avec ouverture circulaire

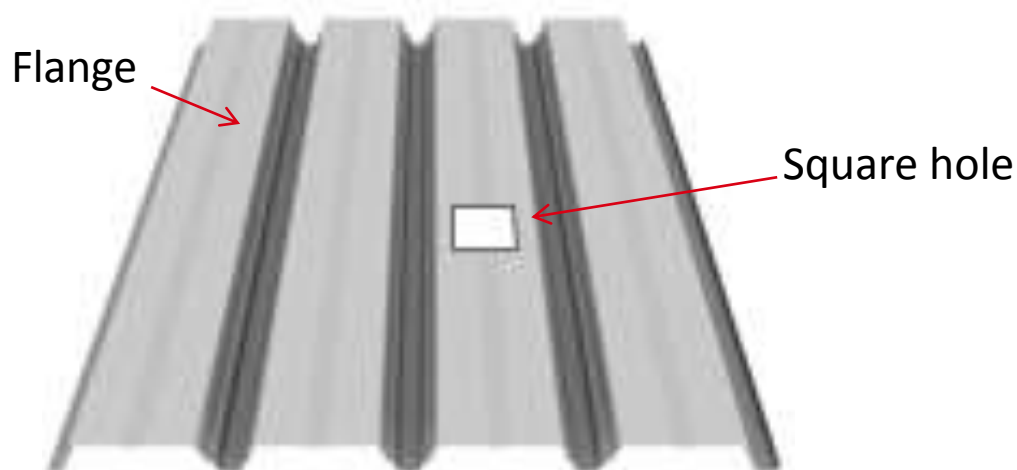


Figure 1.1.2 – Plaque nervurée en acier avec ouverture carrée

1.2. Etat de l'art avant le projet GRISPE

Dans le contexte des conditions de travail sur chantier, il est souvent nécessaire de percer ou de découper des ouvertures dans les semelles des plaques nervurées pour le passage des services. Il existe donc un risque de méthodes improvisées sur chantier entraînant une baisse de la sécurité et de la robustesse. Les ouvertures réduisent globalement et localement la capacité de résistance de la plaque nervurée et ont un impact sur la résistance à la flexion et par conséquent sur la sécurité.

Une formule pour le flambement des plaques avec ouverture est disponible dans la littérature [1] tandis que la norme allemande DIN 18807-3 fournit des solutions pour certaines distributions et positions spécifiques d'ouverture [2] pour lesquelles l'IFBS a également fourni des applications pratiques [3]] mais c'est uniquement pour des ouvertures avec renfort. Le US Council on Tall Buildings et Urban Habitat [4] a examiné l'approche néerlandaise (SIS 1991), américaine (Heagler 1987) et canadienne. Les trous de pénétration sous forme de petites ouvertures carrées ou rondes pour le passage de services tels que l'évacuation des eaux pluviales sont toujours réalisés dans les toits [5].

Plusieurs études sur des tôles d'acier avec des ouvertures [3], [4], [6], [7], [8] ne traitent que de l'effet des ouvertures sur le flambement local et le post-flambement des plaques soumises à une compression ou à un cisaillement. Par conséquent, il n'y a pas d'études qui établissent pour les plaques nervurées avec des trous la résistance au moment fléchissant. De plus, la norme européenne EN 1993-1-3 ne fournit pas non plus d'information sur le calcul de la résistance au moment.

La seule possibilité pour les fabricants de concevoir une plaque nervurée avec une ouverture est d'effectuer des tests coûteux et chronophages.

1.3. Principaux résultats du projet GRISPE

Afin de déterminer et de comparer les valeurs de résistance des plaques nervurées sans ouverture et avec ouverture, un vaste programme de 48 essais a été réalisé conformément à la norme EN 1993-1-3 Annexe A sur des plaques nervurées en acier (Figure 1.3.1 à Figure 1.3.4):

- Avec ouverture circulaire dans la semelle supérieure
- Avec ouverture carrée dans la semelle supérieure
- sans ouverture

Sur la base de ces essais une méthode de calcul a été développée, vérifiée et validée pour déterminer la résistance au moment fléchissant, d'une plaque nervurée avec une ouverture circulaire ou carrée dans la semelle supérieure.



Figure 1.3.1 – Essai en travée simple sur plaque nervurée sans ouverture



Figure 1.3.2 – Essai en travée simple sur plaque nervurée avec ouverture circulaire



Figure 1.3.3 – Essai en travée simple sur plaque nervurée avec ouverture carrée

1.4. Exigences et règles générales de dimensionnement

- (1) La conception des plaques nervurées avec ouverture doit être conforme aux règles générales données dans la norme EN 1993-1-3
- (2) Des coefficients partiels appropriés doivent être adoptés pour les états limites ultimes et pour les états limites de service conformément à l'EN 1993-1-3.

2. CONSIDERATIONS PRELIMINAIRES

2.1. Champ d'application de la nouvelle méthode de dimensionnement

Ce manuel définit des exigences de calcul pour les plaques nervurées en acier avec ouverture circulaire ou carrée. L'exécution des structures en acier constituées en plaques nervurées est couverte par l'EN 1090.

Ce manuel donne une méthode pour le dimensionnement par calcul. Cette méthode ne s'applique que dans des gammes bien définies de caractéristiques des matériaux et de proportions géométriques.

Ce manuel ne couvre pas la prise en compte des charges relatives aux phases d'exécution et d'entretien.

Les règles de calcul données dans le présent manuel ne sont applicables que si les tolérances des profilés formés à froid sont conformes à l'EN 1993-1-3.

2.2. Dispositions technologiques pour la tôle d'acier

2.2.1. Types de sections

- (1) Les plaques nervurées présentent, dans la limite des tolérances autorisées, une épaisseur nominale constante sur toute leur longueur, et peuvent avoir une section transversale uniforme ou une section de hauteur variable.
- (2) Les sections transversales des tôles profilées sont composées pour l'essentiel de parois planes reliées par des éléments courbes.
- (3) Les formes habituelles de tôles profilées sont présentées à la figure 2.2.1.1.

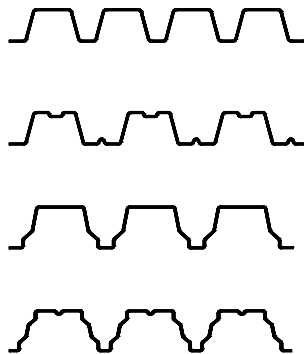


Figure 2.2.1.1 – Exemples de tôles profilées

- (4) Les sections transversales des plaques nervurées peuvent être non raidies ou comporter des raidisseurs longitudinaux de leurs âmes, de leurs semelles ou les deux.

2.2.2. Dimensions des sections transversales

Les dimensions des sections transversales doivent satisfaire les exigences générales définies par l'EN 1993-1-3, section 1.5.3.

- (1) L'épaisseur de métal t est l'épaisseur de calcul (définie si nécessaire par l'épaisseur de métal nu moins la tolérance comme spécifié dans la clause 3.2.4 de l'EN 1993-1-3), sauf indication contraire.
- (2) Il convient de ne pas appliquer les dispositions données dans ce manuel pour le dimensionnement par calcul, aux sections transversales dont les rapports largeur sur épaisseur ne se situent pas dans la gamme de valeurs b/t , h/t , c/t and d/t données dans le tableau 2.2.2.1 (Tableau 5.1 de l'EN 1993-1-3).
- (3)

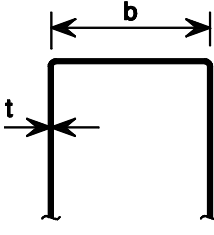
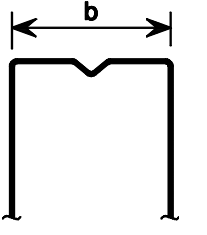
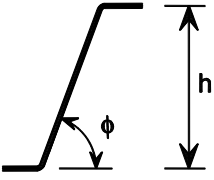
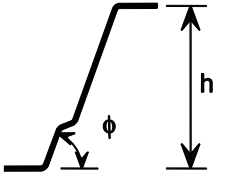
		$b/t \leq 500$
		$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

Tableau 2.2.2.1 – Vérification des proportions géométriques

3. EXIGENCES TECHNOLOGIQUES DE BASE

Plaques nervurées et marquage CE

Les plaques nervurées en acier sont marquées CE selon la norme EN 14782 (si non structurale) ou EN 1090-1 (si structurale).

4. PROPRIETES DES MATERIAUX

Tôles d'acier

Les propriétés des matériaux doivent satisfaire aux exigences formulées par la norme EN 1993-1-3, section 3.

Les types d'acier habituels sont les nuances S320GD + ZA et S350GD + ZA

Les tolérances des épaisseurs doivent satisfaire aux exigences formulées par la norme EN 1993-1-3, section 3.2.4.

5. ACTIONS ET LEURS COMBINAISONS

Les actions et leurs combinaisons doivent être prises en compte et déterminées conformément à l'EN 1991-1-6 Eurocode 1: Actions sur les structures, Partie 1-6 : Actions générales – Actions en cours d'exécution, 2005, et leurs Annexes Nationales.

6. BASES DU CALCUL

6.1. Principes

Cette nouvelle méthode de dimensionnement est donnée pour calculer la résistance au moment fléchissant pour une plaque nervurée avec ouverture circulaire ou carrée dans la semelle comprimée.

6.2. Champ d'application de la nouvelle méthode de calcul

Cette nouvelle méthode est donnée pour une plaque nervurée avec ouverture circulaire ou carrée (Figure 6.2.1) dans une semelle.

Domaine de validité :

- plaque trapézoïdale nervurée;
- pas plus de deux ouvertures par portée dans une semelle, avec un minimum de distance conforme à la Figure 6.2.1;
- seules les charges uniformément réparties sont permises

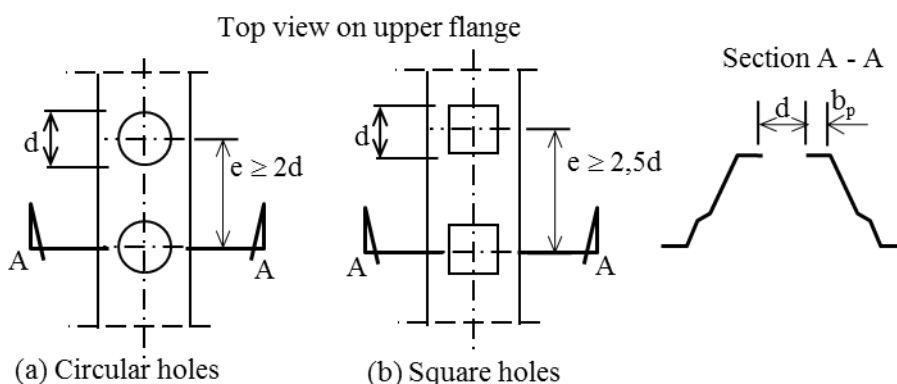


Figure 6.2.1 – Plaque nervurée avec ouverture circulaire ou carrée dans une semelle

6.3. Procédure du dimensionnement

6.3.1. Section efficace d'une plaque nervurée avec ouverture dans la semelle

Dans le cas d'ouverture circulaire ou carrée dans la semelle comprimée, la largeur efficace des parties de semelle adjacentes aux âmes peut être déterminée en considérant les parois comme des parois comprimées en console de largeur b_p

6.3.2. Résistance au moment fléchissant d'une plaque nervurée avec ouverture dans la semelle

Le moment résistant de calcul d'une section transversale soumise à la flexion par rapport à un axe principal $M_{c,Rd}$ est déterminé conformément à l'EN 1993-1-3 "6.1.4 Moment fléchissant", comme suit :

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Il convient de déterminer le module d'inertie de la section efficace W_{eff} à partir d'une section transversale efficace soumise uniquement à un moment fléchissant par rapport à l'axe principal approprié, avec une contrainte maximale $\sigma_{max,Ed}$ égale à f_{yb} / γ_{M0} , en tenant compte des effets du flambement local et par distorsion, tels que spécifiés à la Section 5.5. et 7.1 de l'EN 1993-1-3.

7. CONSIDERATION DU DIMENSIONNEMENT SPECIFIQUE

Les domaines suivants ne sont pas traités par le présent manuel :

Le feu

Le séisme

Les aspects environnementaux

La thermique

L'acoustique

Autres

8. EXPLICATION DU LOGICIEL "HOLE - SPAN"

Ce logiciel permet de calculer la résistance au moment en travée pour une plaque nervurée avec ouverture sur une des semelles supérieures, avec un raidisseur dans les autres semelles supérieures et avec un raidisseur dans les âmes.

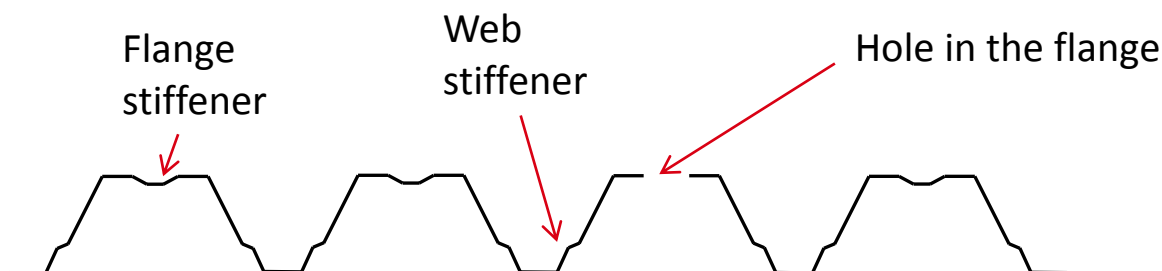


Figure 8.1 -. Plaque nervurée avec une ouverture dans une semelle supérieure, avec un raidisseur dans les autres semelles supérieures et un raidisseur dans l'âme

8.1. Données

Toutes les cellules rouges doivent être complétées avec les dimensions du profil (*Figures 8.1.1 et 8.1.2*): les rayons internes R, les angles θ , l'épaisseur de calcul t, l'épaisseur nominale t_{nom} , le pas, la hauteur de l'âme h_w , la hauteur de la partie de l'âme au-dessus du raidisseur h_a , la hauteur du raidisseur de l'âme h_{sa} , la hauteur du raidisseur de semelle d_s , la limite d'élasticité f_{yb} , le module d'Young E, largeur de la semelle supérieure b_0 , dimension de l'ouverture d:

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	R3 (mm)	θ_3 (rad)
t (mm)	t_{nom} (mm)	Pitch (mm)	h_w (mm)	h_a (mm)	h_{sa} (mm)	d_s (mm)
f_{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}	b_0 (mm)	d (mm)		

Tableau 8.1.1 - Cellules Excel devant être complétées avec les dimensions du profil

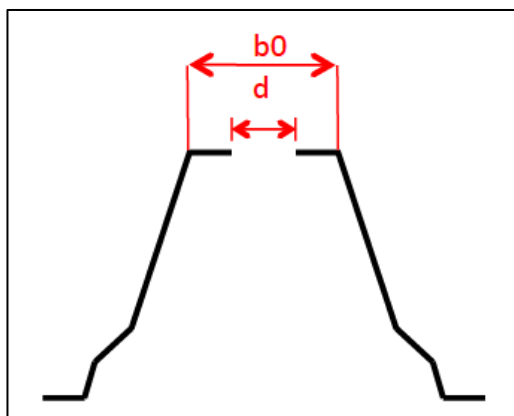


Figure 8.1.1 – Dimension de l’ouverture

Compléter les cellules rouges du tableau suivant avec les dimensions (b_{pi}) des éléments de ½ nervure. Les numéros des éléments sont donnés sur la Figure 8.1.2. La longueur des éléments est mesurée entre les points médians « P » des arrondis adjacents comme indiqué sur la Figure 8.1.3.

Element	b_{pi} (mm)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	

Tableau 8.1.2 - Cellules Excel à compléter avec les dimensions des éléments

Compléter la cellule rouge du tableau suivant avec les nombre de semelles supérieures sans ouverture.

Number of upper flanges without a hole	
--	--

Tableau 8.1.3 – Cellule excel à completer avec les nombre de semelles supérieures sans ouverture

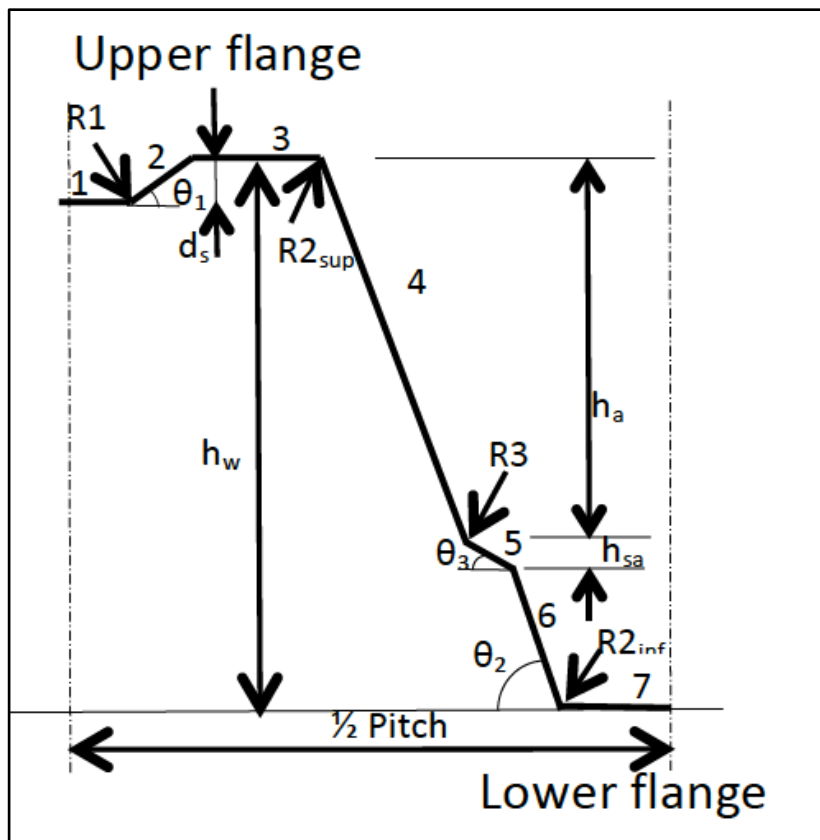


Figure 8.1.2 - Numéros des éléments et donnée (1/2 nervure sans ouverture)

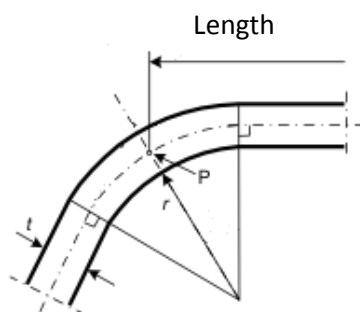


Figure 8.1.3 - Longueur des éléments mesurée entre les points médians « P »

8.2. Vérification des proportions géométriques

Compléter la cellule rouge du tableau suivant avec les dimensions (b).

Le logiciel affiche automatiquement la vérification des proportions géométriques.

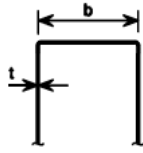
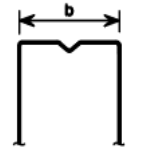
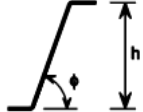
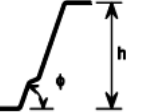
	$b =$			$b/t \leq 500$
	$b/t =$			
	$\theta_2 =$			
	$h/t =$			$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$
	$500 \sin(\theta_2) =$			$h/t \leq 500 \sin \phi$
$r <$	$0,04 t E / f_y$			

Tableau 8.2.1 - Vérification automatiques des proportions géométriques

8.3. Résultats

Le logiciel affiche automatiquement le résultat:

⇒ moment résistant en travée $M_{span} =$ **xxx** **kNm/m**

9. EXEMPLE DE CALCUL

Cet exemple montre comment traiter les plaques nervurées avec une ouverture circulaire ou carrée dans une semelle, avec un raidisseur dans les autres semelles supérieures et un raidisseur dans l'âme, lorsqu'on détermine la résistance en flexion

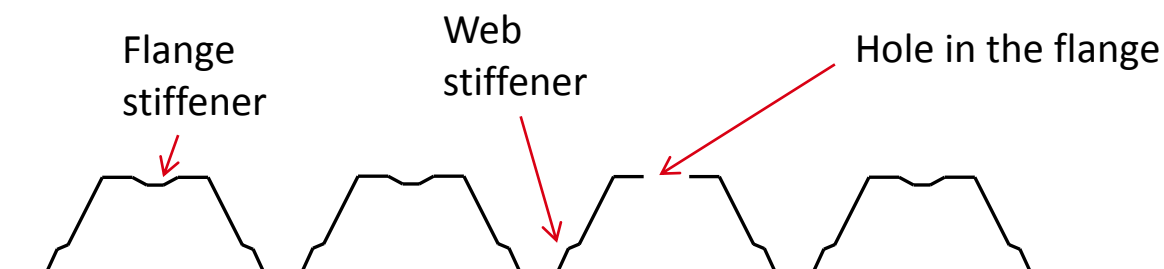


Figure 9.1 - Plaque nervurée avec une ouverture dans une semelle supérieure, avec un raidisseur dans les autres semelles supérieures et un raidisseur dans l'âme

9.1. Section transversale de la plaque nervurée

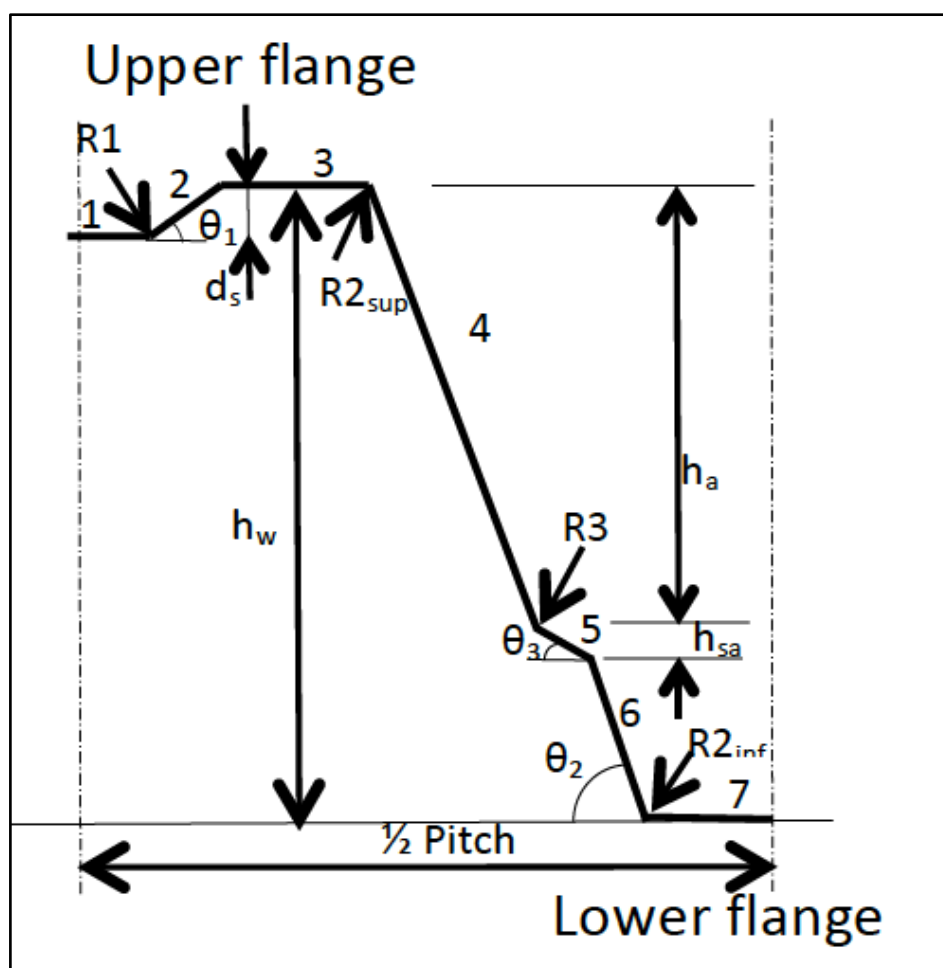


Figure 9.1.1 - Section transversale de la plaque nervurée (1/2 nervure sans ouverture)

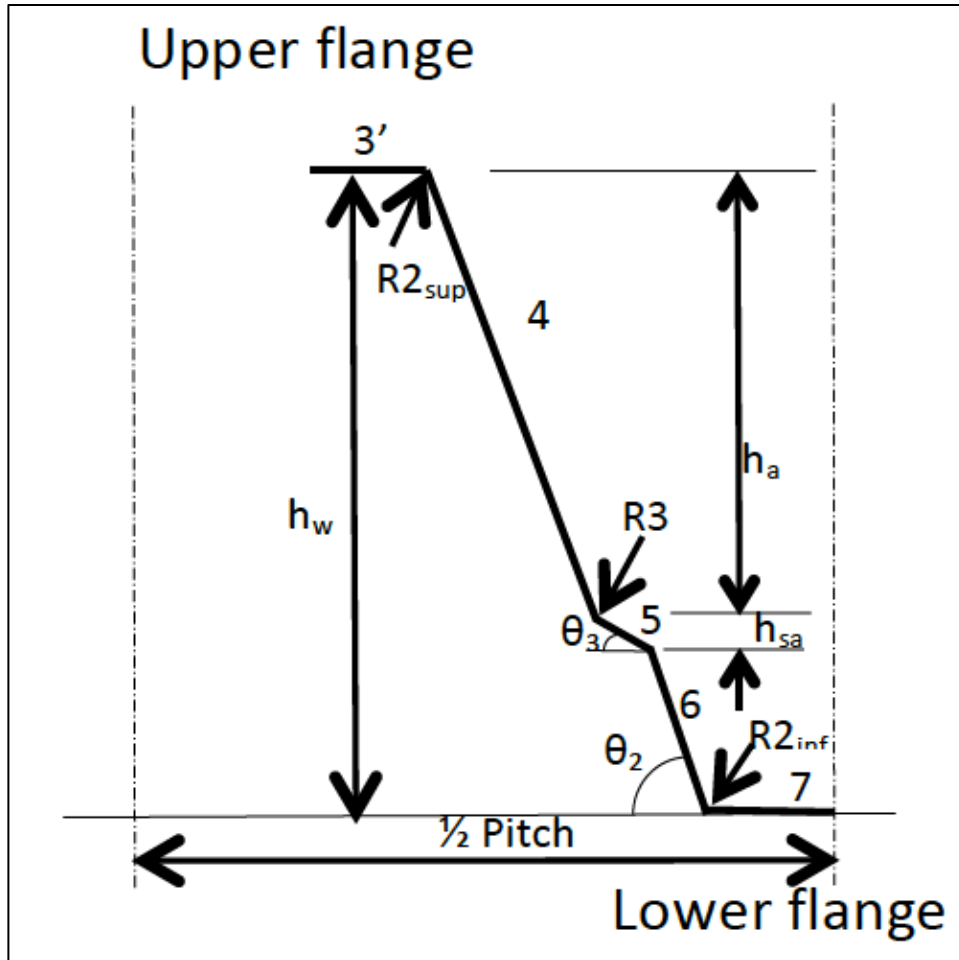


Figure 9.1.2 - Section transversale de la plaque nervurée (1/2 nervure avec ouverture)

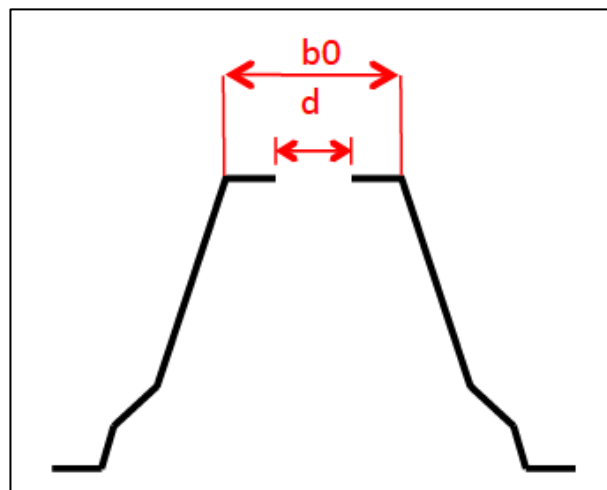


Figure 9.1.3 - Largeur de l'ouverture (nervure avec ouverture)

9.1.1. Caractéristiques de la plaque nervurée

Cet exemple est basé sur le calcul de la résistance au moment en travée pour un profil ayant les caractéristiques suivantes:

R1 (mm)	θ_1 (rad)	R2 _{sup} (mm)	R2 _{inf} (mm)	θ_2 (rad)	R3 (mm)	θ_3 (rad)
0	0.22	6	6	1.31	3	0.99

t _{nom} (mm)	t (mm)	Pitch (mm)	h _w (mm)	h _a (mm)	h _{sa} (mm)	d _s (mm)
0.75	0.71	195	73	45	9	3

f _{yb} (N/mm ²)	E (N/mm ²)	γ_{M0}	b0 (mm)	d (mm)
320.00	210000.00	1.00	125	90.00

Tableau 9.1.1.1 - Caractéristiques de la plaque nervurée

Element	b _{pi} (mm)
1	0.00
2	15.30
3	47.50
4	45.44
5	10.38
6	18.52
7	12.00

Tableau 9.1.1.2 - Dimensions des éléments

9.1.2. Vérification des proportions géométriques

b = 125; t = 0.71; h = 73; f_y = 320 N/mm²

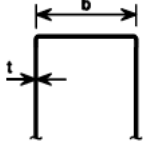
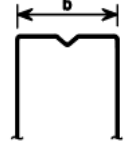
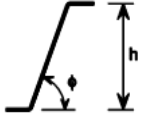
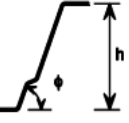
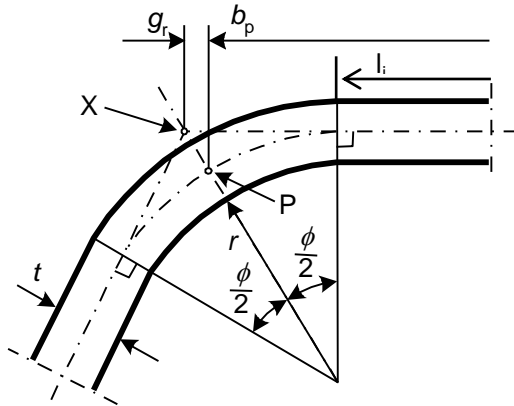
				b/t ≤ 500
	b = 125.00			
	b/t = 176.06			
	$\theta_2 = 75.00$			45° ≤ φ ≤ 90°
	h/t = 102.82			h/t ≤ 500 sin φ
	500 sin(θ ₂) = 482.96			
r <	0,04 t E / f _y = 18.64			

Tableau 9.1.2.1 - Vérification des proportions géométriques

9.2. Calcul de l'aire de la section transversale brute A_g

A_g est la somme des aires de chaque élément (longueur x t)

longueur = $l_i = b_p - r_m \times \sin\pi/4$



(a) midpoint of corner or bend

X is intersection of midlines

P is midpoint of corner

$r_m = r + t/2$

Figure 9.2.1 - Largeurs de référence des sections transversales de parois b_p tenant compte des rayons d'arrondi

9.2.1. Calcul de l'aire A_g de la section transversale brute sans ouverture

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
1	0.0	0.0	70.0	0.00	-21.2
Corner 1 _{inf}	0.0	0.0	70.0	0.00	-21.2
2	15.3	10.9	71.5	776.56	-22.7
Corner 1 _{sup}	0.0	0.0	73.0	0.00	-24.2
3	43.8	31.1	73.0	2272.61	-24.2
Corner 2 _{sup}	7.9	5.6	71.4	398.30	-22.6
4	40.4	28.7	50.5	1447.25	-1.7
Corner 3 _{sup}	3.0	2.1	28.0	59.04	20.8
5	7.5	5.3	23.5	125.58	25.3
Corner 3 _{inf}	3.0	2.1	19.0	40.07	29.8
6	13.4	9.5	9.5	90.70	39.3
Corner 2 _{inf}	7.9	5.6	1.6	8.77	47.3
7	8.3	5.9	0.0	0.00	48.8
TOTAL		106.8		5218.9	48.8

Tableau 9.2.1.1 - Dimensions des éléments

$A_g = 106.8 \text{ mm}^2$

Position de l'axe neutre: $z_G = S / A_g = 48.8 \text{ mm}$

9.2.2. Calcul de l'aire A_g de la section transversale brute avec ouverture

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	z_0 (mm)
3'	13.8	9.8	73.0	717.71	-24.2
Corner 2 _{sup}	7.9	5.6	71.4	398.30	-22.6
4	40.4	28.7	50.5	1447.25	-1.7
Corner 3 _{sup}	3.0	2.1	28.0	59.04	20.8
5	7.5	5.3	23.5	125.58	25.3
Corner 3 _{inf}	3.0	2.1	19.0	40.07	29.8
6	13.4	9.5	9.5	90.70	39.3
Corner 2 _{inf}	7.9	5.6	1.6	8.77	47.3
7	8.3	5.9	0.0	0.00	48.8
TOTAL		74.7		2887.4	38.7

Tableau 9.2.2.1 - Dimensions des éléments

$A_g = 74.7 \text{ mm}^2$

Position de l'axe neutre: $z_G = S / A_g = 38.7 \text{ mm}$

**9.3. Calcul de l'aire de la section transversale efficace A_{eff}
Etape1 de l'itération**

A_{eff} est la somme des aires efficaces de chaque élément.

9.3.1. Calcul de l'aire A_{eff} de la section transversale efficace sans ouverture

La semelle supérieure possède 1 raidisseur. La section transversale efficace de la semelle est calculée conformément à l'EN 1993-1-3 § "5.5.3.4.2 Semelles munies de raidisseurs intermédiaires"

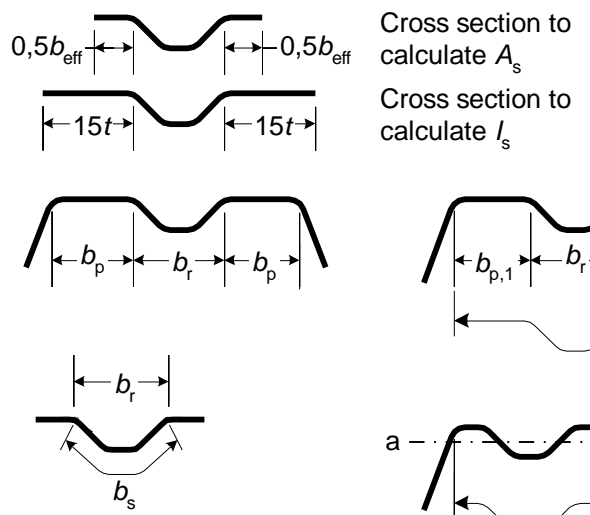


Figure 9.3.1.1 - Semelle avec un raidisseur

La contrainte dans la semelle supérieure est $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 158 \text{ N} / \text{mm}^2$

$$b_p = 47.5 \text{ mm}$$

$$\lambda_p = b_p / t / (28.4 \epsilon k_\sigma^{1/2}) \text{ avec } \epsilon = (235 / f_{yb})^{1/2}$$

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 1 \rightarrow \text{Coefficient } k_\sigma = 4$$

$$\lambda_p = 1.374$$

$$\lambda_{pred} = \lambda_p \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred1} = 0.966$$

$$\lambda_{pred} > 0.673 \rightarrow \rho = \frac{1 - 0,055(3+\psi) \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \rightarrow \rho = 0.894$$

$$b_{eff} = \rho * b_p = 42.5 \rightarrow \boxed{0,5 b_{eff} = 21.2 \text{ m}}$$

Raidisseur dans la semelle supérieure:

La section transversale d'un raidisseur est calculée conformément à l'EN 1993-1-3 § « 5.5.3.3 Parois munies de raidisseurs intermédiaires »

Calcul de la contrainte critique de flambement $\sigma_{cr,s}$

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

$$b_s = 30.6 \text{ mm}, b_p = 47.5 \text{ mm}$$

Calcul de A_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)
plane part	21.23	15.08
Corner l_{sup}	0.00	0.00
2	15.30	10.86
Corner l_{inf}	0.00	0.00
2	0.00	0.00
Corner l_{inf}	0.00	0.00
2	15.30	10.86
Corner l_{sup}	0.00	0.00
plane part	21.23	15.08
TOTAL		51.9

Tableau 9.3.1.1 - Longueur et aire des éléments

$$A_s = 51.9 \text{ mm}^2$$

Calcul de I_s

Element	l_i (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	z_0 (mm)	h	I_i (mm ⁴)
plane part	10.65	7.56	0.00	0.00	0.88	0.71	6.23
Corner l_{sup}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00
2	15.30	10.86	1.50	16.29	-0.62	3.30	13.95
Corner l_{inf}	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.00	0.00
1	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.71	0.00
Corner l_{inf}	0.00	0.00	3.00	0.00	-2.12	0.00	0.00
2	15.30	10.86	1.50	16.29	-0.62	3.30	13.95
Corner l_{sup}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.00	0.00
plane part	10.65	7.56	0.00	0.00	0.88	0.71	6.23
TOTAL		36.8		32.6	0.88		40.4

Tableau 9.3.1.2 - Longueur et moment d'inertie des éléments

$$I_s = 40.4 \text{ mm}^4$$

$$I_b = 3,07 \sqrt[4]{\frac{I_s b_p^2 (2 b_p + 3 b_s)}{t^3}}$$

$$I_b = 254.9$$

$$s_w = 73.7$$

$$I_b / s_w = 3.5 \geq 2 \rightarrow k_w = k_{w0}$$

$$k_{w0} = \sqrt{\frac{s_w + 2 b_d}{s_w + 0,5 b_d}}$$

$$k_{w0} = 1.54$$

$$\text{contrainte critique de flambement } \sigma_{cr,s} = 76.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\bar{\lambda}_d = \sqrt{f_{yb} / \sigma_{cr,s}}$$

$$\bar{\lambda}_d = 2.04$$

$$\bar{\lambda}_d \geq 1,38 \rightarrow \chi_d = \frac{0,66}{\bar{\lambda}_d}$$

$$\text{Coefficient de réduction pour la résistance au flambement par distorsion } \chi_d = 0,323$$

$$\text{Epaisseur réduite } t_{red} = C_d t \frac{f_{yb} / g_{M0}}{S_{com,Ed}}$$

$$\text{Epaisseur réduite } t_{red} = 0.46 \text{ mm}$$

Aire de la section transversale efficace de l'âme

L'aire de la section efficace de l'âme est calculée conformément à la section "5.5.3.4.3 Ames avec au plus deux raidisseurs intermédiaires" de l'EN 1993-1-3

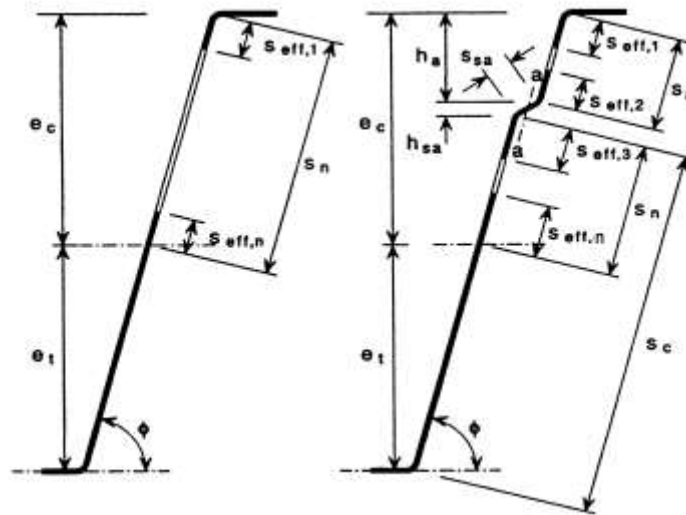


Figure 9.3.1.2 - Section transversale efficace de l'âme

Etant donné que $z_g = 48.8$ mm et $h_a = 45$ mm le raidisseur de l'âme se trouve en dessous de l'axe neutre, il n'est donc pas comprimé et la largeur efficace de l'âme est donc calculée comme une âme sans raidisseur.

$$e_c = h_w - z_G = 24,2 \text{ mm} \rightarrow s_n = 24,1 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{com}} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 158 \text{ N / mm}^2$$

Les valeurs de la section efficace sont définies itérativement \rightarrow

$$s_{\text{eff},0} = 0,95t \sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0} \sigma_{\text{com,Ed}}}}$$

$$\rightarrow s_{\text{eff},0} = 24,6 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},1} = s_{\text{eff},0} \rightarrow s_{\text{eff},1} = 24,6 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},n} = 1,5 s_{\text{eff},0} \rightarrow s_{\text{eff},n} = 36,9 \text{ mm} \rightarrow s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},n} \geq s_n \text{ l'âme est pleinement efficace}$$

$$s_{\text{eff},1} = 0,4s_n$$

$$s_{\text{eff},n} = 0,6s_n$$

Aire de la section transversale efficace de la semelle inférieure

Dans ce cas la semelle inférieure est en tension \rightarrow toute la largeur est efficace

Aire de la section transversale efficace totale

Calcul de A_{eff}

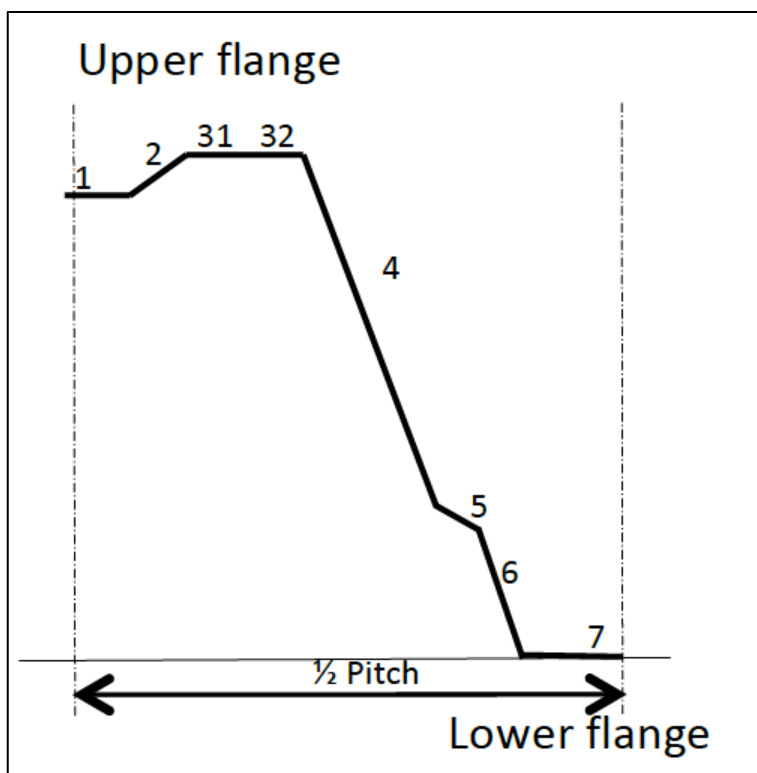


Figure 9.3.1.3 - Numéros des éléments

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	z_0 (mm)
1	0.0	0.46	0.0	70.00	0.00	-23.97
Corner 1 _{inf}	0.0	0.46	0.0	70.00	0.00	-23.97
2	15.3	0.46	7.1	71.50	507.80	-25.47
Corner 1 _{sup}	0.0	0.46	0.0	73.00	0.00	-26.97
31	23.8	0.46	11.0	73.00	804.94	-26.97
32	17.6	0.71	12.5	73.00	911.17	-26.97
Corner 2 _{sup}	7.9	0.71	5.6	71.43	398.30	-25.40
4	40.4	0.71	28.7	50.50	1447.25	-4.47
Corner 3 _{sup}	3.0	0.71	2.1	28.00	59.04	18.03
5	7.5	0.71	5.3	23.50	125.58	22.53
Corner 3 _{inf}	3.0	0.71	2.1	19.00	40.07	27.03
6	13.4	0.71	9.5	9.50	90.70	36.53
Corner 2 _{inf}	7.9	0.71	5.6	1.57	8.77	44.45
7	8.3	0.71	5.9	0.00	0.00	46.03
TOTAL			95.5		4393.6	46.0

Tableau 9.3.1.3 - Longueur et aire des éléments

$$A_{\text{eff}} = 95.5 \text{ mm}^2$$

Position de l'axe neutre de la section efficace: $z_G = 46.0 \text{ mm}$

9.3.2. Calcul de l'aire A_{eff} de la section transversale efficace avec ouverture

L'aire de la section transversale efficace de la semelle supérieure

La section transversale efficace de la semelle est calculée conformément à l'EN 1993-1-5 avec l'aire de la section brute A_c : $A_{c,eff} = \rho A_c$ où ρ est le coefficient réducteur pour le voilement de plaque.

Les deux parties de la semelle avec une ouverture sont considérées comme des parois comprimées en console, le coefficient réducteur ρ est:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$$

La largeur efficace b est déterminée selon le Tableau 4.2: « Parois comprimés en console » de l'EN 1993-1-5

la contrainte critique de flambement est $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 284 \text{ N} / \text{mm}^2$

$b_p = 17.5 \text{ mm}$

$$\lambda_p = b_p / t / (28.4 \epsilon k_\sigma^{1/2}) \text{ with } \epsilon = (235 / f_{yb})^{1/2}$$

$$\psi = \sigma_2 / \sigma_1 = 1 \rightarrow \text{Coefficient } k_\sigma = 0.43$$

$$\lambda_p = 1.544$$

$$\lambda_{p,red} = \lambda_p \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{p,red1} = 1.455$$

$\lambda_{p,red} > 0.748$ et comme $\sigma_{com} = 284 \text{ N} / \text{mm}^2 < 320 \text{ N} / \text{mm}^2 < 320$

$$\rho = \frac{1 - 0,188 / \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0,18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0,6)} \rightarrow \rho = 0.615$$

$$b_{eff} = \rho * b_p = 10.8 \rightarrow \boxed{0,5 b_{eff} = 5.4 \text{ m}}$$

Aire de la section transversale efficace de l'âme

L'aire de la section efficace de l'âme est calculée conformément à la section "5.5.3.4.3 Ames avec au plus deux raidisseurs intermédiaires" de l'EN 1993-1-3

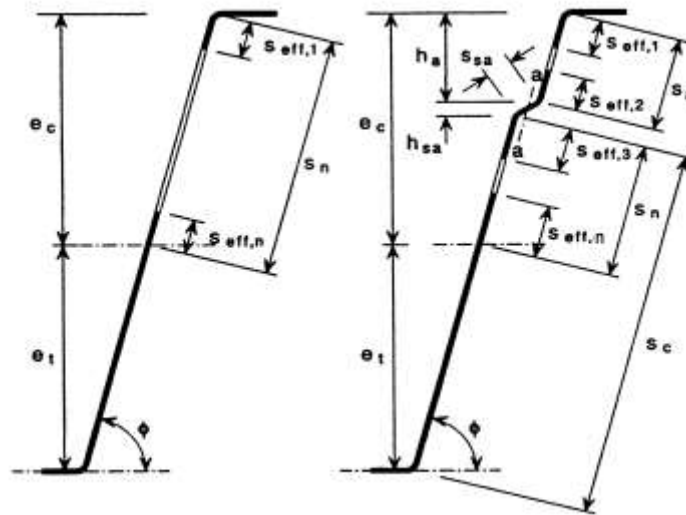


Figure 9.3.2.1 - Section transversale efficace de l'âme

Etant donné que $z_g = 38.7$ mm et $h_a = 45$ mm le raidisseur de l'âme se trouve en dessous de l'axe neutre, il n'est donc pas comprimé et la largeur efficace de l'âme est donc calculée comme une âme sans raidisseur.

$$e_c = h_w - z_G = 34,3 \text{ mm} \rightarrow s_n = 34.6 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{com}} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 284 \text{ N / mm}^2$$

Les valeurs de la section efficace sont définies itérativement →

$$s_{\text{eff},0} = 0,95t \sqrt{\frac{E}{\gamma_{M0} \sigma_{\text{com,Ed}}}}$$

$$\rightarrow s_{\text{eff},0} = 18.3 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},1} = s_{\text{eff},0} \rightarrow s_{\text{eff},1} = 18.3 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},n} = 1.5 s_{\text{eff},0} \rightarrow s_{\text{eff},n} = 27.5 \text{ mm} \rightarrow s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},n} \geq s_n \text{ l'âme est pleinement efficace}$$

$$s_{\text{eff},1} = 0,4s_n$$

$$s_{\text{eff},n} = 0,6s_n$$

Aire de la section transversale efficace de la semelle inférieure

Dans ce cas la semelle inférieure est en tension → toute la largeur est efficace

Aire de la section transversale efficace totale

Calcul de A_{eff}

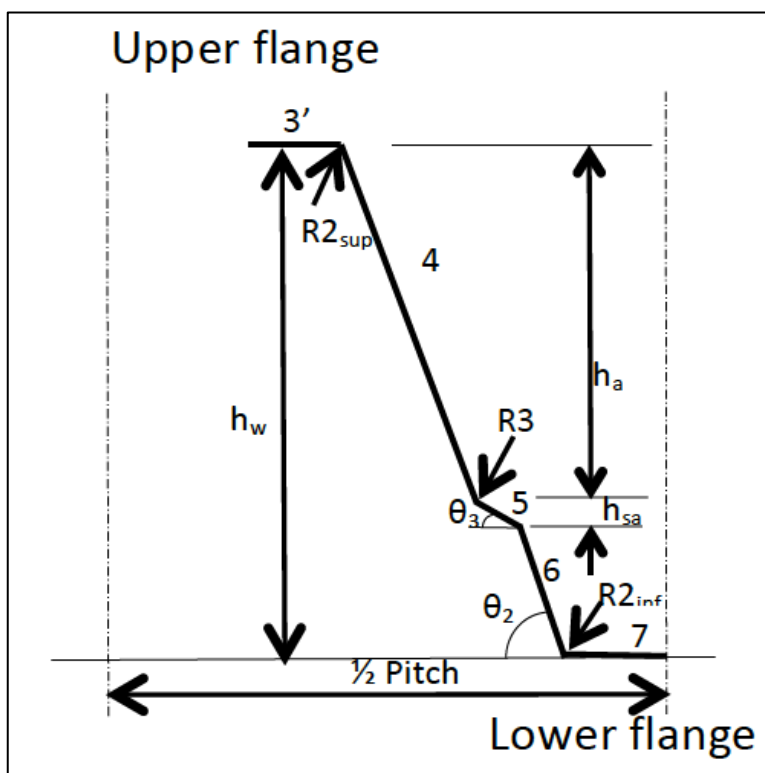


Figure 9.3.2.2 - Numéros des éléments

Element	l_i (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)
3'	1.7	0.7	1.2	73.0	89.7	-38.8
Corner 2 _{sup}	7.9	0.7	5.6	71.4	398.3	-37.2
4	40.4	0.7	28.7	50.5	1447.3	-16.3
Corner 3 _{sup}	3.0	0.7	2.1	28.0	59.0	6.2
5	7.5	0.7	5.3	23.5	125.6	10.7
Corner 3 _{inf}	3.0	0.7	2.1	19.0	40.1	15.2
6	13.4	0.7	9.5	9.5	90.7	24.7
Corner 2 _{inf}	7.9	0.7	5.6	1.6	8.8	32.6
7	8.3	0.7	5.9	0.0	0.0	34.2
TOTAL			66.1		2259.4	34.2

Tableau 9.3.2.1 - Longueur et aire des éléments

$A_{eff} = 66.1 \text{ mm}^2$

Position de l'axe neutre de la section efficace: $z_G = 34.2 \text{ mm}$

9.4. Calcul de l'aire de la section transversale efficace A_{eff} - Etapes suivantes de l'itération

9.4.1. Calcul de l'aire A_{eff} de la section transversale efficace avec ouverture

Dans les étapes suivantes la nouvelle position de l'axe neutre de la section efficace est prise pour calculer la nouvelle contrainte σ_{com} .

L'aire de la section transversale efficace de la semelle supérieure est calculée comme dans l'étape 1 mais en prenant la nouvelle contrainte σ_{com} calculée avec la nouvelle position de l'axe neutre z_c

Aire de la section transversale efficace de l'âme est calculée comme dans l'étape 1 mais dans les étapes suivantes la nouvelle position de l'axe neutre est prise pour calculer la nouvelle contrainte σ_{com} .

Aire de la section transversale efficace de la semelle inférieure

Dans ce cas la semelle inférieure est en tension → toute la largeur est efficace

Toutes les valeurs des étapes 2, 3 et 4 sont indiquées dans le tableau suivant. La convergence est considérée satisfaisante à l'étape 4, l'itération s'arrête à l'étape 4.

		2nd step	3rd step	4th step
Upper flange	σ_{com}	188	195	197
	ρ	0.827	0.810	0.806
	$0,5 b_{1,eff}$	19.63	19.24	19.15
Upper flange stiffener	$\sigma_{cr,s}$	80.31	81.22	81.43
	χ_d	0.33	0.33	0.33
	t_{red}	0.40	0.39	0.38
Web	e_c	27.0	27.7	27.8
	S_n	27.0	27.7	27.9
	$S_{eff,0}$	22.6	22.1	22.0
	$S_{eff,1}$	22.6	22.1	22.0
	$S_{eff,n}$	33.9	33.2	33.0
	$S_{eff,1} + S_{eff,n}$	56.4	55.3	55.0
		entire web is effective	entire web is effective	entire web is effective
	$S_{eff,1}$	0,4sn	0,4sn	0,4sn
	$S_{eff,n}$	0,6sn	0,6sn	0,6sn
Total effective Area	A_{eff}	93.0	92.4	92.3
Position of neutral axis	z_c	45.3	45.2	45.1

Tableau 9.4.1.1 – Valeurs des étapes 2, 3, 4

9.4.2. Calcul de l'aire A_{eff} de la section transversale efficace sans ouverture

Dans les étapes suivantes la nouvelle position de l'axe neutre de la section efficace est prise pour calculer la nouvelle contrainte σ_{com} .

L'aire de la section transversale efficace de la semelle supérieure est calculée comme dans l'étape 1 mais en prenant la nouvelle contrainte σ_{com} calculée avec la nouvelle position de l'axe neutre z_c

Aire de la section transversale efficace de l'âme est calculée comme dans l'étape 1 mais dans les étapes suivantes la nouvelle position de l'axe neutre est prise pour calculer la nouvelle contrainte σ_{com} .

Aire de la section transversale efficace de la semelle inférieure

Dans ce cas la semelle inférieure est en tension → toute la largeur est efficace

Toutes les valeurs des étapes 2 et 3 sont indiquées dans le tableau suivant. La convergence est considérée satisfaisante à l'étape 3, l'itération s'arrête à l'étape 3.

		2nd step	3rd step
Upper flange	σ_{com}	320	320
	ρ	0.569	0.569
	$0,5 b_{1,eff}$	4.98	4.98
Web	e_c	38.8	39.0
	s_n	39.2	39.4
	$s_{eff,0}$	17.3	17.3
	$s_{eff,1}$	17.3	17.3
	$s_{eff,n}$	25.9	25.9
	$s_{eff,1} + s_{eff,n}$	43.2	43.2
		entire web is effective	entire web is effective
	$s_{eff,1}$	0,4sn	0,4sn
	$s_{eff,n}$	0,6sn	0,6sn
Total effective Area	A_{eff}	65.8	65.8
Position of neutral axis	z_c	34.0	34.0

Tableau 9.4.2.1 – Valeurs des étapes 2 et 3

9.5. Calcul du moment résistant

9.5.1. Calcul du moment résistant de la section sans ouverture

Le moment résistant est calculé avec les valeurs de l'étape 3

Element	I_1 (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
1	0.0	0.38	0.0	70.00	0.00	-24.87	0.71	0.00
Corner 1 _{inf}	0.0	0.38	0.0	70.00	0.00	-24.87	0.00	0.00
2	15.3	0.38	5.9	71.50	419.41	-26.37	3.30	4085.73
Corner 1 _{sup}	0.0	0.38	0.0	73.00	0.00	-27.87	0.00	0.00
31	23.8	0.38	9.1	73.00	664.83	-27.87	0.71	7076.68
32	17.6	0.71	12.5	73.00	911.17	-27.87	0.71	9698.82
Corner 2 _{sup}	7.9	0.71	5.6	71.43	398.30	-26.30	0.00	3867.93
4	40.4	0.71	28.7	50.50	1447.25	-5.37	38.99	4458.17
Corner 3 _{sup}	3.0	0.71	2.1	28.00	59.04	17.13	0.00	618.79
5	7.5	0.71	5.3	23.50	125.58	21.63	6.29	2516.63
Corner 3 _{inf}	3.0	0.71	2.1	19.00	40.07	26.13	0.00	1439.62
6	13.4	0.71	9.5	9.50	90.70	35.63	12.99	12251.28
Corner 2 _{inf}	7.9	0.71	5.6	1.57	8.77	43.55	0.00	10587.71
7	8.3	0.71	5.9	0.00	0.00	45.13	0.71	12068.76
TOTAL			92.3		4165.1	45.1		68670.1

Tableau 9.5.1.1– Valeurs de l'étape 3

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Pour 1/2 pas $I_{eff} = 68670 \text{ mm}^4$

Pour 1 m $I_{eff} = 704 \text{ mm}^3$

$v = \max(45.1; 27.9) = 45.1 \text{ mm}$

$W_{eff} = I_{eff} / v = 15.6 \text{ mm}^3$

Moment résistant de la nervure sans ouverture

$$\boxed{M_{c,Rd} = 4,99 \text{ kNm/m}}$$

9.5.2. Calcul du moment résistant de la section avec ouverture

Le moment résistant est calculé avec les valeurs de l'étape 3

Element	I_1 (mm)	t_{eff} (mm)	A_i (mm ²)	z (mm)	S_i (mm ³)	$z0$ (mm)	h	I_i (mm ⁴)
3	1,3	0,7	0,9	73,0	68,6	-39,0	0,7	1427,3
Corner 2 _{sup}	7,9	0,7	5,6	71,4	398,3	-37,4	0,0	7811,6
4	40,4	0,7	28,7	50,5	1447,3	-16,5	39,0	11409,9
Corner 3 _{sup}	3,0	0,7	2,1	28,0	59,0	6,0	0,0	76,9
5	7,5	0,7	5,3	23,5	125,6	10,5	6,3	609,5
Corner 3 _{inf}	3,0	0,7	2,1	19,0	40,1	15,0	0,0	476,3
6	13,4	0,7	9,5	9,5	90,7	24,5	13,0	5876,2
Corner 2 _{inf}	7,9	0,7	5,6	1,6	8,8	32,5	0,0	5882,7
7	8,3	0,7	5,9	0,0	0,0	34,0	0,7	6861,2
TOTAL			65,8		2238,3	34,0		40431,5

Tableau 9.5.2.1– Valeurs de l'étape 3

$$M_{c,Rd} = W_{eff} f_{yb} / \gamma_{M0}$$

Pour 1/2 pas $I_{eff} = 40431.5 \text{ mm}^4$

Pour 1 m $I_{eff} = 415 \text{ mm}^3$

$v = \max(34.0; 39.0) = 39 \text{ mm}$

$W_{eff} = I_{eff} / v = 10.6 \text{ mm}^3$

Moment résistant de la nervure avec ouverture:

$M_{c,Rd \text{ hole}} = 3.4 \text{ kNm/m}$

9.5.3. Calcul de la résistance au moment en travée de la plaque nervurée

La résistance au moment de flexion de la plaque nervurée est la valeur moyenne des résistances au moment des nervures sans ouverture et de la résistance au moment de la nervure avec ouverture. La plaque nervurée ayant 3 nervures sans ouverture et 1 nervure avec ouverture, total $n_{ribs} = 4$

La résistance au moment en travée est:

$$M_{c,Rd,span} = (3 * M_{c,Rd} + M_{c,Rd,hole}) / n_{ribs} = (3 * 4,99 + 3.4) / 4$$

$M_{c,Rd \text{ span}} = 4.6 \text{ kNm/m}$

10. AUTOCONTROLE DU LOGICIEL

L'autocontrôle est basé sur le calcul précédent.

Calcul de la résistance au moment en travée:

Le calcul de la résistance au moment en travée dans le calcul précédent est:

$M_{c,Rd \text{ span}} = 4.6 \text{ kNm/m}$

Le résultat du logiciel est : **$M_{span} = 4.6 \text{ kNm/m}$**

Les résultats sont identiques

11. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Aurubis, Nordic Systems Copper Facade, Roof and Rainwater Structures Luvata, 2007.
- [2] DIN 18807-3 Trapezoidal sheeting in building; trapezoidal steel sheeting; structural analysis and design.
- [3] Chow F.Y, Narayan R. Buckling of plates containing openings, 1984.
- [4] Azhari M., Shahidi A.R, Saadatpour M. M, Local and post buckling of stepped and perforated thin plates 2005.
- [5] Buckling of plates containing opening, 7th International speciality conference on cold formed steel structure St Louis, USA G.
- [6] Narayan R., Chow F.Y, Strength of biaxially compressed perforated plates, 1984.
- [7] Paik J.K, Ultimate strength of perforated steel plates under edge sheer loading, Thin-Walled Structures 45, 2007.
- [8] Shanmugan N.E, Design formula for axially compressed perforated plates, Thin-Walled Structures, 34, 1999.

Annexe 1

Background pour la nouvelle méthode de dimensionnement des plaques nervurées avec une ouverture

D3.1	GRISPE WP3 Background document	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D3.2	GRISPE WP3 Test programme definition	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D3.3	GRISPE Test report	Christian FAUTH (KIT)
D3.4	GRISPE WP3 Test analysis and interpretation	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)
D3.5	GRISPE WP3 Background guidance for EN 1993-1-3 to design of sheeting with perforations or with a hole	Anna PALISSON (Sokol Palisson Consultants)