



<b>WP N°: 3</b>
<b>WP Title: eLectures: Interactive electronic lectures</b>
<b>Deliverable N°: D3.1</b>
<b>Deliverable Title: Perforated profiles</b>
<b>Deliverable Date: 30<sup>th</sup> June 2018</b>

<p><b>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”</b></p>	
<b>Author(s)</b>	
<i>Sokol Palisson Consultants, Anna Palisson</i>	
<b>Drafting history</b>	
<i>FINAL- DATE: 30<sup>th</sup> of June</i>	
<b>Dissemination Level</b>	
<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 PERFORATED 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 perforées, 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 perforées 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 perforées

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

Figure 1.1.2 – KIT

Figure 1.1.3 – KIT

Figure 1.3.1 to Figure 1.3.12 – 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 6.2.2 - Sokol Palisson Consultants

Figure 6.3.2.1 – Copie de l'EN 1993-1-3

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 9.1.3.1- 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 9.3.1.1 - Sokol Palisson Consultants

Figure 9.5.1 – Copie de l'EN 1993-1-3

Figure 9.5.2 – Copie de l'EN 1993-1-3

## **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**
- 6.3. Procédure du dimensionnement**

## **7. CONSIDERATION DU DIMENSIONNEMENT SPECIFIQUE**

## **8. EXPLICATION DU LOGICIEL "WEB PERFORATIONS – SPAN – END SUPPORT"**

- 8.1. DONNEES**
- 8.2. VERIFICATION DES PROPORTIONS GEOMETRIQUES**
- 8.3. RESULTATS**

## **9. EXEMPLE 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 transversal efficace  $A_{eff}$**
- 9.4. Calcul du moment résistant**
- 9.5. Calcul de la réaction d'appui d'extrémité**

## **10. AUTOCONTROLE DU LOGICIEL**

- 10.1. Calcul du moment résistant**
- 10.2. Calcul de la réaction d'appui d'extrémité**

## **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 perforées 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 (cas des ouvertures par exemple) 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

$d$  : diamètre des perforations

$a$  : espacement entre les centres des perforations

$f_{yb}$  : 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

$\sigma_{xx}$  : contrainte

$\chi_d$ : 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

$s_{per}$ : largeur de la partie perforée de l'âme

$s_n$  : 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

$R_{w,Rd}$  : résistance transversale locale de l'âme

## 1. INTRODUCTION

### 1.1. Type de tôle d'acier profilée concernée

Ce manuel de calcul traite des plaques nervurées (Figure 1.1.1) avec des perforations distribuées sur une trame carrée dans les semelles (Figure 1.1.2) ou dans les âmes (Figure 1.1.3).



**Figure 1.1.1** – Plaque nervurée en acier



**Figure 1.1.2** – Plaque nervurée en acier avec des perforations distribuées sur une trame carrée, dans les semelles supérieures



**Figure 1.1.3** – Plaque nervurée en acier avec des perforations distribuées sur une trame carrée, dans les âmes

## 1.2. Etat de l'art avant le projet GRISPE

Les profils perforés sont de plus en plus utilisés dans la peau interne de l'enveloppe du bâtiment pour améliorer les performances acoustiques. Les fabricants de profilés à froid ont développé, pour ce type d'application, différents types, géométries et distributions de perforations dans les âmes et dans les semelles.

La norme européenne EN 1993-1-3, chapitre 10.4, ne couvre que les parois planes avec des perforations distribuées sur une trame en forme de triangle équilatéral, alors que de nombreux profils présentant une répartition différente des perforations existent sur le marché.

Plusieurs études existent sur des plaques nervurées avec des perforations distribuées sur une trame en forme de triangle [1], [2], [3], [4], [5]. En ce qui concerne les perforations distribuées sur une trame carrée, une recherche initiale menée au KIT en Allemagne [2], [3] donne des informations utiles sur la largeur efficace et la résistance à la réaction sur appui, mais elle repose sur des analyses numériques qui ne conduisent pas directement à une formulation analytique et devrait être étendue pour couvrir les solutions actuellement présentes sur le marché.

Donc la seule possibilité pour les fabricants de dimensionner cette famille de produits est de réaliser 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 non perforées et des plaques nervurées avec des perforations distribuées sur une trame carrée, un vaste programme de 224 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 des perforations distribuées sur une trame carrée, dans les âmes
- avec des perforations distribuées sur une trame carrée, dans les semelles
- sans perforation

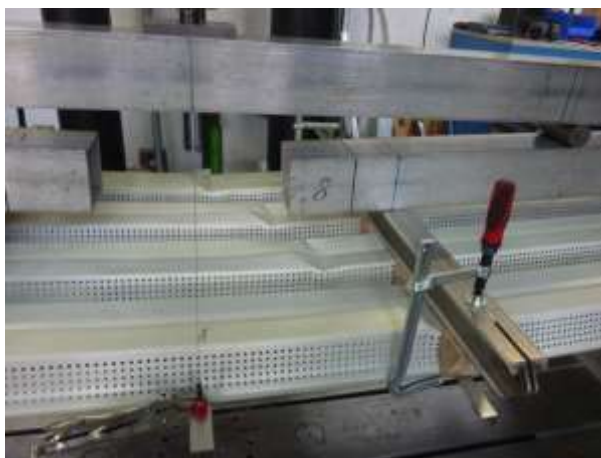
De plus, 48 essais de traction sur des échantillons avec des perforations distribuées sur une trame carrée, avec des perforations distribuées sur une trame en forme de triangle et sans perforation ont été effectués afin de déterminer l'influence locale des perforations.

L'analyse de ces essais sur échantillons a permis de définir la largeur efficace d'une paroi avec des perforations distribuées sur une trame carrée en fonction la largeur efficace d'une paroi avec des perforations distribuées sur une trame en forme de triangle. Elle a permis également d'adapter à une perforation distribuée sur une trame carrée les formules de l'EN 1993-1-3 définies pour une perforation distribuée sur une trame de triangle. Cette formulation innovante a pu être validée par une analyse détaillée des résultats d'essais globaux sur les plaques nervurées.

Ainsi des méthodes de calcul ont été développées pour déterminer la résistance au moment fléchissant, la résistance à la réaction d'appui et la résistance à l'effet combiné de la réaction d'appui et du moment fléchissant des plaques avec des perforations distribuées sur une trame carrée dans les âmes ou dans les semelles.



**Figure 1.3.1** – Essai en travée simple sur plaque nervurée non perforée



**Figure 1.3.2** – Essai en travée simple sur plaque nervurée perforée dans l'âme



**Figure 1.3.3** – – Essai en travée simple sur plaque nervurée perforée dans la semelle supérieure



**Figure 1.3.4** – Essai en travée simple sur plaque nervurée perforée totalement

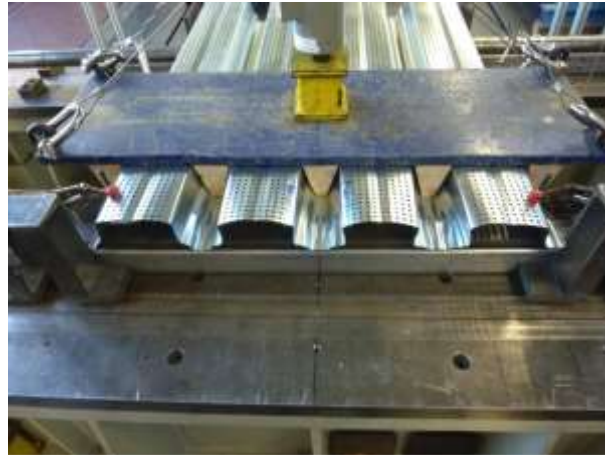


**Figure 1.3.5** – Essai d'appui d'extrémité sur plaque nervurée non perforée



**Figure 1.3.6** – Essai d'appui d'extrémité sur plaque nervurée perforée dans l'âme





**Figure 1.3.7** – Essai d'appui d'extrémité sur plaque nervurée perforée dans la semelle supérieure



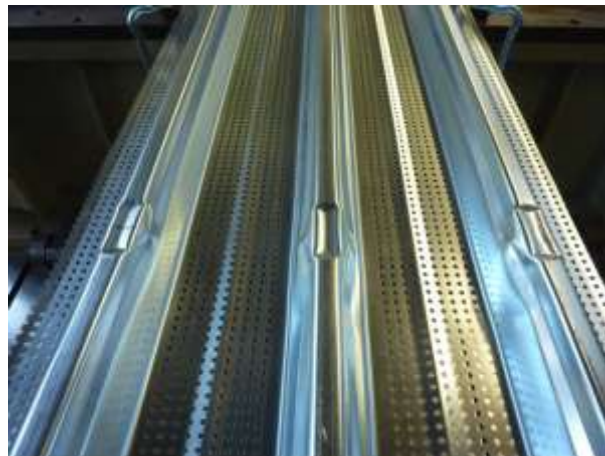
**Figure 1.3.8** – Essai d'appui d'extrémité sur plaque nervurée non perforée



**Figure 1.3.9** – Plaque nervurée non perforée après essai d'appui intérieur



**Figure 1.3.10** – *Plaque nervurée perforée dans l'âme après essai d'appui intérieur*



**Figure 1.3.11** – *Plaque nervurée perforée dans la semelle supérieure après essai d'appui intérieur*



**Figure 1.3.12** – *Plaque nervurée perforée totalement après essai d'appui intérieur*



#### 1.4. Exigences et règles générales de dimensionnement

- (1) La conception des plaques nervurées perforées 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 des perforations distribuées sur une trame 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.

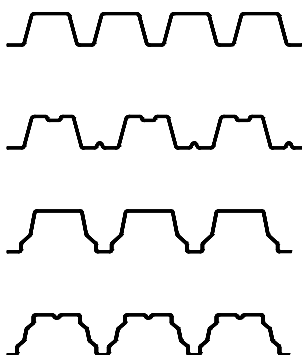
Ce manuel ne couvre pas la prise en compte des charges relatives aux phases d'exécution et d'entretien.

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 nervurés peuvent être non raidies ou comporter des raidisseurs longitudinaux de leurs âmes, de leurs semelles ou les deux.

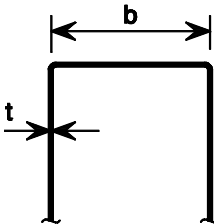
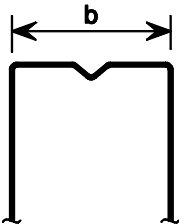
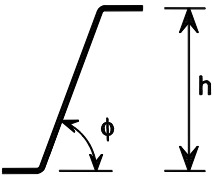
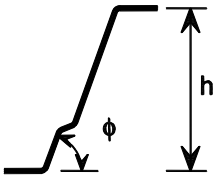
### 2.2.2. Dimensions des sections transversales

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

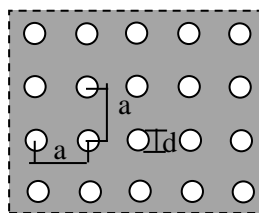
Cette nouvelle méthode de dimensionnement est donnée pour calculer pour une plaque nervurée avec des perforations distribuées sur une trame carrée, dans les âmes ou dans les semelles:

- La résistance au moment fléchissant
- La résistance à la charge transversale localisée ou à la réaction d'appui
- La résistance à l'effet combiné du moment fléchissant et de la réaction d'appui

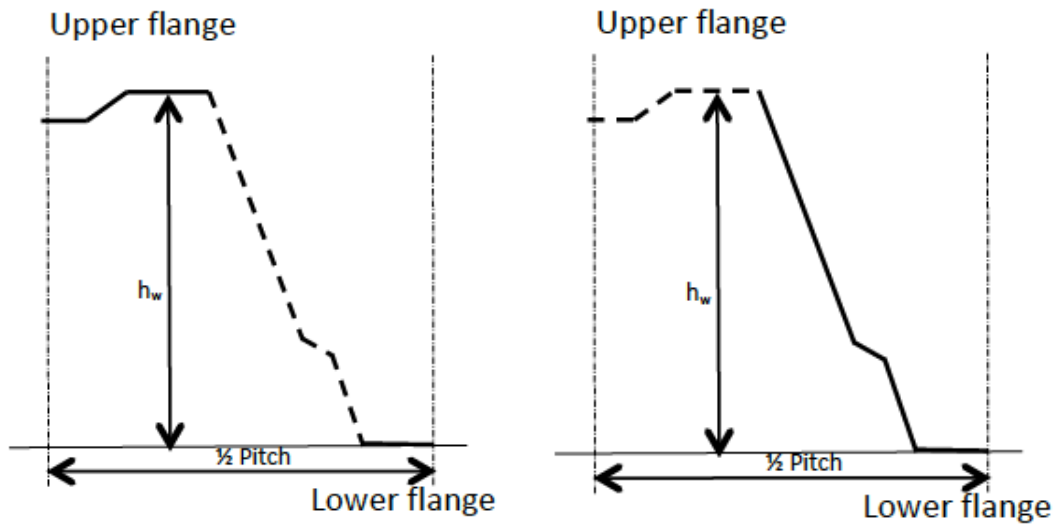
### 6.2. Champ d'application de la nouvelle méthode de calcul

Cette nouvelle méthode est donnée pour une plaque nervurée avec des perforations distribuées sur une trame carrée (Figure 6.2.1) dans les âmes ou dans les semelles (Figure 6.2.2).

Domaine de validité:  $0.2 \leq d/a \leq 0.9$



**Figure 6.2.1** – Perforations distribuées sur une trame carrée



**Figure 6.2.2** – Plaque nervurée perforée dans l’âme (à gauche) ou dans la semelle (à droite)

### 6.3. Procédure du dimensionnement

#### 6.3.1. Section brute de la plaque nervurée avec des perforations distribuées sur une trame carrée

Les caractéristiques de section brute sont calculées à l’aide de l’EN 1993-1-3 Section 5.1, mais en remplaçant  $t$  par  $t_{a,eff}$  obtenue par

$$: \quad t_{a,eff} = 1,09t \left( 1 - \frac{1,03d}{a} \right)$$

où:

$d$  est le diamètre des perforations;

$a$  est l’espacement entre les perforations (Figure 6.2.1).

#### 6.3.2. Section efficace de la plaque nervurée avec des perforations distribuées sur une trame carrée

Les caractéristiques de section efficace sont calculées à l’aide de l’EN 1993-1-3 Section 5.1, mais en remplaçant  $t$  par  $t_{b,eff}$  obtenue par:

$$t_{b,eff} = t \sqrt[3]{1,18 \left( 1 - d / a \right)}$$

où:

$d$  est le diamètre des perforations;

$a$  est l’espacement entre les perforations (Figure 6.2.1).

#### 6.3.3. Résistance au moment fléchissant d’une plaque nervurée avec des perforations distribuées sur une trame carrée

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  $f_{yb} / \gamma_{M0}$ , 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.

#### 6.3.4. Charge transversale localisée ou à réaction d'appui d'une âme avec des perforations distribuées sur une trame carrée

Il convient de déterminer la résistance transversale locale d'une plaque nervurée avec des perforations distribuées sur une trame carrée, à partir de la formule (6.18) de l'EN 1993-1-3.

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} \left( 1 - 0,1\sqrt{r/t} \right) \left[ 0,5 + \sqrt{0,02 l_a / t} \right] \left( 2,4 + (\phi/90)^2 \right) / \gamma_{M1} \quad (6.18)$$

mais en remplaçant  $t$  par  $t_{c,eff}$  obtenue par:

$$t_{c,eff} = t \left[ 1 - (d/a)^2 s_{per} / s_w \right]^{3/2}$$

Où:  $s_{per}$  est la largeur de la partie perforée de l'âme;

$s_w$  est la largeur totale de l'âme.

#### 6.3.5. Effet combiné du moment fléchissant et de la réaction d'appui

(1) Dans le cas d'une plaque nervurée avec des perforations distribuées sur une trame carrée les équations (6.28a), (6.28b) et (6.28c) de l'EN 1993-1-3 peuvent être utilisées avec:

$M_{c,Rd}$  = résistance au moment fléchissant conformément au § 6.3.3

$R_{w,Rd}$  = résistance transversale locale conformément § 6.3.4

(2) Il convient de vérifier que les sections transversales soumises à l'action combinée d'un moment fléchissant  $M_{Ed}$  et d'un effort transversal dû à une charge localisée ou à une réaction d'appui  $F_{Ed}$  satisfont les équations suivantes:

$$M_{Ed} / M_{c,Rd} \leq 1$$

$$F_{Ed} / R_{w,Rd} \leq 1$$

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

## **7. CONSIDERATION DU DIMENSIONNEMENT SPECIFIQUE**

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

**Le feu**

**Le séisme**

**Les aspects environnementaux**

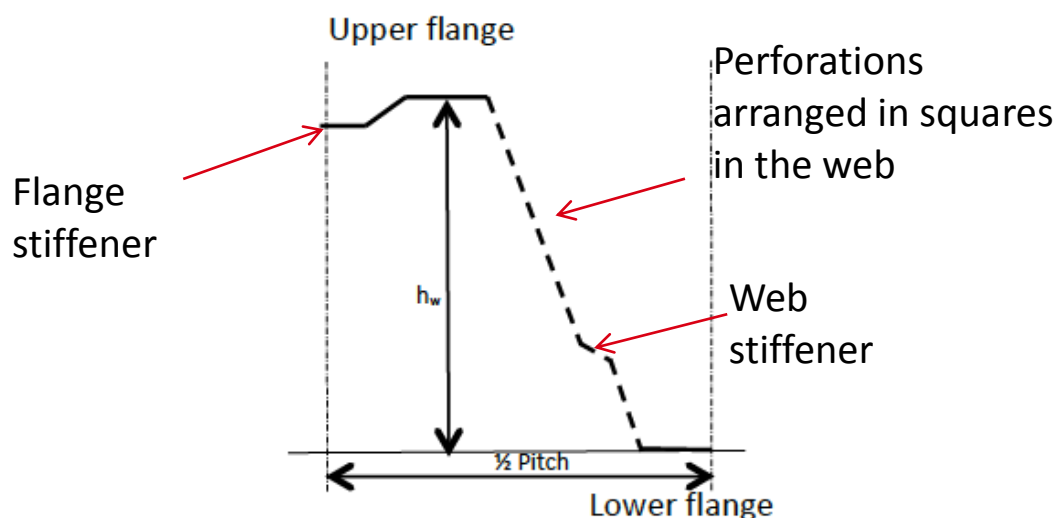
**La thermique**

**L'acoustique**

**Autres**

### 8. EXPLICATION DU LOGICIEL “WEB PERFORATIONS – SPAN – END SUPPORT”

Ce logiciel permet de calculer la résistance au moment en travée et la résistance à la réaction d’appui d’extrémité pour une plaque nervurée avec des perforations distribuées sur une trame carrée dans l’âme, avec un raidisseur dans la semelle supérieure et un raidisseur dans l’âme.



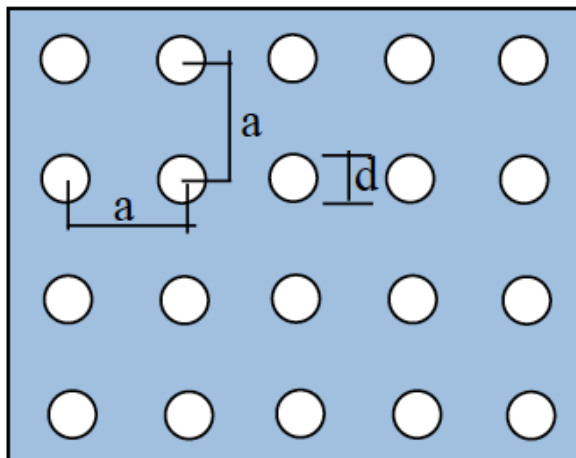
**Figure 8.1.** - Plaque nervurée avec des perforations distribuées sur une trame carrée, dans l’âme, avec un raidisseur dans la semelle supérieure et un raidisseur dans l’âme

#### 8.1. DONNEES

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  $\theta$ , l’angle de l’inclinaison de l’âme par rapport aux semelles  $\phi$ , 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  $E$ , le diamètre des perforations  $d$ ; l’espacement entre les centres des perforations  $a$ , la largeur de la partie perforée de l’âme  $s_{per}$ :

R1 (mm)	$\theta_1$ (rad)	R2 <sub>sup</sub> (mm)	R2 <sub>inf</sub> (mm)	$\theta_2$ (rad)	R3 (mm)	$\theta_3$ (rad)	$\phi$ (rad)
$t_{nom}$ (mm)	$t$ (mm)	Pitch (mm)	$h_w$ (mm)	$h_a$ (mm)	$h_{sa}$ (mm)	$d_s$ (mm)	
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_{M0}$	$a$ (mm)	$d$ (mm)	$s_{per}$ (mm)		

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



**Figure 8.1.1** – Motif de la perforation

Compléter les cellules rouges du tableau suivant avec les dimensions ( $b_{pi}$ ) des éléments de  $\frac{1}{2}$  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



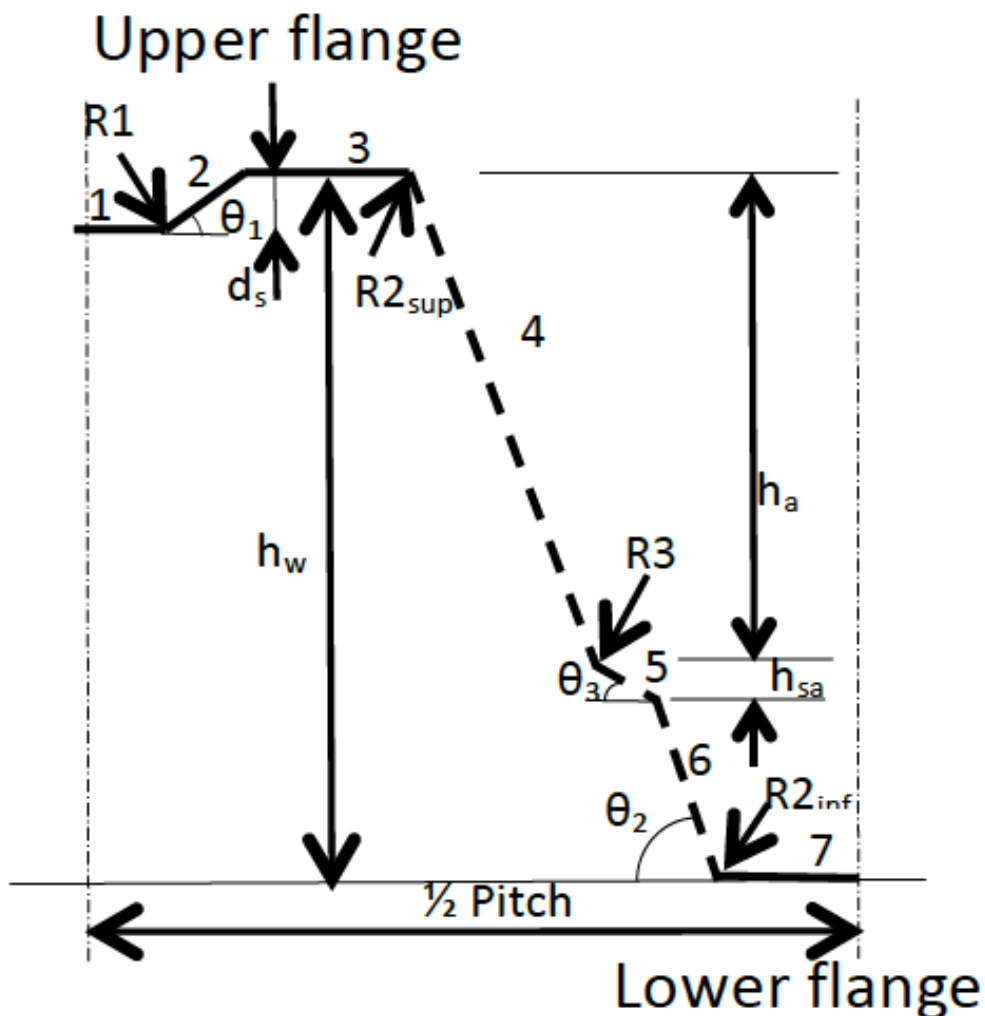


Figure 8.1.2 - Numéros des éléments et données

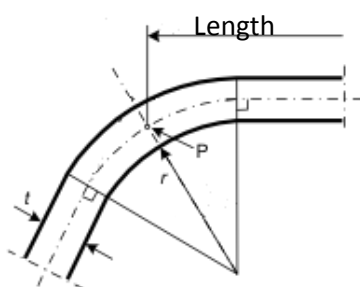
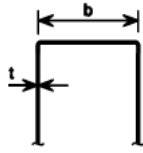
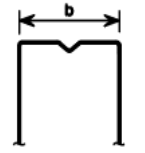
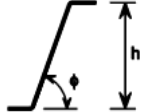
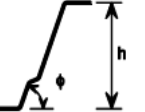


Figure 8.1.3 - Longueur des éléments mesurée entre les points médians « P »

**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.

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

**Tableau 8.2.1** - Vérification automatiques des proportions géométriques

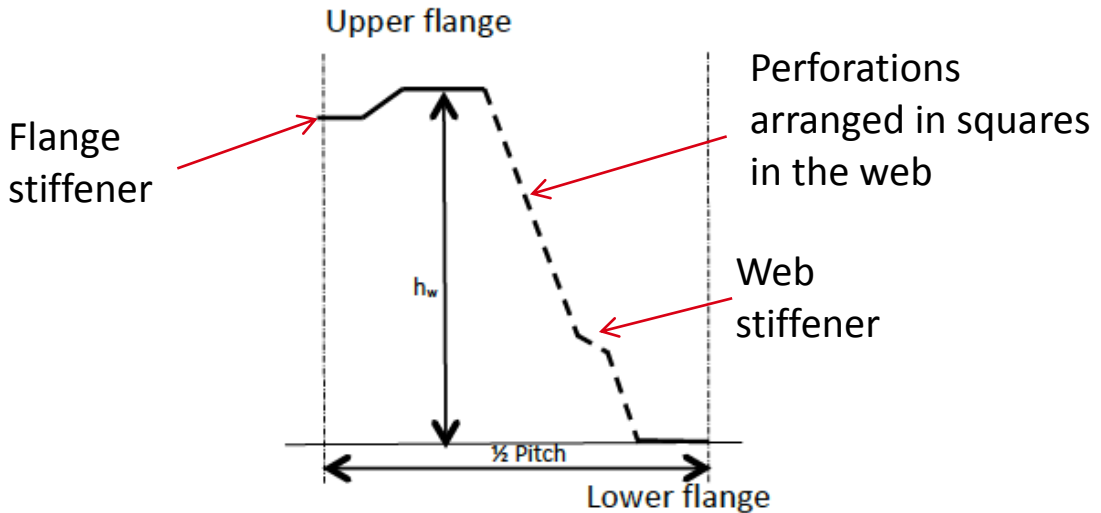
**8.3. RESULTATS**

Le logiciel affiche automatiquement les résultats:

- ⇒ moment résistant en travée  $M_{span} = \text{xxx} \text{ kNm/m}$
- ⇒ réaction d'appui d'extrémité  $R_{endsupport} = \text{xxx} \text{ kN/m}$

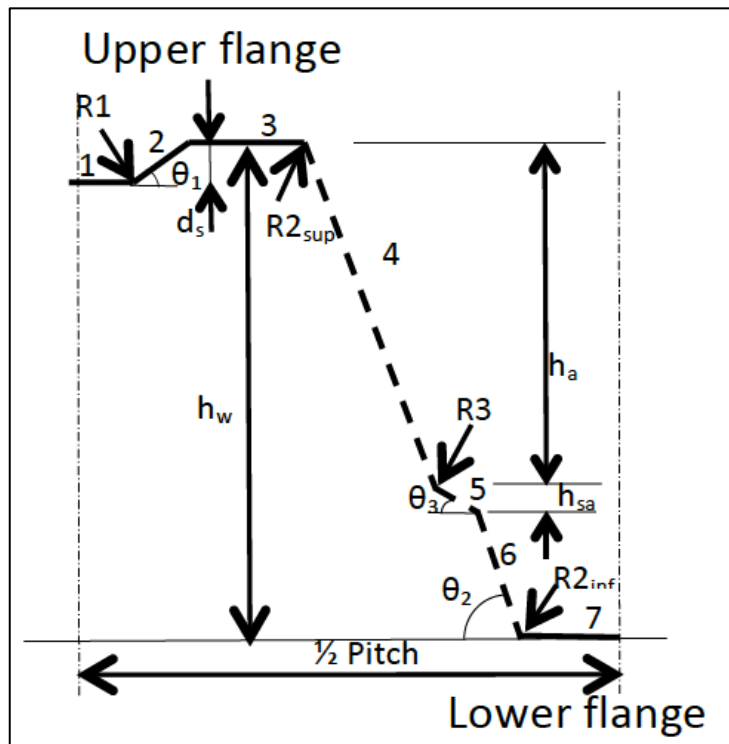
## 9. EXEMPLE DE CALCUL

Cet exemple montre comment traiter les plaques nervurées avec des perforations distribuées sur une trame carrée dans l'âme, avec un raidisseur dans la semelle supérieure et un raidisseur dans l'âme, lorsqu'on détermine la résistance en flexion et la résistance d'appui.



**Figure 9.1** - Plaque nervurée avec des perforations distribuées en forme de carrée, dans l'âme, avec un raidisseur dans la semelle supérieure et un raidisseur dans l'âme

### 9.1. Section transversale de la plaque nervurée



**Figure 9.1.1** - Section transversale de la plaque nervurée

**9.1.1. Caractéristiques de la plaque nervurée**

Cet exemple est basé sur le calcul de la résistance au moment en travée et de la réaction d'appui d'extrémité pour un profil ayant les caractéristiques suivantes:

R1 (mm)	$\theta_1$ (rad)	R2 <sub>sup</sub> (mm)	R2 <sub>inf</sub> (mm)	$\theta_2$ (rad)	R3 (mm)	$\theta_3$ (rad)	$\phi$ (rad)
0	0.22	6	6	1.31	3	0.99	1.27

t <sub>nom</sub> (mm)	t (mm)	Pitch (mm)	h <sub>w</sub> (mm)	h <sub>a</sub> (mm)	h <sub>sa</sub> (mm)	d <sub>s</sub> (mm)
0.75	0.71	195	73	45	9	3

f <sub>yb</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	E (N/mm <sup>2</sup> )	$\gamma_{M0}$	a (mm)	d (mm)	s <sub>per</sub> (mm)
320	210000	1	11.30	5.00	46.64

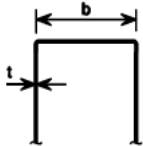
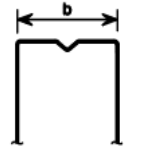
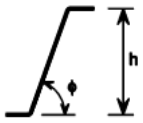
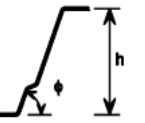
**Tableau 9.1.1.1** - Caractéristiques de la plaque nervurée

Element	b <sub>pi</sub> (mm)
1	0.00
2	15.30
3	47.50
4	45.44
5	10.34
6	18.52
7	12.00

**Tableau 9.1.1.2** - Dimensions des éléments

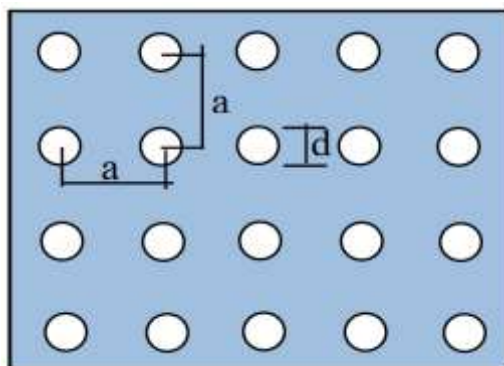
**9.1.2. Vérification des proportions géométriques**

b = 125; t = 0.71; h = 73; f<sub>y</sub> = 320

	b = 125.00			b/t ≤ 500
	b/t = 176.06			
	$\theta_2 = 75.00$			45° ≤ φ ≤ 90°
	h/t = 102.82			
	500sin(θ2) = 482.96			
r <	0,04 t E / f <sub>y</sub> = 18.64			h/t ≤ 500 sinφ

**Tableau 9.1.2.1** - Vérification des proportions géométriques

**9.1.3. Dimensions des perforations**



**Figure 9.1.3.1** - Dimensions des perforations

$d/a = 0.4$

Le domaine de validité est vérifié:  $0.2 \leq d/a \leq 0.9$

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

Les caractéristiques de section brute sont calculées à l'aide de l'EN 1993-1-3 Section 5.1,

mais en remplaçant  $t$  par  $t_{a,eff}$  obtenue par:  $t_{a,eff} = 1,09t \left(1 - \frac{1,03d}{a}\right)$

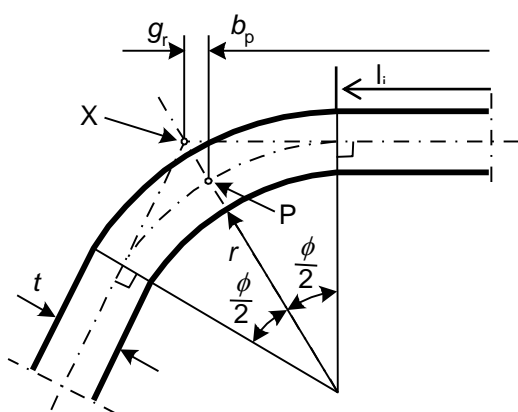
où:

$d$  est le diamètre des perforations;

$a$  est l'espacement entre les perforations (Figure 9.1.3.1).

$A_g$  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

Element	$I_i$ (mm)	$A_i$ (mm <sup>2</sup> )	$z$ (mm)	$S_i$ (mm <sup>3</sup> )	$z0$ (mm)
1	0.0	0.0	70.0	0.00	-18.5
Corner 1 <sub>inf</sub>	0.0	0.0	70.0	0.00	-18.5
2	15.3	10.9	71.5	776.56	-20.0
Corner 1 <sub>sup</sub>	0.0	0.0	73.0	0.00	-21.5
3	43.8	31.1	73.0	2272.61	-21.5
Corner 2 <sub>sup</sub>	7.9	5.6	71.4	398.30	-19.9
4	40.4	17.0	50.5	858.37	1.0
Corner 3 <sub>sup</sub>	3.0	1.3	28.0	35.18	23.5
5	7.5	3.2	23.5	74.03	28.0
Corner 3 <sub>inf</sub>	3.0	1.3	19.0	23.87	32.5
6	13.4	5.7	9.5	53.77	42.0
Corner 2 <sub>inf</sub>	7.9	5.6	1.6	8.77	49.9
7	8.3	5.9	0.0	0.00	51.5
<b>TOTAL</b>		<b>87.4</b>		<b>4501.5</b>	<b>51.5</b>

**Tableau 9.2.1** - Dimensions des éléments

$$A_g = 87.4 \text{ mm}^2$$

Position de l'axe neutre:  $z_G = S / A_g = 51.5 \text{ mm}$

### 9.3. Calcul de l'aire de la section transversale efficace $A_{eff}$

Les caractéristiques de section efficace sont calculées à l'aide de l'EN 1993-1-3 Section 5.1, mais en remplaçant  $t$  par  $t_{b,eff}$  obtenue par:

$$t_{b,eff} = t \sqrt[3]{1,18 \left( 1 - d / a \right)}$$

où:

$d$  est le diamètre des perforations;

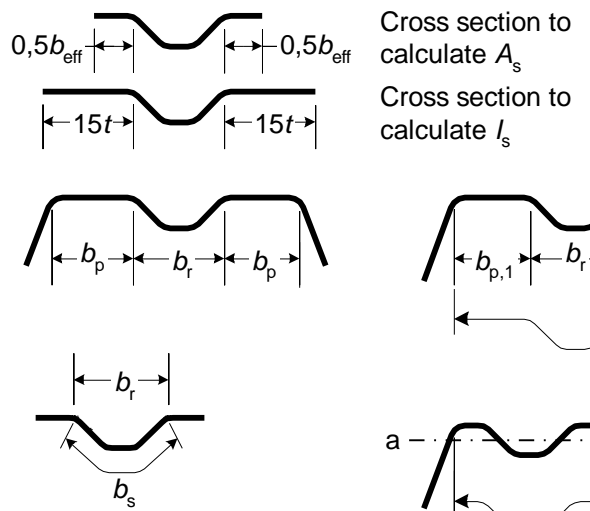
$a$  est l'espacement entre les perforations (Figure 9.1.3.1).

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

#### 9.3.1. Etape 1

##### 10. Aire de la section transversale efficace de la semelle supérieure

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  $\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 134 \text{ N / mm}^2$

$b_p = 47.5 \text{ mm}$

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

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

$$\lambda_p = 1.374$$

$$\lambda_{pred} = \lambda_p \times \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{f_y / \gamma_{M0}}} \rightarrow \lambda_{pred1} = 0.888$$

$$\lambda_{pred} > 0.673 \rightarrow \rho = \frac{1 - 0.055(3 + \psi) \bar{\lambda}_{p,red}}{\bar{\lambda}_{p,red}} + 0.18 \frac{(\bar{\lambda}_p - \bar{\lambda}_{p,red})}{(\bar{\lambda}_p - 0.6)} \rightarrow \rho = 0.96$$

$$b_{eff} = \rho * b_p = 45.6 \rightarrow \boxed{0,5 b_{eff} = 22.8 \text{ m}}$$

**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 <sup>2</sup> )
plane part	22.81	16.19
Corner $l_{sup}$	0.00	0.00
2	15.30	10.86
Corner $l_{inf}$	0.00	0.00
1	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	22.81	16.19
TOTAL		54.1

**Tableau 9.3.1.1** - Longueur et aire des éléments

$$A_s = 54.1 \text{ mm}^2$$

Calcul de  $I_s$ 

Element	$l_i$ (mm)	$A_i$ (mm <sup>2</sup> )	$z$ (mm)	$S_i$ (mm <sup>3</sup> )	$z0$ (mm)	$h$	$I_i$ (mm <sup>4</sup> )
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

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

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

$$I_b = 254.9$$

$$s_w = 73.7$$

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

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

$$k_{wo} = 1.54$$



contrainte critique de flambement  $\sigma_{cr,s} = 74 \text{ N/mm}^2$

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

$$\bar{\lambda}_d = 1,77$$

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

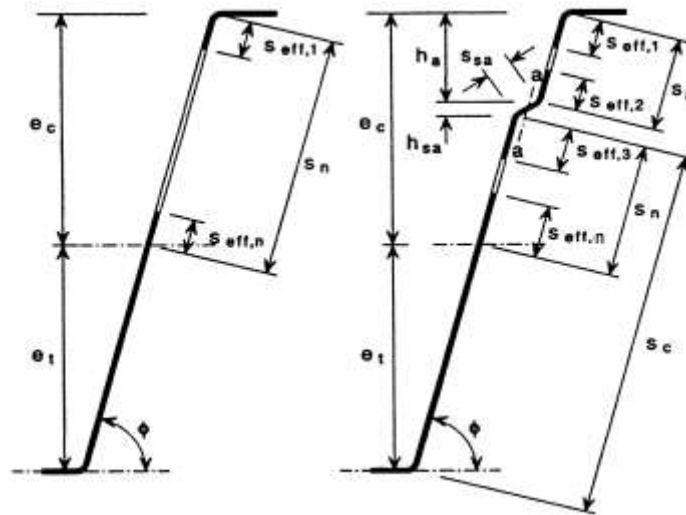
Coefficient de réduction pour la résistance au flambement par distorsion  $\chi_d = 0,317$

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

Epaisseur réduite  $t_{red} = 0.54 \text{ mm}$

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  $z_g = 51.5 \text{ mm}$  et  $h_a = 45 \text{ mm}$ , 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.

$$e_c = h_w - z_G = 21,5 \text{ mm} \rightarrow s_n = 21,3 \text{ mm}$$

$$\sigma_{com} = f_{yb} \times (h_w - z_G) / z_G = 134 \text{ N / mm}^2$$

Les valeurs de la section efficace sont définies itérativement →

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

$$\rightarrow s_{\text{eff},0} = 22,0 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},1} = s_{\text{eff},0} \rightarrow s_{\text{eff},1} = 22.0 \text{ mm}$$

$$s_{\text{eff},n} = 1.5 s_{\text{eff},0} \rightarrow s_{\text{eff},n} = 33.0 \text{ mm} \rightarrow s_{\text{eff},1} + s_{\text{eff},n} \geq s_n \text{ l'âme est pleinement efficace}$$

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

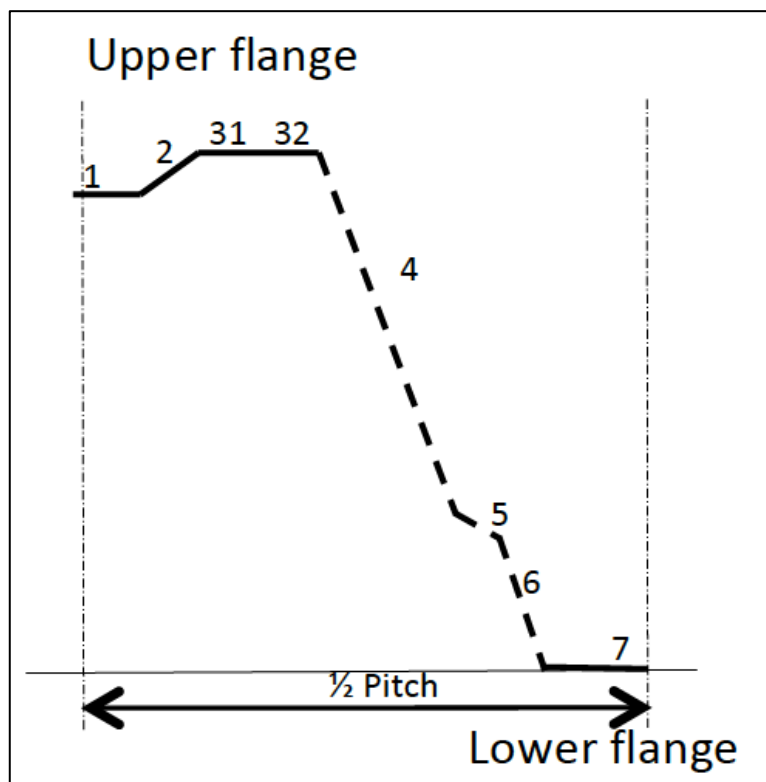
$$s_{\text{eff},n} = 0,6s_n$$

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  $A_{\text{eff}}$



**Figure 9.3.1.3** - Numéros des éléments

Element	$l_i$ (mm)	$t_{\text{eff}}$ (mm)	$A_i$ (mm <sup>2</sup> )	$z$ (mm)	$S_i$ (mm <sup>3</sup> )	$z_0$ (mm)
1	0.0	0.54	0.00	70.00	0.00	-21.94
Corner 1 <sub>inf</sub>	0.0	0.54	0.00	70.00	0.00	-21.94
2	15.3	0.54	8.24	71.50	589.16	-23.44
Corner 1 <sub>sup</sub>	0.0	0.54	0.00	73.00	0.00	-24.94
31	23.8	0.54	12.79	73.00	933.91	-24.94
32	19.2	0.71	13.60	73.00	992.85	-24.94
Corner 2 <sub>sup</sub>	7.9	0.71	5.58	71.43	398.30	-23.36
4	40.4	0.58	23.53	50.50	1188.30	-2.44
Corner 3 <sub>sup</sub>	3.0	0.58	1.74	28.00	48.70	20.06
5	7.5	0.58	4.36	23.50	102.48	24.56
Corner 3 <sub>inf</sub>	3.0	0.58	1.74	19.00	33.05	29.06
6	13.4	0.58	7.84	9.50	74.44	38.56
Corner 2 <sub>inf</sub>	7.9	0.71	5.58	1.57	8.77	46.49
7	8.3	0.71	5.93	0.00	0.00	48.06
<b>TOTAL</b>			<b>90.9</b>		<b>4370.0</b>	<b>48.1</b>

**Tableau 9.3.1.3** - Longueur et aire des éléments

$$A_{\text{eff}} = 90.9 \text{ mm}^2$$

Position de l'axe neutre de la section efficace:  $z_G = 48.1 \text{ mm}$

#### **10.1.1. Itération: : Etapes suivantes**

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

L'aire de la section transversale efficace de la semelle supérieure est calculée comme dans l'étape 1 mais en prenant la nouvelle contrainte  $\sigma_{\text{com}}$  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  $\sigma_{\text{com}}$ .

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	$\sigma_{\text{com}}$	166	177	179
	$\rho$	0.875	0.851	0.844
	$0,5 b_{1,\text{eff}}$	20.78	20.20	20.05
Upper flange stiffener	$\sigma_{\text{cr,s}}$	77.75	79.02	79.35
	$\chi_{\text{d}}$	0.33	0.33	0.33
	$t_{\text{red}}$	0.45	0.42	0.42
Web	$e_c$	24.9	26.0	26.2
	$S_n$	24.9	25.9	26.2
	$S_{\text{eff},0}$	19.7	19.1	19.0
	$S_{\text{eff},1}$	19.7	19.1	19.0
	$S_{\text{eff},n}$	29.6	28.7	28.4
	$S_{\text{eff},1} + S_{\text{eff},n}$	49.3	47.8	47.4
		entire web is effective	entire web is effective	entire web is effective
	$S_{\text{eff},1}$	0,4sn	0,4sn	0,4sn
	$S_{\text{eff},n}$	0,6sn	0,6sn	0,6sn
Total effective Area	$A_{\text{eff}}$	87.3	86.4	86.1
Position of neutral axis	$Z_c$	47.0	46.8	46.7

**Tableau 9.3.2.1** – Valeurs des étapes 2, 3, 4

## 10.2. Calcul du moment résistant

Le moment résistant est calculé avec les valeurs de l'étape 4

Element	$I_1$ (mm)	$t_{\text{eff}}$ (mm)	$A_1$ (mm <sup>2</sup> )	$z$ (mm)	$S_1$ (mm <sup>3</sup> )	$z0$ (mm)	$h$	$I_1$ (mm <sup>4</sup> )
1	0.0	0.42	0.0	70.00	0.00	-23.29	0.71	0.00
Corner 1 <sub>inf</sub>	0.0	0.42	0.0	70.00	0.00	-23.29	0.00	0.00
2	15.3	0.42	6.4	71.50	455.37	-24.79	3.30	3918.40
Corner 1 <sub>sup</sub>	0.0	0.42	0.0	73.00	0.00	-26.29	0.00	0.00
31	23.8	0.42	9.9	73.00	721.84	-26.29	0.71	6832.62
32	19.2	0.71	13.6	73.00	992.85	-26.29	0.71	9397.89
Corner 2 <sub>sup</sub>	7.9	0.71	5.6	71.43	398.30	-24.71	0.00	3405.73
4	40.4	0.58	23.5	50.50	1188.30	-3.79	38.98	3316.80
Corner 3 <sub>sup</sub>	3.0	0.58	1.7	28.00	48.70	18.71	0.00	609.15
5	7.5	0.58	4.4	23.50	102.48	23.21	6.27	2364.40
Corner 3 <sub>inf</sub>	3.0	0.58	1.7	19.00	33.05	27.71	0.00	1335.93
6	13.4	0.58	7.8	9.50	74.44	37.21	12.98	10961.71
Corner 2 <sub>inf</sub>	7.9	0.71	5.6	1.57	8.77	45.14	0.00	11363.27
7	8.3	0.71	5.9	0.00	0.00	46.71	0.71	12933.53
TOTAL			86.1		4024.1	46.7		66439.4

**Tableau 9.4.1** – Valeurs de l'étape 4

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

Pour 1/2 pas  $I_{\text{eff}} = 66439 \text{ mm}^4$

Pour le profil  $I_{\text{eff}} = 681 \text{ mm}^3$

$$v = \max(46,7; 26,3) = 46,7 \text{ mm}$$

$$W_{\text{eff}} = I_{\text{eff}} / v = 14.6 \text{ mm}^3$$

$$M_{\text{span}} = 4,7 \text{ kNm/m}$$

### 10.3. Calcul de la réaction d'appui d'extrémité

Il convient de déterminer la résistance transversale locale d'une plaque nervurée avec des perforations distribuées sur une trame carrée, à partir de la formule (6.18) de l'EN 1993-1-3.

$$R_{w,Rd} = \alpha t^2 \sqrt{f_{yb} E} (1 - 0,1\sqrt{r/t}) \left[ 0,5 + \sqrt{0,02 l_a / t} \right] \left[ 2,4 + (\phi/90)^2 \right] / \gamma_{M1} \quad (6.18)$$

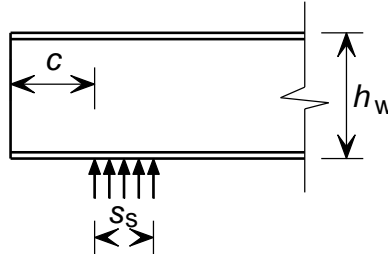
mais en remplaçant  $t$  par  $t_{c,\text{eff}}$  obtenue par:

$$t_{c,\text{eff}} = t \left[ 1 - (d/a)^2 s_{\text{per}} / s_w \right]^{3/2}$$

Où:  $s_{\text{per}}$  est la largeur de la partie perforée de l'âme;

$s_w$  est la largeur totale de l'âme.

Dans ce cas la réaction d'appui d'extrémité est avec  $c \leq 1,5 h_w$  par rapport à l'extrémité libre donc il s'agit de la Catégorie 1



**Figure 9.5.1** - Réaction de l'appui d'extrémité avec  $c \leq 1,5 h_w$  : Catégorie 1

Pour la Catégorie 1 pour les plaques nervurées  $\alpha = 0,075$  and  $l_a = 10\text{mm}$

Etant donné que l'âme est raidie la résistance est multipliée par le coefficient  $\kappa_{a,s}$  donné par:

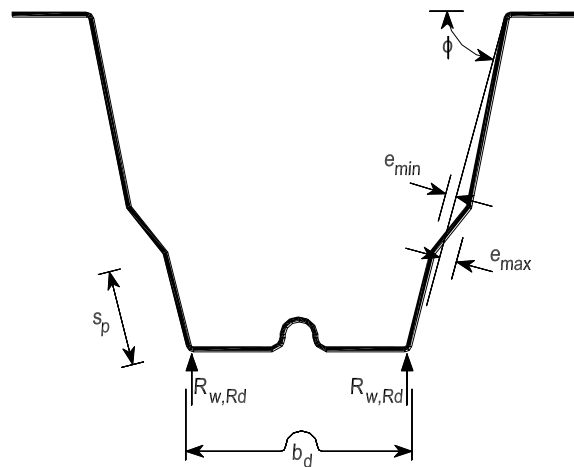
$$\kappa_{a,s} = 1,45 - 0,05 e_{\text{max}} / t \quad \text{mais} \quad \kappa_{a,s} \leq 0,95 + 35\,000 t^2 e_{\text{min}} / (b_d^2 s_p)$$

où:

$b_d$  est la largeur développée de la semelle chargée, voir figure 6.10 EN 1993-1-3;

$e_{\text{min}}$  est la plus petite excentricité des plis par rapport à la ligne d'épure de l'âme;

$s_p$  est la largeur de la paroi d'âme la plus proche de la semelle chargée, voir figure 6.10. EN 1993-1-3;



**Figure 9.5.2 - Stiffened webs**

$$t = 0,71 \text{ mm}$$

$$r = 5 \text{ mm}$$

$$\phi = 72$$

$$e_{\min} = 0.804 \text{ mm}$$

$$b_d = 24$$

$$\kappa_{a,s} = 1.278$$

$$\text{Par âme : } R_{w,Rd} = 713 \text{ N}$$

$$\text{Pas} = 195$$

$$\text{Par mètre: } \boxed{R_{w,Rd} = 6,5 \text{ kN/m}}$$

## 11. AUTOCONTROLE DU LOGICIEL

L'autocontrôle est basé sur le calcul précédent.

### 11.1. Calcul de la résistance au moment en travée:

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

$$\boxed{M_{\text{span}} = 4.7 \text{ kNm/m}}$$

Le résultat du logiciel est

$$\boxed{M_{\text{span}} = 4.7 \text{ kNm/m}}$$

**Les résultats sont identiques**

**11.2. Calcul de la résistance à la réaction d'appui d'extrémité:**

Le calcul de la résistance à la réaction d'appui d'extrémité dans l'exemple précédent est

$$R_{w,Rd} = 6.5 \text{ kN/m}$$

Le résultat du logiciel est  $R_{endsupport} = 6.5 \text{ kN/m}$

**Les résultats sont identiques**

## 12. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Baik S.C, Han H.N, Lee S.H, Oh K.H, Lee D.N, Plastic behaviour of perforated sheets under biaxial stress state, LNT J. Mech. Sc., vol39, No7, pp781-793, 1997.
- [2] Misiek T. and Saal H. Load bearing capacity of perforated trapezoidal sheeting, stability and ductility of steel structure, Rio de Janeiro, Brazil, Sept. 2010.
- [3] Kathage K., Misiek T., Saal H., Stiffness and critical buckling load of perforated sheeting, Thin-Walled Structures, 44, 2006.
- [4] Lee Y.C., Chen F.K., Yield criterion for a perforated sheet with a uniform triangular pattern of round holes and a low ligament ratio, NTU Publ., Febr. 1999.
- [5] Degtyarev V.V, Degtyareva N.V., Eleastic stability of uniformly compressed plates perforated in triangular pattern, Thin-Walled Structures, 52, 2012,

### Annexe 1

Background pour la nouvelle méthode de dimensionnement des plaques nervurées avec des perforations distribuées sur une trame carrée

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