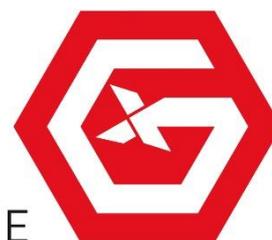


# GRISPE PLUS



VALORISATION OF KNOWLEDGE  
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

**WP N°: 3**

**WP Title: eLectures**

**Deliverable N°: 3.1 (4)**

**Deliverable Title: Design manual**

**Deliverable Date: 30<sup>th</sup> June 2018**

**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"**

**Author(s)**

*Thibault RENAUX, JORIS IDE*

**Drafting history**

*FINAL VERSION – DATE: XX<sup>th</sup> of June 2018*

**Dissemination Level**

<i>PU</i>	<i>Public-Open</i>	<b>X</b>
<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>	

# **GRISPE PLUS**

VALORISATION OF KNOWLEDGE  
FOR SPECIFIC PROFILED STEEL SHEETS

## **DESIGN MANUAL FOR ASSEMBLED PROFILES**

**RFCS funded – agreement N° 754092**

FRENCH TRANSLATION

## **Disclaimer notice and EU acknowledgement of support Disclaimer notice**

**By making use of any information or content in this manual 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 report, article, guide, etc. (select the correct word) 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 n° 75 4092.

## **RESUMÉ**

L'objectif de ce manuel de calcul est de présenter une nouvelle méthode analytique de dimensionnement d'assemblages de profils au droit d'appuis intermédiaires, telle que 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 de profils assemblés au droit d'appuis intermédiaires est basée sur des essais réalisés dans le cadre du projet Européen GRISPE (2013-2016).

Le contexte de cette méthode peut être trouvé au sein des livrables D2.1 du projet GRISPE.

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 ainsi que les exigences technologiques minimales à respecter incluant la structure porteuse, les caractéristiques des profils et les assemblages.

Le chapitre 3 fournit les exigences technologiques de base.

Le chapitre 4 énumère les propriétés des matériaux des profils et des fixations.

Le chapitre 5 indique les actions qui doivent être considérées (poids propre, etc.) et leurs combinaisons.

Le chapitre 6 explique en détail la nouvelle méthode de calcul (principes, champ d'application, et description de la façon d'appliquer les différentes nouvelles formules).

Le chapitre 7 dresse la liste des considérations spécifiques de dimensionnement non couvertes par le présent manuel (feu, sismique, aspect environnemental, thermique, acoustique, etc.).

Le chapitre 8 fournit des exemples pratiques d'application de la nouvelle méthode de calcul.

Une bibliographie ainsi que l'amendement proposé à la norme EN 1993-1-3 sont inclus.

## 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 les Eurocodes.

Ce manuel de calcul a été rédigé par Thibault RENAUX 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	Italy
David IZABEL	France
Markus KUHNENNE	Germany
Anna PALISSON	France
Valérie PRUDOR	France
Irene PUNCELLO	Italy
Dominik PYSCHNY	Germany
Thibault RENAUX	France
Daniel SPAGNI	France

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

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

## FIGURES & TABLEAUX

Les figures et tableaux ont été réalisés par les organismes et sociétés suivants :

<b>Figure 1.1</b>	JORIS IDE
<b>Figure 1.2.1</b>	KIT / JORIS IDE
<b>Figure 1.2.2</b>	Copie de la DIN 18807-3
<b>Figure 1.2.3</b>	Copie de la DIN 18807-3
<b>Figure 1.2.4</b>	Copie de la DIN 18807-3
<b>Figure 1.3.1</b>	JORIS IDE
<b>Figure 1.3.2</b>	KIT
<b>Figure 1.3.3</b>	KIT
<b>Figure 1.3.4</b>	KIT
<b>Figure 2.3</b>	Copie de l'EN 1993-1-3
<b>Figure 6.2.1</b>	KIT / JORIS IDE
<b>Figure 6.2.2</b>	Copie de la DIN 18807-3
<b>Figure 6.3.1</b>	Copie de la DIN 18807-3
<b>Figure 6.3.2</b>	Copie de la DIN 18807-3
<b>Figure 6.3.3</b>	KIT / IFL
<b>Figure 6.3.4</b>	KIT / IFL
<b>Figure 8.2</b>	JORIS IDE
<b>Figure 8.5.2a</b>	KIT / JORIS IDE
<b>Figure 8.5.2b</b>	KIT / JORIS IDE
<b>Figure 8.6.2a</b>	JORIS IDE
<b>Figure 8.6.2b</b>	JORIS IDE
<b>Tableau 8.6.2a</b>	JORIS IDE
<b>Tableau 8.6.2b</b>	JORIS IDE
<b>Figure 8.6.3a</b>	JORIS IDE
<b>Figure 8.6.3b</b>	JORIS IDE
<b>Figure 8.6.3c</b>	JORIS IDE
<b>Figure 8.6.3d</b>	JORIS IDE
<b>Tableau 8.6.3a</b>	JORIS IDE
<b>Tableau 8.6.3b</b>	JORIS IDE

## SOMMAIRE

PORTÉE DE L'OUVRAGE .....	7
NOTATIONS.....	7
1. INTRODUCTION.....	8
1.1. Type de tôle d'acier profilée.....	8
1.2. État de l'art .....	8
1.3. Principaux résultats du projet GRISPE .....	10
1.4. Exigences et règles générales de dimensionnement .....	12
2. CONSIDÉRATION PRÉLIMINAIRE.....	12
2.1. Champ d'application de la nouvelle méthode de dimensionnement .....	12
2.2. Dispositions technologiques minimales de la trame .....	12
2.3. Dispositions technologiques minimale de la tôle d'acier .....	13
2.4. Dispositions technologiques minimales concernant les assemblages .....	13
3. EXIGENCES TECHNOLOGIQUES DE BASE .....	13
3.1. Appuis .....	14
3.2. Tôles profilées et marquage CE .....	14
4. PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX.....	14
4.1. Tôles d'acier.....	14
4.2. Fixations.....	14
4.3. Coefficients de sécurité .....	14
5. ACTIONS ET COMBINAISONS D'ACTIONS .....	14
6. BASES DE CALCUL .....	14
6.1. Principes .....	14
6.2. Champ d'application de la nouvelle méthode de calcul.....	14
6.3. Procédure de dimensionnement.....	15
6.3.1. Tôles d'acier assemblées par recouvrement simple avec porte-à-faux par-dessus.....	15
6.3.2. Tôles d'acier assemblées par recouvrement simple avec porte-à-faux en-dessous.....	17
6.3.3. Tôles d'acier assemblées par recouvrement double.....	17
6.3.4. Profil continu avec renfort local .....	19
7. CONSIDÉRATION DE DIMENSIONNEMENTS SPÉCIFIQUES .....	21
8. EXEMPLES DE DIMENSIONNEMENTS .....	22
8.1. Description de la trame et hypothèses de charges .....	22
8.1.1. Informations relatives au bâtiment 1 .....	22
8.1.2. Hypothèses de chargement pour le bâtiment 1.....	22
8.1.3. Informations relatives au bâtiment 2 .....	23

Manuel de dimensionnement de profils assemblés

8.1.4.	Hypothèses de chargement pour le bâtiment 2.....	23
8.2.	Description de la tôle d'acier profilée .....	24
8.3.	Description des fixations et des assemblages .....	25
8.4.	Vérification des assemblages pour le bâtiment 1 .....	25
8.4.1.	Application du chargement .....	25
8.4.2.	Tôles d'acier assemblées par recouvrement simple avec débord en porte-à-faux par-dessus .....	25
8.4.3.	Tôles d'acier assemblées par recouvrement simple avec débord en porte-à-faux en-dessous .....	26
8.5.	Vérification des assemblages du bâtiment 2.....	27
8.5.1.	Tôle d'acier profilée .....	27
8.5.2.	Application du chargement .....	28
8.5.3.	Tôles d'acier assemblées par double recouvrement.....	29
8.5.4.	Profil continu avec renfort local .....	31
8.6.	Validation du logiciel .....	32
8.6.1.	Information logiciel.....	32
8.6.2.	Validation du premier cas avec le bâtiment 1 .....	32
8.6.3.	Validation du second cas avec le bâtiment 2 .....	36
BIBLIOGRAPHIE .....		45
ANNEXE: PROJET D'AMENDEMENT SOUMIS AU CEN .....		47

## **PORTÉE DE L'OUVRAGE**

Le but de cet ouvrage est de présenter une nouvelle méthode de dimensionnement de profils, au sens de la référence [1], assemblés sur appui intermédiaire qui a été proposé pour inclusion dans [2].

Ce manuel de calcul traite de situations qui se produisent actuellement.

Pour des problèmes spécifiques (cas des ouvertures par exemple) ou pour des situations exceptionnelles (tel que pour le sismique et le feu), il est nécessaire de suivre les clauses pertinentes des Eurocodes et/ou de la référence [1].

## **NOTATIONS**

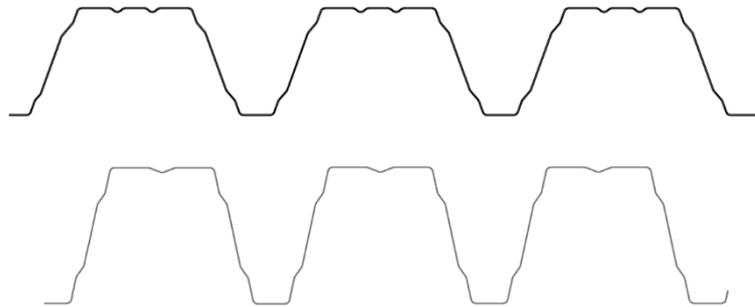
En complément des notations de l'EN 1993-1-3, les symboles suivant sont utilisés :

$K_{Ed}$  : effort introduit par les fixations de connexion [kN]  
 $a$  : longueur de recouvrement ou de renfort [m]

## 1. INTRODUCTION

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

Ce manuel de calcul traite de tôles d'acier profilées (cf. Figure 1.1 ci-dessous) assemblées sur appui intermédiaire.

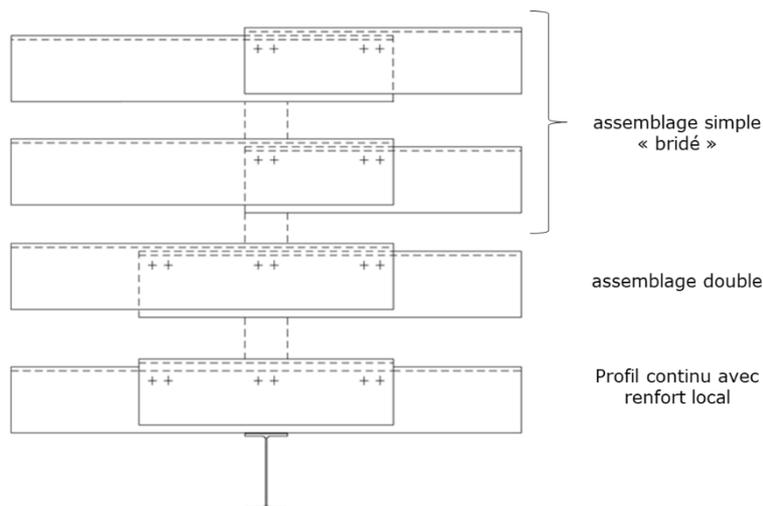


**Figure 1.1** – Géométrie type de tôles d'acier profilées.

### 1.2. État de l'art

La norme [2] ne traite pas du dimensionnement de la continuité d'une tôle d'acier profilée sur appui en configuration de chantier dans le cas de profils transportés en deux parties puis assemblées sur appui par une jointure bridée ; afin de recréer une continuité du profil par recouvrement (voir figure 1.2.1 ci-après) ou dans le cas de rénovation d'ouvrage ou bien encore afin de résoudre un problème de flèche excessive entre appuis.

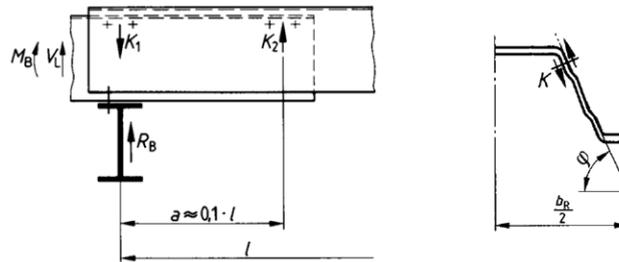
Dans certains cas, l'effet combiné de la neige et du vent produit une élévation locale du chargement, tel que dans le cas d'une tôle d'acier profilée sur deux travées avec une accumulation de charge sur l'une d'entre elles. Une solution pratique consiste à rapporter une pièce de renfort locale au droit de l'appui intermédiaire afin d'améliorer la résistance caractéristique (voir figure 1.2.1 ci-dessous).



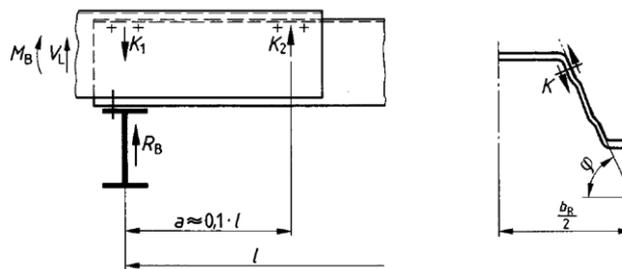
**Figure 1.2.1** – Assemblages de tôles d'acier profilées sur appui intermédiaire.

Ces techniques, très utiles, nécessitent d'être encadrées et de définir une méthode de calcul. Tel était le but d'une partie du projet GRISPE.

La norme [3] fournit une solution pour les recouvrements des profils. Ceux-ci sont autorisés uniquement aux appuis. Si des efforts passent par contact entre profils, des tests doivent être effectués. Dans la zone de recouvrement, la résistance ainsi obtenue est celle d'un profil en continuité. Les deux configurations d'assemblage simples sont représentées aux figures 1.2.2 et 1.2.3 ci-dessous :



**Figure 1.2.2** – Profils avec recouvrement conformément à la norme [3] avec l'extrémité du profil en porte-à-faux en-dessous.



**Figure 1.2.3** – Profils avec recouvrement conformément à la norme [3] avec l'extrémité du profil en porte-à-faux au-dessus.

L'effort dans les fixations est donné par :

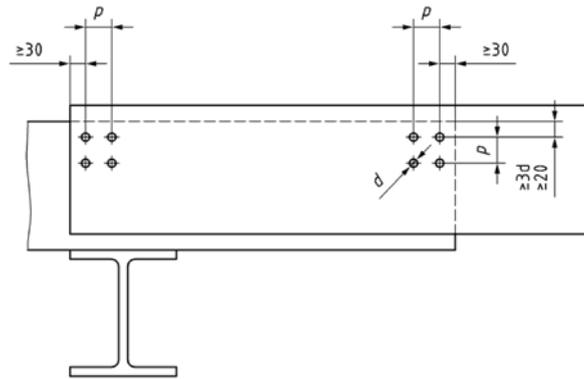
$$K = \max K_i = \frac{|M_B|}{2 * a * \sin \varphi} * b_R \quad (\text{Figure 1.2.2})$$

Ou :

$$K = \max K_i = \frac{|M_B + V_L|}{2 * \sin \varphi} * b_R \quad (\text{Figure 1.2.3})$$

Un maximum de 2 fixations peut être implanté horizontalement et verticalement pour chaque connexion (4 fixations maximum au total). La pince et l'entraxe requis, voir figure 1.2.4 ci-après, doivent vérifier les conditions suivantes :

- pince dans la direction de l'effort :  $\geq 3d$  et  $\geq 20$  mm;
- pince horizontale :  $\geq 30$  mm;
- entraxe p :  $\geq 4d$  et  $\geq 40$  mm et  $\geq 10d$ .



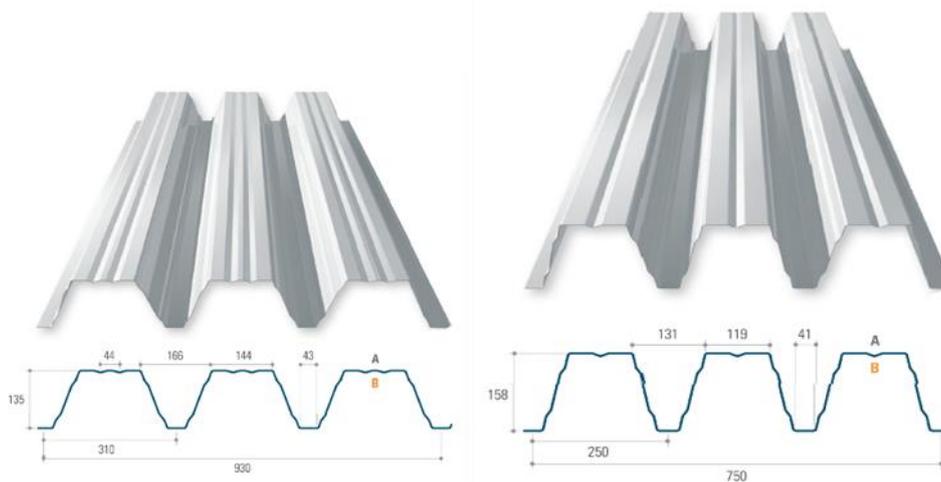
**Figure 1.2.4** – Implantation des fixations conformément à la norme [3] pour un assemblage efficace.

En conclusion, il existe des procédures de calcul dans la norme [3] ainsi que dans la norme [4]. Les règles de calcul sont similaires les unes aux autres.

### 1.3. Principaux résultats du projet GRISPE

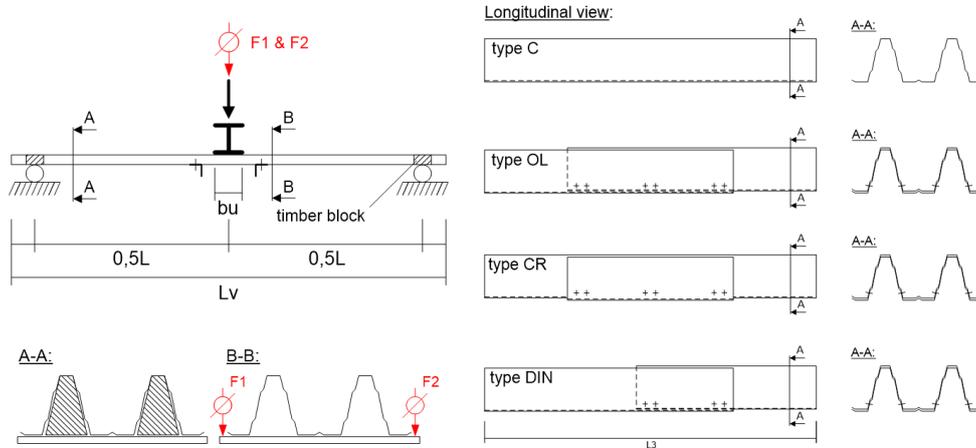
Pour confirmer la procédure décrite dans la norme [3], une série d’essais a été menée sur des assemblages simples. En complément, un certain nombre d’essais a été réalisé sur des assemblages doubles et avec renfort local afin d’acquérir des informations sur la capacité portante.

Deux types de profils (135/310 and 158/250), représentatifs de l’ensemble de la gamme en regard de l’inclinaison des nervures, ont été sélectionnés pour les essais comme le montre la figure 1.3 ci-dessous :



**Figure 1.3.1** – Profils trapézoïdaux testés.

Une campagne de 128 essais a été complétée par des séries d’essais de traction. Des essais d’appui intermédiaire simulé ont été menés sur assemblages pour étudier leur comportement résistant aux appuis (voir figures 1.3.2 et 1.3.3), en comparaison avec des essais réalisés sur tôles simple en continuité simulée. Les essais sur assemblages conformes à [3] ont été exécutés pour vérifier les règles de calcul prescrites par [3] notamment concernant les fixations.

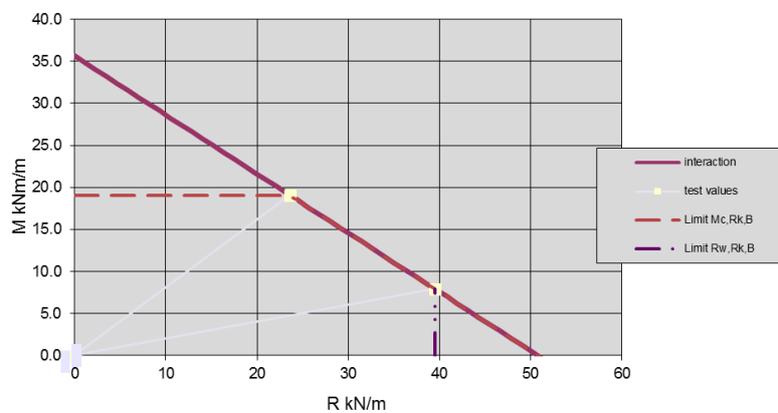


**Figure 1.3.2** – Principe schématique de l’essai d’appui intermédiaire simulé.



**Figure 1.3.3** – Exemple de ruine d’assemblage à l’issue d’un essai d’appui intermédiaire simulé.

L’analyse et l’interprétation des essais qui ont été réalisés sur les différents assemblages ont fait l’objet des documents [5] et [6]; et leur comparaison s’est basée sur des diagrammes d’interaction M/R établis pour chacun d’entre eux (voir exemple type figure 1.3.4).



**Figure 1.3.4** – Exemple de diagramme d’interaction obtenu à partir d’essais d’appui intermédiaire simulé.

Les méthodes de calcul ont été fournies pour une extrémité en porte-à-faux au-dessus et en-dessous ; pour des assemblages doubles et des profils continus avec renfort local sur appui. La démarche consiste à décomposer le moment de flexion en deux forces d'égale intensité mais de sens opposé. Ces forces sont transmises aux assemblages par les fixations.

Deux autres aspects ont été révélés:

- Dans les cas de l'assemblage avec recouvrement de part et d'autre de l'appui et du profil continu avec renfort local, la combinaison des résistances des deux profils ne correspond pas exactement à l'addition algébrique de l'ensemble mais représente plutôt  $1,8 \times M_{Rd}$  avec  $M_{Rd}$  la résistance en flexion d'un profil ;
- Un mode de ruine spécifique apparaît en extrémité d'assemblage (voir figure 1.3.3), avec une justification par essai que la résistance inhérente est de  $0,5 R_{w,Rd}$ .

Au sujet de profils trapézoïdaux assemblés (recouvrement statiquement effectif), aucune information n'est disponible dans la version actuelle de la norme [2]. Il a été décidé que les méthodes de calcul développées ici pourraient être transférées aux Eurocodes sans autres ajustements dans une annexe complémentaire.

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

La méthode de dimensionnement suivante propose uniquement un moyen de déterminer les résistances de calcul  $M_{Rd}$  et  $R_{w,Rd}$  d'un assemblage efficace conformément à la norme [7], son amendement [8] et corrigendum [9]. Les valeurs de calcul des effets des actions doivent être évaluées en conformité de chaque partie concernée de la norme [10] et son corrigendum [11] ; de la norme [12] et son corrigendum [13] et amendement [14] ; de la norme [15] et son corrigendum [16] et amendement [17].

La procédure suivante respecte les règles générales énoncées dans la norme [18] et son corrigendum [19] et amendement [20], et les bases de calcul définies dans la partie 2 de la norme [2] et son corrigendum [21].

## **2. CONSIDÉRATION PRÉLIMINAIRE**

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

Ce manuel présente une méthode de dimensionnement afin de déterminer la résistance de profils conformes à la norme [1].

Cette méthode est établie dans un domaine de dispositions technologiques minimales, voir paragraphes suivants.

Ce manuel ne couvre pas les dispositions de charges de montage et d'entretien.

Les règles de calcul présentées dans ce manuel sont valables uniquement si les tolérances des produits formés à froid se conforment à la norme [2] et à la norme [21].

### **2.2. Dispositions technologiques minimales de la trame**

La tôle d'acier nervurée doit reposer sur 3 appuis ou plus présentant une largeur minimale de repos de 60 mm, en acier ou en bois.

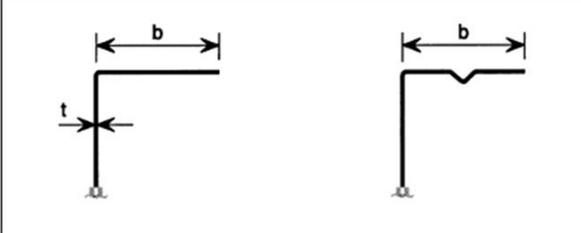
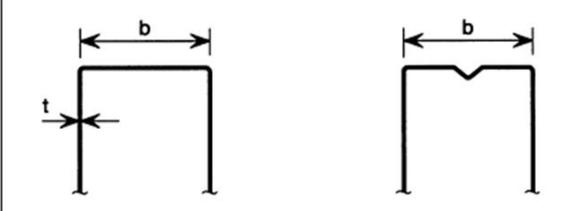
Le contact direct de la tôle d'acier nervurée avec du béton n'est pas admis.

### 2.3. Dispositions technologiques minimale de la tôle d'acier

Les tôles profilées doivent avoir une épaisseur nominale constante, sur la totalité de leur longueur, dans les tolérances admises ; et doivent présenter une section transversale uniforme ou effilée sur leur longueur.

Les sections transversales des tôles profilées comprennent essentiellement un nombre d'éléments plans joints par des éléments incurvés et leurs dimensions satisfont aux exigences générales mentionnées dans la norme [2] section 1.5.3.

Les dispositions relatives au dimensionnement par calcul fournies par ce manuel ne peuvent être appliquées à une section transversale dont les proportions géométriques sont en dehors du panel des ratios largeur/épaisseur  $b/t$ ,  $h/t$ ,  $c/t$  et  $d/t$  mentionnés à la figure 2.3 ci-dessous extraite du tableau 5.1 de la norme [2] :

	$b/t \leq 50$
	$b/t \leq 500$
	$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ $h/t \leq 500 \sin \phi$

*Figure 2.3 – Panel de proportions géométriques.*

L'épaisseur  $t$  est l'épaisseur d'acier de calcul (épaisseur d'acier noir extraite moins la tolérance si nécessaire comme spécifié dans la clause 3.2.4 de la norme [2]), sauf indication contraire.

La tôle d'acier doit présenter les paramètres suivants :

- Profile haut avec raidisseurs en plage haute et dans l'âme,
- Epaisseur nominale minimale de 0,75mm.

### 2.4. Dispositions technologiques minimales concernant les assemblages

Le nombre et espacement des fixations sont ceux décrits au paragraphe 2 (voir figure 1.2.4).

## 3. EXIGENCES TECHNOLOGIQUES DE BASE

### **3.1. Appuis**

Les appuis sont conformes aux références [18] à [20] pour l'acier ou conformes aux références [22] à [25] pour le bois.

### **3.2. Tôles profilées et marquage CE**

Les tôles en acier profilées sont marquées CE selon la norme [1].

## **4. PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX**

### **4.1. Tôles d'acier**

Les propriétés matériaux doivent satisfaire aux exigences formulées par la norme [2], section 3 avec une nuance d'acier minimale S 320 GD + Z.

### **4.2. Fixations**

Les propriétés matériaux doivent satisfaire aux exigences formulées par la norme [2], section 8.

### **4.3. Coefficients de sécurité**

Les coefficients de sécurité doivent satisfaire aux exigences formulées par la norme [2], section 2.

## **5. ACTIONS ET COMBINAISONS D'ACTIONS**

Les actions et leurs combinaisons doivent être prises en compte et déterminées conformément aux normes :

- [8] et [9] pour les bases et combinaisons d'actions,
- [10] et [11] pour les poids propres et charges imposées,
- [12] à [14] pour les charges de neige,
- [15] à [17] pour les charges de vent.

## **6. BASES DE CALCUL**

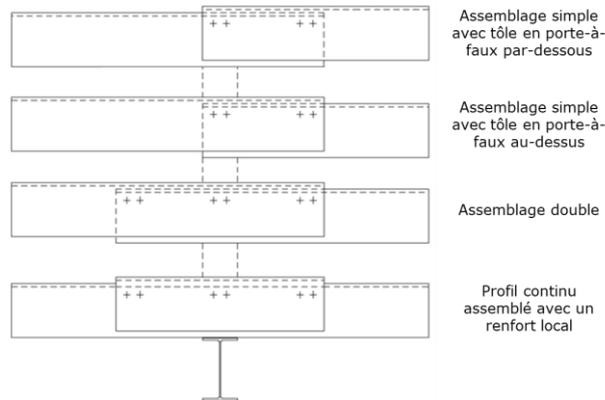
### **6.1. Principes**

Cette nouvelle méthode de calcul est fournie pour :

- Déterminer la résistance de 4 types d'assemblage à la combinaison d'un moment de flexion et d'une réaction sur appui ;
- Vérifier la connexion entre deux tôles d'acier profilées.

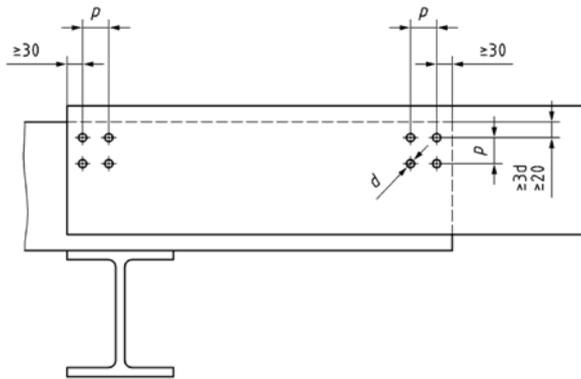
### **6.2. Champ d'application de la nouvelle méthode de calcul**

Cette nouvelle méthode de calcul est dédiée aux tôles assemblées par recouvrements statiquement efficaces, au droit d'appuis intermédiaires, conformément à l'une des 4 solutions ci-après :



**Figure 6.2.1** – Types d’assemblages couverts par la nouvelle méthode de calcul.

Les tôles d’acier profiles doivent avoir la même épaisseur de calcul et assemblées comme ci-dessous :



**Figure 6.2.2** – Disposition des fixations pour obtention d’un assemblage efficace.

Un maximum de 4 fixations, disposées en carré, peut être utilisé pour connecter les tôles d’acier :

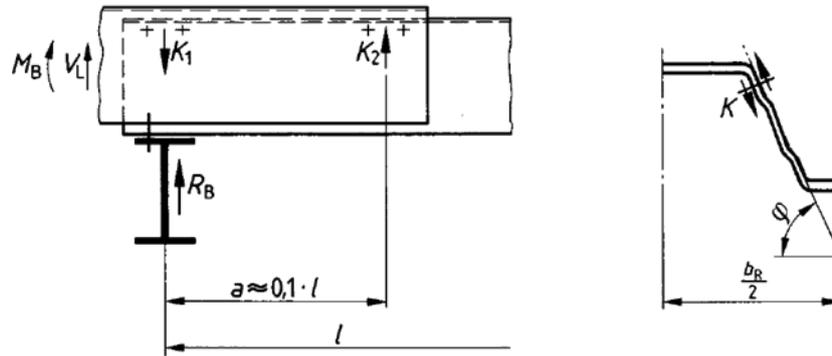
- par âme de nervure (2 par nervures),
- localisées aux extrémités de recouvrement,
- localisées dans l’axe de l’appui intermédiaire.

Chaque groupe de 4 fixations doit être positionné au minimum à 30mm des extrémités des recouvrements et distant de 20mm minimum de la plage haute des profils sans toutefois être inférieure à  $3xd$  avec  $d$  le diamètre des perçages.

Les entraxes minimums horizontaux et verticaux des fixations sont supérieurs à la plus petite valeur d’entre  $4xd$  et 40mm.

### 6.3. Procédure de dimensionnement

#### 6.3.1. Tôles d’acier assemblées par recouvrement simple avec porte-à-faux par-dessus



**Figure 6.3.1** – Recouvrement simple avec porte-à-faux par-dessus.

### Vérification de la résistance de l'assemblage

La vérification de la résistance de l'assemblage à l'axe de l'appui est menée à partir des valeurs de résistance de calcul ( $M_{B,Rd}$  et  $R_{w,Rd,B}$ ) d'un profil continu, de même épaisseur de calcul, et tenant compte de l'influence de la réaction d'appui (interaction M-R) dans le cas de charges descendantes ou de l'interaction M-V dans le cas de charges ascendantes.

$M_{B,Rd}$  et  $R_{w,Rd,B}$  peuvent être déterminés par calcul conformément aux paragraphes 6.1.4 et 6.1.7 de la norme [2] et l'interaction M-R conformément au paragraphe 6.1.11 de cette même norme.

### Vérification de la déformation locale de l'âme

Dans le cas de charges descendantes, la déformation locale de l'âme à l'extrémité du porte-à-faux doit être vérifiée par :

$$F_{Ed} = M_{B,Ed}/a < 0.5 \cdot R_{w,Rd,B}$$

Avec:  $R_{w,Rd,B}$  la réaction d'appui ultime du profil posé à l'envers (sens « négatif » en opposition au sens usuel de pose du profil) sur un appui intermédiaire de largeur maximale admise, en général  $l_{a,B} = 160$  mm.

En se basant sur le sens normal du profil défini à la Figure 1.1, une pose à l'envers du profil correspond au sens « négatif » pour lequel la plus grande plage (plage haute de la Figure 1.1) est en contact avec l'appui.

Dans le cas de charges ascendantes, la déformation locale de l'âme à l'extrémité du porte-à-faux n'est pas possible. Dans une telle situation de chargement, aucune vérification n'est requise.

### Vérification de la connexion $K_{Ed}$

La vérification, menée pour chaque onde, peut être effectuée avec :

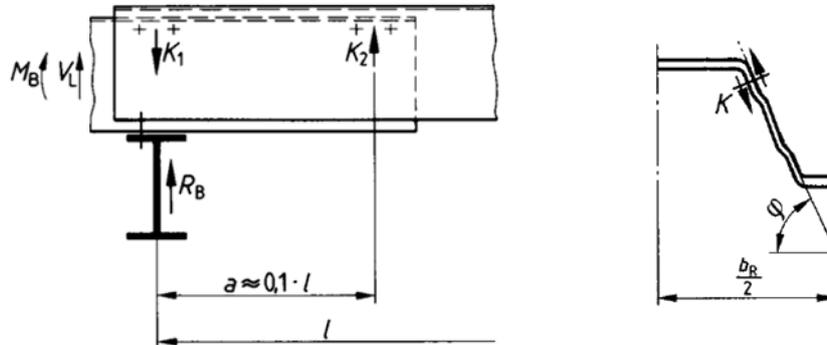
$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

Et :

$$K_{Ed} = \max K_i = \frac{|(M_{B,Ed}/a) + V_{L,Ed}|}{(2 \cdot \sin \varphi)} \cdot b_R$$

Avec :  $\sum F_{V,Rd}$  la résistance au cisaillement de l'ensemble des vis.

### 6.3.2. Tôles d'acier assemblées par recouvrement simple avec porte-à-faux en-dessous



**Figure 6.3.2** – Recouvrement simple avec porte-à-faux en-dessous.

#### Vérification de la résistance de l'assemblage

La vérification de la résistance de l'assemblage à l'axe de l'appui est menée à partir des valeurs de résistance de calcul ( $M_{B,Rd}$  et  $R_{w,Rd,B}$ ) d'un profil continu, de même épaisseur de calcul, et tenant compte de l'influence de la réaction d'appui (interaction M-R) dans le cas de charges descendantes ou de l'interaction M-V dans le cas de charges ascendantes.

$M_{B,Rd}$  et  $R_{w,Rd,B}$  peuvent être déterminés par calcul conformément aux paragraphes 6.1.4 et 6.1.7 de la norme [2] et l'interaction M-R conformément au paragraphe 6.1.11 de cette même norme.

#### Vérification de la déformation locale de l'âme

Pour l'ensemble des cas de charges (ascendantes et descendantes), la déformation locale de l'âme n'est pas possible et aucune vérification n'est donc requise.

#### Vérification de la connexion $K_{Ed}$

La vérification, menée pour chaque onde, peut être effectuée avec :

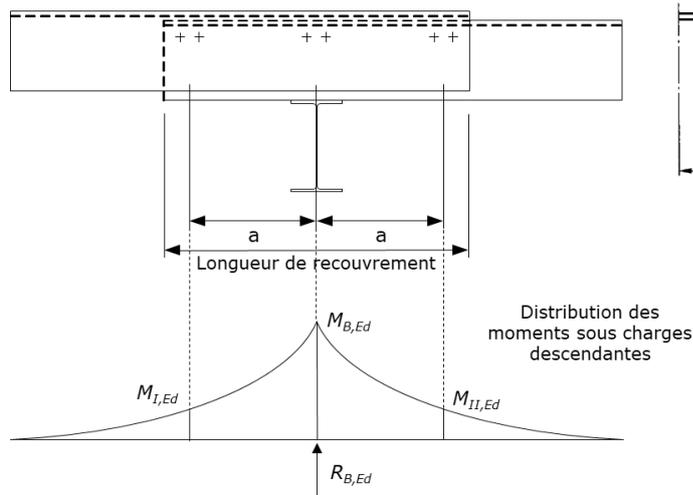
$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

Et :

$$K_{Ed} = \max K_i = \frac{|M_{B,Ed}|}{(2 \cdot a \cdot \sin \varphi)} \cdot b_R$$

Avec:  $\sum F_{V,Rd}$  la résistance au cisaillement de l'ensemble des vis.

### 6.3.3. Tôles d'acier assemblées par recouvrement double



**Figure 6.3.3** – Recouvrement double.

Condition préalable

La distribution des moments de flexion sous charges de calcul, comme pour les tôles continues, doit être déterminée afin d'évaluer  $M_{B,Ed}$ ,  $M_{I,Ed}$ ,  $M_{II,Ed}$  et  $R_{Ed,B}$ .

Vérification de la résistance de l'assemblage à l'axe de l'appui

La vérification de la résistance de l'assemblage à l'axe de l'appui est menée avec 90 % des valeurs de résistance de calcul ( $M_{B,Rd}$  et  $R_{w,Rd,B}$ ) de chaque profil, de même épaisseur de calcul, et tenant compte de l'influence de la réaction d'appui (interaction M-R) et de l'interaction M-V comme suit :

$$M_{B,Ed} \leq 0,9 \cdot \sum M_{B,Rd};$$

$$R_{B,Ed} \leq 0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B};$$

Interaction M-R or M-V interaction conformément au paragraphe 6.1.11 de la norme [2].

Vérification de la résistance de l'assemblage aux extrémités du recouvrement

Cette vérification, de la continuité de l'assemblage, est menée à partir des moments de flexion  $M_{I,Ed}$  ou  $M_{II,Ed}$  et des efforts linéaires correspondant induits par les connexions  $K_i$ :

$$F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a}$$

L'effort linéaire  $F_{Ed}$  est déterminé pour l'ensemble des cas de charges (descendantes et ascendantes).

Dans le cas de charges descendantes,  $F_{Ed}$  agit comme un effort de traction dans les âmes des profils continus et la vérification se décompose comme suit :

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0 ;$$

$$\frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} \leq 1,0;$$

Interaction M-V conformément au paragraphe 6.1.11 de la norme [2].

Dans le cas de charges ascendantes,  $F_{Ed}$  agit comme un effort de compression dans les âmes des profils continus et la vérification se décompose comme suit :

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0;$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} \leq 1,0;$$

Interaction M-R conformément au paragraphe 6.1.11 de la norme [2].

Pour l'ensemble de ces cas de charges (vérifications), les valeurs de résistance sont celles des profils posés en sens « négatif » (à l'envers) sur appuis intermédiaires.

#### Vérification de la déformation locale de l'âme

Sous charges descendantes, la déformation locale de l'âme aux extrémités des porte-à-faux doit être vérifiée par :

$$F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 \cdot a) < 0.5 \cdot R_{w,Rd,B}$$

Avec:  $R_{w,Rd,B}$  la réaction d'appui ultime du profil posé à l'envers (sens « négatif » en opposition au sens usuel de pose du profil) sur un appui intermédiaire de largeur maximale admise, en général  $l_{a,B} = 160$  mm.

En se basant sur le sens normal du profil défini à la Figure 1.1, une pose à l'envers du profil correspond au sens « négatif » pour lequel la plus grande plage (plage haute de la Figure 1.1) est en contact avec l'appui.

Dans le cas de charges ascendantes, la déformation locale de l'âme à l'extrémité du porte-à-faux n'est pas possible. Dans une telle situation de chargement, aucune vérification n'est requise.

#### Vérification de la connexion $K_{Ed}$

La vérification, menée pour chaque onde, peut être effectuée avec :

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

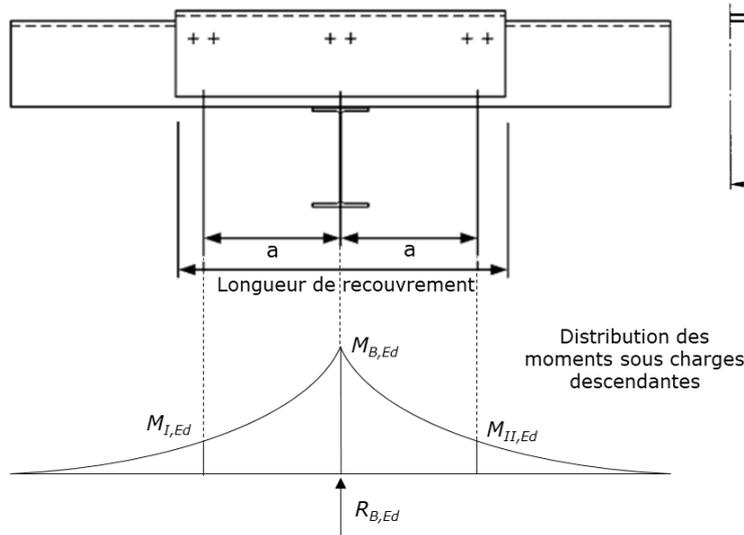
Et :

$$K_{Ed} = \max K_i = \frac{|M_{B,Ed}|}{(4 \cdot a \cdot \sin \varphi)} \cdot b_R$$

Avec :  $\sum F_{V,Rd}$  la résistance au cisaillement de l'ensemble des vis.

La vérification de la connexion doit être menée pour l'ensemble des cas de charges (descendantes et ascendantes).

### **6.3.4. Profil continu avec renfort local**



**Figure 6.3.4** – Continuous profile with local reinforcement.

### Condition préalable

La distribution des moments de flexion sous charges de calcul, comme pour les tôles continues, doit être déterminée afin d'évaluer  $M_{B,Ed}$ ,  $M_{I,Ed}$ ,  $M_{II,Ed}$  et  $R_{Ed,B}$ .

### Vérification de la résistance de l'assemblage à l'axe de l'appui

La vérification de la résistance de l'assemblage à l'axe de l'appui est menée avec 90 % des valeurs de résistance de calcul ( $M_{B,Rd}$  et  $R_{w,Rd,B}$ ) de chaque profil, de même épaisseur de calcul, et tenant compte de l'influence de la réaction d'appui (interaction M-R) et de l'interaction M-V comme suit :

$$M_{B,Ed} \leq 0,9 \cdot \sum M_{B,Rd} ;$$

$$R_{B,Ed} \leq 0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B} ;$$

Interaction M-R or M-V interaction conformément au paragraphe 6.1.11 de la norme [2].

### Vérification de la résistance de l'assemblage aux extrémités du recouvrement

Cette vérification, de la continuité de l'assemblage, est menée à partir des moments de flexion  $M_{I,Ed}$  ou  $M_{II,Ed}$  et des efforts linéaires correspondant induits par les connexions  $K_i$  :

$$F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a}$$

L'effort linéaire  $F_{Ed}$  est déterminé pour l'ensemble des cas de charges (descendantes et ascendantes).

Dans le cas de charges descendantes,  $F_{Ed}$  agit comme un effort de traction dans les âmes des profils continus et la vérification se décompose comme suit :

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0 ;$$

$$\frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0 ;$$

$$\frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} \leq 1,0 ;$$

Interaction M-V conformément au paragraphe 6.1.11 de la norme [2].

Dans le cas de charges ascendantes,  $F_{Ed}$  agit comme un effort de compression dans les âmes des profils continus et la vérification se décompose comme suit :

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} \leq 1,0;$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} \leq 1,0;$$

Interaction M-R conformément au paragraphe 6.1.11 de la norme [2].

Pour l'ensemble de ces cas de charges (vérifications), les valeurs de résistance sont celles des profils posés en sens « négatif » (à l'envers) sur appuis intermédiaires.

#### Vérification de la déformation locale de l'âme

Sous charges descendantes, la déformation locale de l'âme aux extrémités des porte-à-faux doit être vérifiée par :

$$F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 \cdot a) < 0.5 \cdot R_{w,Rd,B}$$

Avec:  $R_{w,Rd,B}$  la réaction d'appui ultime du profil posé à l'envers (sens « négatif » en opposition au sens usuel de pose du profil) sur un appui intermédiaire de largeur maximale admise, en général  $l_{a,B} = 160$  mm.

En se basant sur le sens normal du profil défini à la Figure 1.1, une pose à l'envers du profil correspond au sens « négatif » pour lequel la plus grande plage (plage haute de la Figure 1.1) est en contact avec l'appui.

Dans le cas de charges ascendantes, la déformation locale de l'âme à l'extrémité du porte-à-faux n'est pas possible. Dans une telle situation de chargement, aucune vérification n'est requise.

#### Vérification de la connexion $K_{Ed}$

La vérification, menée pour chaque onde, peut être effectuée avec :

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} \leq 1,0$$

Et :

$$K_{Ed} = \max K_i = \frac{|M_{B,Ed}|}{(4 \cdot a \cdot \sin \varphi)} \cdot b_R$$

Avec :  $\sum F_{V,Rd}$  la résistance au cisaillement de l'ensemble des vis.

La vérification de la connexion doit être menée pour l'ensemble des cas de charges (descendantes et ascendantes).

## **7. CONSIDÉRATION DE DIMENSIONNEMENTS SPÉCIFIQUES**

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

- Pour le feu : se référer aux réglementations nationales en accord avec l'EN 1991-1-2 et l'EN 1993-1-2;
- Pour le séisme : se référer aux réglementations nationales en accord avec l'EN 1998-1;

- Pour les aspects environnementaux : se référer aux réglementations nationales ;
- Pour la thermique : se référer aux réglementations nationales en accord avec l'EN 1991-1-5;
- Pour l'acoustique : se référer aux réglementations nationales.

Ainsi que tout autre sujet non clairement identifié ci-avant et ci-après.

## 8. EXEMPLES DE DIMENSIONNEMENTS

### 8.1. Description de la trame et hypothèses de charges

Cet exemple de dimensionnement traite de procédés de toitures plates de deux ouvrages pour lesquels la structure porteuse métallique est constituée de poutres IPE 330 (160 mm de largeur de semelle) espacées de 5m45 ; et de la vérification d'assemblages localisés en zones H et I en référence au paragraphe 7.2.3 de l'EN 1991-1-4.

Les deux toitures plates sont constituées de tôles d'acier profilées, d'une isolation en laine minérale et d'une étanchéité. Le poids propre total de l'isolation et de l'étanchéité  $g_1$  s'élève à 0,25 kN/m<sup>2</sup> dans le cas du bâtiment n°1 et à 1,00 kN/m<sup>2</sup> dans le cas du bâtiment 2 (présence d'un complexe d'étanchéité lourd).

#### 8.1.1. Informations relatives au bâtiment 1

Le premier bâtiment de 16m de hauteur, bâtiment 1, est situé dans une zone industrielle proche d'Ostende (Belgique) et présente un acrotère de 80cm de haut sur toute la périphérie de la toiture.

La valeur de base de la vitesse de référence du vent  $v_{b,0}$  est de 26 m.s<sup>-1</sup>.

La catégorie de terrain est : catégorie 0.

Le coefficient de direction  $c_{dir}$  et celui de saison  $c_{season}$  sont considérés à 1. Le coefficient d'orographie  $c_0(z)$  est fixé à 1.

La valeur recommandée de 1 est appliquée pour le facteur de turbulence  $k_t$ .

Pour la masse volumique de l'air  $\rho$ , la valeur recommandée de l'EN 1991-1-4 est appliquée :  $\rho = 1,25$  kg/m<sup>3</sup>.

Bâtiment localisé sur un site balayé par les vents :  $C_e = 0,8$  selon [12].

Coefficient de forme de toiture pour la disposition de charge de neige :  $\mu_i = 0,8$ .

#### 8.1.2. Hypothèses de chargement pour le bâtiment 1

Le présent exemple de calcul ne traite pas des charges de montage. En phase de service, les charges sont inhérentes aux effets du vent et aux poids propres.

Les charges de neige sont négligées du fait de la valeur caractéristique de neige au sol au niveau de la mer de 0,2kN/m<sup>2</sup> selon [12] et d'un facteur de combinaison  $\Psi_0$  de 0,5 conformément à l'annexe nationale Belge de la norme [12] (pour le calcul exact :  $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,064$  kN/m<sup>2</sup>)

#### Détermination de l'action du vent selon [15] à [17]

Valeur de référence du vent  $v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 26 = 26$  m.s<sup>-1</sup>.

Vent moyen  $v_m(z)$ :

- Catégorie de terrain 0:  $z_0 = 0,003$  m et  $z_{min} = 1$  m;
- $z_{0,II} = 0,05$  m;

## Manuel de dimensionnement de profils assemblés

- Facteur de terrain  $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,003}{0,05}\right)^{0,07} \approx 0,156$ ;
- Coefficient de rugosité  $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,156 \cdot \ln\left(\frac{16}{0,003}\right) \approx 1,339$ ;
- $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,339 \cdot 1,00 \cdot 26 \approx 34,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ;

Intensité de turbulence  $I_v(z) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,00}{1,00 \cdot \ln(16/0,003)} \approx 0,117$

Pression dynamique de pointe  $q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,117] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 34,8^2 \approx 1,38 \text{ kN/m}^2$

Coefficients de pression pour toiture plate :

- $h_p/h = 0,8/16 = 0,05$ ;
- Coefficients de pression extérieure  $c_{pe,10}$  :
  - o Zone H: -0,7
  - o Zone I: +0,2/-0,2
- Coefficients de pression intérieure :  $c_{pi} = +0,2/-0,3$
- Coefficient de pression nette  $c_{p,net}$  :
  - o Pour l'effet en pression de vent :  $c_{p,net} = 0,5$
  - o Pour l'effet en dépression de vent :  $c_{p,net} = -0,9$

Charges de vent  $W_{50}$ :

- Pour l'effet en pression de vent :  $W_{50}^+ = 0,69 \text{ kN/m}^2$
- Pour l'effet en dépression de vent:  $W_{50}^- = -1,24 \text{ kN/m}^2$

Combinaison d'actions selon [8], [9] et l'annexe nationale Belge de [8]

La combinaison la plus sévère pour l'effet de pression est :  $Q^+ = 1,50 \cdot W_{50}^+ + 1,35 \cdot (g_0 + g_1) = 1,50 \cdot 0,69 + 1,35 \cdot (0,097 + 0,25) \approx 1,50 \text{ kN/m}^2$

La combinaison la plus sévère pour l'effet de dépression est :  $Q^- = 1,50 \cdot W_{50}^- + (g_0 + g_1) = 1,50 \cdot (-1,24) + (0,097 + 0,25) \approx -1,51 \text{ kN/m}^2$

Voir paragraphe 8.2 pour  $g_0$  et paragraphe 8.1.1 pour  $g_1$ .

### 8.1.3. Informations relatives au bâtiment 2

Le bâtiment 2 est identique au bâtiment 1. Voir paragraphe 8.1.1 pour le détail des informations.

### 8.1.4. Hypothèses de chargement pour le bâtiment 2

Dans le cas du bâtiment 2, le procédé de toiture plate diffère quant au poids propre inhérent à une isolation complétée d'une protection lourde ( $g_1 = 1,00 \text{ kN/m}^2$ ).

Pour les considérations de charges de neige et la détermination des effets du vent : cf. paragraphe 8.1.4.

Combinaison d'actions selon [8], [9] et l'annexe nationale Belge de [8]

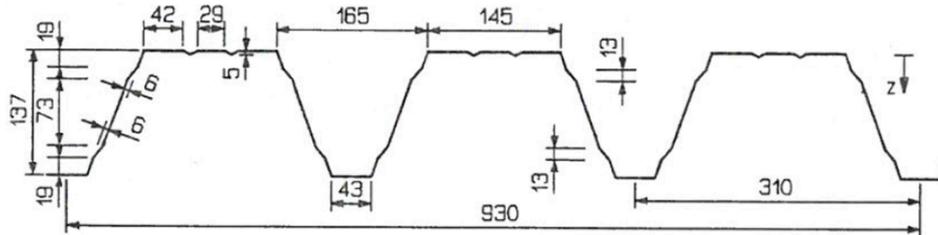
La combinaison la plus sévère pour l'effet de pression est :  $Q^+ = 1,50 \cdot W_{50}^+ + 1,35 \cdot (g_0 + g_1) = 1,50 \cdot 0,69 + 1,35 \cdot (0,097 + 1,00) \approx 2,51 \text{ kN/m}^2$

La combinaison la plus sévère pour l'effet de dépression est :  $Q^- = 1,50 \cdot W_{50}^- + (g_0 + g_1) = 1,50 \cdot (-1,24) + (0,097 + 1,00) \approx -0,76 \text{ kN/m}^2$

Voir paragraphe 8.2 pour  $g_0$ .

## 8.2. Description de la tôle d'acier profilée

La tôle d'acier profilée présente une section trapézoïdale 137-310-930 comme suit :



**Figure 8.2** – 137-310-930 trapezoidal steel sheet in positive.

Le pas du profil,  $b_r$ , est de 310 mm. L'angle de l'âme de nervure  $\varphi = 66^\circ$ .

Le profil est en acier de nuance S 320 GD + Z 275 de 0,75mm d'épaisseur nominale. Son poids propre  $g_0$  s'élève à 0,097 kN/m<sup>2</sup>.

Les valeurs de calcul de la résistance de ce profil sont déterminées par calcul conformément à [2] et considérant un facteur de sécurité  $\gamma_m$  de 1,10:

- Résistance de calcul à la flexion sur appui pour le sens normal d'utilisation du profil, sous charges descendantes :

$$M_{b,Rd} = 8,17/1,1 = 7,42 \text{ [kNm/m]}$$

- Résistance de calcul à la flexion sur appui et aux extrémités du recouvrement pour le sens inverse d'utilisation du profil, sous charges descendantes :

$$M_{b,Rd} = 9,66/1,1 = 8,78 \text{ [kNm/m]}$$

- Résistance de calcul à la flexion sur appui pour le sens d'utilisation normal du profil, sous charges ascendantes :

$$M_{b,Rd} = 9,66/1,1 = 8,78 \text{ [kNm/m]}$$

- Résistance de calcul à la flexion sur appui pour le sens inverse d'utilisation, sous charges ascendantes :

$$M_{b,Rd} = 8,30/1,1 = 7,54 \text{ [kNm/m]}$$

- Résistance de calcul à la réaction d'appui intermédiaire, pour le sens normal d'utilisation du profil (160 mm de largeur d'appui) :

$$R_{w,Rd,B} = 22,82/1,1 = 20,74 \text{ [kN/m]}$$

- Résistance de calcul à la réaction d'appui intermédiaire, pour le sens inverse d'utilisation du profil (160 mm de largeur d'appui) :

$$R_{w,Rd,B,la=160} = 22,89/1,1 = 20,80 \text{ [kN/m]}$$

- Résistance de calcul au cisaillement :

$$V_{w,Rd} = 28,49/1,1 = 25,9 \text{ [kN/m]}$$

### 8.3. Description des fixations et des assemblages

Les fixations, conformes à la section 8 de [2], sont des vis de diamètre 6.3mm pour lesquelles la résistance de calcul au cisaillement fait l'objet d'un ATE.

La résistance de calcul au cisaillement de chaque vis, considérant deux épaisseurs d'acier de 0,75mm, est  $F_{v,Rd} = 0,875 \text{ kN}$  et donc :  $\sum F_{v,Rd} = 3,50 \text{ kN}$ .

Chaque groupe de 4 vis est distant de 30 mm de l'extrémité du recouvrement ainsi que de la plage haute des profils; pour un entraxe entre vis de 30mm.

La toiture du bâtiment 1 est réalisée avec des tôles d'acier assemblée par simple recouvrement avec débord en porte-à-faux alternativement par-dessus et en-dessous. La longueur de recouvrement (a) est de 0,80m.

La toiture du bâtiment 2 est décomposée en 2 zones : l'une réalisée avec des tôles d'acier assemblée par double recouvrement et l'autre avec des tôles continues avec renforts locaux. La longueur des recouvrements est la même que ci-avant :  $a = 0,80 \text{ m}$ .

### 8.4. Vérification des assemblages pour le bâtiment 1

#### 8.4.1. Application du chargement

Il est considéré une configuration de 2 travées égales  $L$ , de 5m45, avec un chargement uniformément réparti.

Pour l'effet de pression de vent, l'application de la combinaison d'actions, cf. paragraphe 8.1.2, induit :

- Un moment appliqué sur appui intermédiaire  $M_{B,Ed} = (Q^+ \cdot L^2)/8 = (1,5 \cdot 5,45^2)/8 = 5,57 \text{ kNm/m}$ ;
- Une réaction d'appui intermédiaire de :  $R_{B,Ed} = 1,25 \cdot Q^+ \cdot L = 1,25 \cdot 1,5 \cdot 5,45 = 10,22 \text{ kN/m}$ ;
- Un effort maximal de cisaillement de :  $V_{L,Ed} = (5 \cdot Q^+ \cdot L)/8 = (5 \cdot 1,5 \cdot 5,45)/8 = 5,11 \text{ kN/m}$ .

En dépression de vent, l'application de la combinaison d'actions, cf. paragraphe 8.1.2 induit :

- Un moment appliqué sur appui intermédiaire  $M_{B,Ed} = (Q^- \cdot L^2)/8 = (1,51 \cdot 5,45^2)/8 = 5,61 \text{ kNm/m}$ ;
- Une réaction d'appui intermédiaire de :  $R_{B,Ed} = 1,25 \cdot Q^- \cdot L = 1,25 \cdot 1,51 \cdot 5,45 = 10,29 \text{ kN/m}$ ;
- Un effort maximal de cisaillement de :  $V_{L,Ed} = (5 \cdot Q^- \cdot L)/8 = (5 \cdot 1,51 \cdot 5,45)/8 = 5,14 \text{ kN/m}$ .

#### 8.4.2. Tôles d'acier assemblées par recouvrement simple avec débord en porte-à-faux par-dessus

Vérification de la résistance de l'assemblage

Manuel de dimensionnement de profils assemblés

Sous charges descendantes :

- Moment sur appui intermédiaire :  $\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{5,57}{7,42} = 0,751 < 1,0;$
- Résistance sur appui :  $\frac{R_{B,Ed}}{R_{w,Rd,B}} = \frac{10,22}{20,74} = 0,493 < 1,0;$
- Interaction moment-réaction d'appui :  $\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{R_{B,Ed}}{R_{w,Rd,B}} = 0,751 + 0,493 = 1,244 < 1,25.$

Avec charges ascendantes :

- Moment sur appui intermédiaire :  $\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{5,61}{8,78} = 0,638 < 1,0;$
- Cisaillement :  $\frac{V_{L,Ed}}{V_{w,Rd}} = \frac{5,14}{25,90} = 0,199 < 1,0;$
- Interaction moment-réaction d'appui :  $\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{V_{L,Ed}}{V_{w,Rd}} = 0,638 + 0,199 = 0,837 < 1,25.$

En complément, la vérification des fixations doit être effectuée conformément à [2].

Vérification de la déformation locale de l'âme

Sous charges descendantes :  $\frac{M_{B,Ed}}{(a \cdot 0,5 \cdot R_{w,Rd,B,la=160})} = \frac{5,57}{(0,8 \cdot 0,5 \cdot 20,80)} = 0,670 < 1,0.$

Pour les charges ascendantes, la vérification de la déformation locale de l'âme n'est pas requise.

Vérification de la connexion  $K_{Ed}$  :

$$K_{Ed} = \frac{|(5,57/0,8)+5,11|}{(2 \cdot \sin(66^\circ))} \cdot 0,31 = 2,05 \text{ kN}$$

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{2,05}{3,50} = 0,585 < 1,0$$

**8.4.3. Tôles d'acier assemblées par recouvrement simple avec débord en porte-à-faux en-dessous**

Vérification de la résistance de l'assemblage

Sous charges descendantes :

- Moment sur appui intermédiaire :  $\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{5,57}{7,42} = 0,751 < 1,0;$
- Résistance sur appui :  $\frac{R_{B,Ed}}{R_{w,Rd,B}} = \frac{10,22}{20,74} = 0,493 < 1,0;$
- Interaction moment-réaction d'appui :  $\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{R_{B,Ed}}{R_{w,Rd,B}} = 0,751 + 0,493 = 1,244 < 1,25.$

## Manuel de dimensionnement de profils assemblés

Avec charges ascendantes :

- Moment sur appui intermédiaire :  $\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{5,61}{8,78} = 0,638 < 1,0$ ;
- Cisaillement :  $\frac{V_{L,Ed}}{V_{w,Rd}} = \frac{5,14}{25,90} = 0,199 < 1,0$ ;
- Interaction moment-réaction d'appui :  $\frac{M_{B,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{V_{L,Ed}}{V_{w,Rd}} = 0,638 + 0,199 = 0,837 < 1,25$ .

En complément, la vérification des fixations doit être effectuée conformément à [2].

### Vérification de la déformation locale de l'âme

Pour l'ensemble des cas de charges, aucune vérification n'est requise.

### Vérification de la connexion $K_{Ed}$ :

$$K_{Ed} = \frac{|5,57|}{(2 \cdot 0,8 \cdot \sin(66^\circ))} \cdot 0,31 = 1,18 \text{ kN}$$

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{1,18}{3,50} = 0,338 < 1,0$$

## 8.5. Vérification des assemblages du bâtiment 2

### 8.5.1. Tôle d'acier profilée

La tôle d'acier profilée présente une section géométrique de type 137-310-930 telle que présentée au paragraphe 8.2.

Le pas du profil,  $b_r$ , est de 310 mm. L'angle de l'âme de nervure  $\varphi = 66^\circ$ .

Le profil est en acier de nuance S 320 GD + Z 275 de 0,75mm d'épaisseur nominale. Son poids propre  $g_0$  s'élève à 0,097 kN/m<sup>2</sup>.

Les valeurs de résistance de calcul de ce profil sont :

- Résistance de calcul à la flexion sur appui pour le sens normal d'utilisation du profil, sous charges descendantes :

$$M_{b,Rd} = 7,42 \text{ [kNm/m]}$$

- Résistance de calcul à la flexion sur appui aux extrémités des recouvrements pour le sens inverse d'utilisation du profil, sous charges ascendantes :

$$M_{b,Rd} = 8,78 \text{ [kNm/m]}$$

- Résistance de calcul sur appui pour le sens normal d'utilisation du profil, sous charges ascendantes :

$$M_{b,Rd} = 8,78 \text{ [kNm/m]}$$

- Résistance de calcul à la flexion sur appui pour le sens inverse d'utilisation du profil, sous charges ascendantes :

$$M_{b,Rd} = 7,54 \text{ [kNm/m]}$$

- Résistance de calcul à la réaction d'appui intermédiaire (160 mm de largeur d'appui) :

$$R_{w,Rd,B} = 20,74 \text{ [kN/m]}$$

- Résistance de calcul à la réaction d'appui intermédiaire pour le sens inverse d'utilisation du profil (160 mm de largeur d'appui):

$$R_{w,Rd,B,la=160} = 20,80 \text{ [kN/m]}$$

- Résistance de calcul au cisaillement:

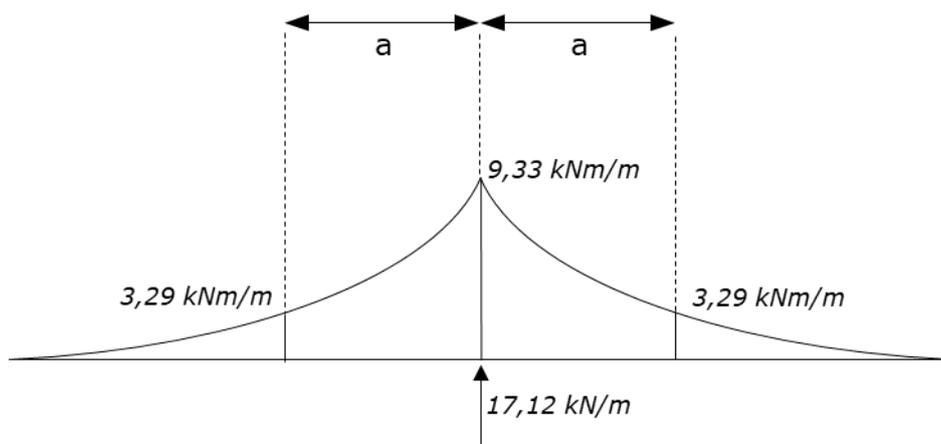
$$V_{w,Rd} = 25,9 \text{ [kN/m]}$$

### 8.5.2. Application du chargement

Il est considéré une configuration de 2 travées égales  $L$ , de 5m45, avec un chargement uniformément réparti.

Pour l'effet de pression de vent, l'application de la combinaison d'actions, cf. paragraphe 8.1.2, induit :

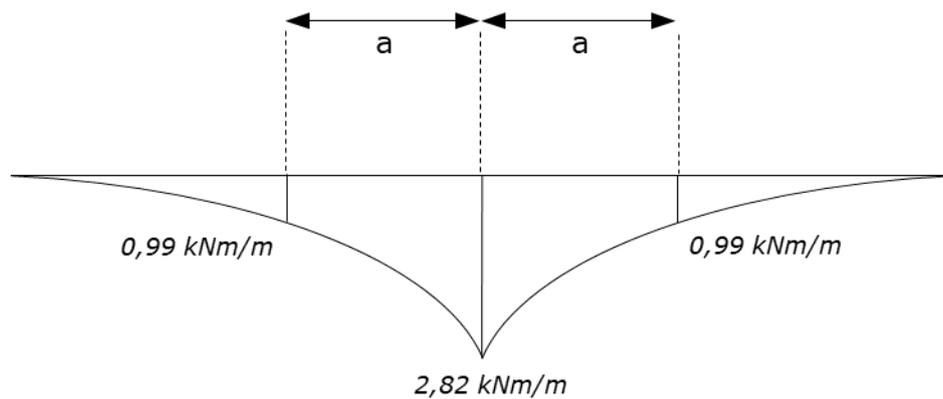
- Un moment appliqué sur appui intermédiaire  $M_{B,Ed} = (Q^+ \cdot L^2)/8 = (2,51 \cdot 5,45^2)/8 = 9,33$  kNm/m;
- Une réaction d'appui intermédiaire de :  $R_{B,Ed} = 1,25 \cdot Q^+ \cdot L = 1,25 \cdot 2,51 \cdot 5,45 = 17,12$  kN/m;
- Un effort maximal de cisaillement de :  $V_{L,Ed} = (5 \cdot Q^+ \cdot L)/8 = (5 \cdot 2,51 \cdot 5,45)/8 = 8,56$  kN/m;
- Un moment appliqué à l'extrémité du recouvrement de 3,29 kNm/m ( $M_{I,Ed} = M_{II,Ed}$ ) tel qu'indiqué à la Figure 8.5.2 ci-dessous :



**Figure 8.5.2a** – Distribution des moments appliqués pour les charges descendantes.

En dépression de vent, l'application de la combinaison d'actions, cf. paragraphe 8.1.2 induit :

- Un moment appliqué sur appui intermédiaire  $M_{B,Ed} = (Q^- \cdot L^2)/8 = (0,76 \cdot 5,45^2)/8 = 2,82$  kNm/m;
- Une réaction d'appui intermédiaire de :  $R_{B,Ed} = 1,25 \cdot Q^- \cdot L = 1,25 \cdot 0,76 \cdot 5,45 = 5,18$  kN/m;
- Un effort maximal de cisaillement de :  $V_{L,Ed} = (5 \cdot Q^- \cdot L)/8 = (5 \cdot 0,76 \cdot 5,45)/8 = 2,59$  kN/m;
- Un moment appliqué à l'extrémité du recouvrement de 0,99 kNm/m ( $M_{I,Ed} = M_{II,Ed}$ ) tel qu'indiqué à la Figure 8.5.2b ci-dessous :



**Figure 8.5.2a** – Distribution des moments appliqués pour les charges ascendantes.

### 8.5.3. Tôles d'acier assemblées par double recouvrement

#### Vérification de la résistance de l'assemblage à l'axe de l'appui intermédiaire

Sous charges descendantes :

- Moment sur appui intermédiaire :  $\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} = \frac{9,33}{0,9 \cdot 2 \cdot 7,42} = 0,699 < 1,0$ ;
- Résistance sur appui :  $\frac{R_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B}} = \frac{17,12}{0,9 \cdot 2 \cdot 20,74} = 0,459 < 1,0$ ;
- Interaction moment-réaction :  $\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} + \frac{R_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B}} = 0,699 + 0,459 = 1,158 < 1,25$ .

Pour les charges ascendantes :

- Moment sur appui intermédiaire :  $\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} = \frac{2,82}{0,9 \cdot 2 \cdot 8,78} = 0,178 < 1,0$ ;
- Cisaillement :  $\frac{V_{L,Ed}}{0,9 \cdot \sum V_{w,Rd}} = \frac{2,59}{0,9 \cdot 2 \cdot 25,90} = 0,056 < 1,0$ ;
- Interaction moment-réaction :  $\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} + \frac{V_{L,Ed}}{0,9 \cdot \sum V_{w,Rd}} = 0,178 + 0,056 = 0,234 < 1,25$ .

#### Vérification de la résistance de l'assemblage aux extrémités du recouvrement

Manuel de dimensionnement de profils assemblés

Pour les charges descendantes, la vérification se décompose comme suit :

$$\text{Charge linéaire } F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a} = \frac{9,33}{2 \cdot 0,8} = 5,83 \text{ kN/m}$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{3,29}{7,54} = 0,436 \leq 1,0;$$

$$\frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} = \frac{5,83}{25,90} = 0,225 \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} = 0,374 + 0,225 = 0,599 < 1,25.$$

Pour les charges ascendantes, la vérification se décompose comme suit :

$$\text{Charge linéaire } F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a} = \frac{2,82}{2 \cdot 0,8} = 1,76 \text{ kN/m}$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Ed}} = \frac{0,99}{8,78} = 0,113 \leq 1,0;$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} = \frac{1,76}{20,80} = 0,085 \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} = 0,113 + 0,085 = 0,198 \leq 1,25.$$

#### Vérification de la déformation locale de l'âme

Sous charges descendantes :

$$\frac{M_{B,Ed}}{(2 \cdot a \cdot 0,5 \cdot R_{w,Rd,B,la=160})} = \frac{9,33}{(2 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 20,80)} = 0,561 < 1,0$$

Dans le cas de charges ascendantes, la vérification de la déformation locale de l'âme n'est pas requise.

#### Vérification de la connexion $K_{Ed}$

Sous charges descendantes :

$$K_{Ed} = \frac{9,33}{(4 \cdot 0,8 \cdot \sin(66))} \cdot 0,31 = 0,99 \text{ kN}$$

Et :

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{0,99}{3,50} = 0,283 \leq 1,0$$

Pour les charges ascendantes :

$$K_{Ed} = \frac{2,82}{(4 \cdot 0,8 \cdot \sin(66))} \cdot 0,31 = 0,30 \text{ kN}$$

Et :

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{0,30}{3,50} = 0,085 \leq 1,0$$

### 8.5.4. Profil continu avec renfort local

#### Vérification de la résistance de l'assemblage à l'axe de l'appui intermédiaire

Sous charges descendantes :

- Moment sur appui intermédiaire :  $\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} = \frac{9,33}{0,9 \cdot 2 \cdot 7,42} = 0,699 < 1,0;$
- Résistance sur appui :  $\frac{R_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B}} = \frac{17,12}{0,9 \cdot 2 \cdot 20,74} = 0,459 < 1,0;$
- Interaction moment-réaction :  $\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} + \frac{R_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum R_{w,Rd,B}} = 0,699 + 0,459 = 1,158 < 1,25.$

Pour les charges ascendantes :

- Moment sur appui intermédiaire :  $\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} = \frac{2,82}{0,9 \cdot 2 \cdot 8,78} = 0,178 < 1,0;$
- Cisaillement :  $\frac{V_{L,Ed}}{0,9 \cdot \sum V_{w,Rd}} = \frac{2,59}{0,9 \cdot 2 \cdot 25,90} = 0,056 < 1,0;$
- Interaction moment-réaction :  $\frac{M_{B,Ed}}{0,9 \cdot \sum M_{B,Rd}} + \frac{V_{L,Ed}}{0,9 \cdot \sum V_{w,Rd}} = 0,178 + 0,056 = 0,234 < 1,25.$

#### Vérification de la résistance de l'assemblage aux extrémités du recouvrement

Pour les charges descendantes, la vérification se décompose comme suit :

$$\text{Charge linéaire } F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a} = \frac{9,33}{2 \cdot 0,8} = 5,83 \text{ kN}$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{3,29}{7,54} = 0,436 \leq 1,0;$$

$$\frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} = \frac{5,83}{25,90} = 0,225 \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{V_{w,Rd}} = 0,436 + 0,225 = 0,661 < 1,25.$$

Pour les charges ascendantes, la vérification se décompose comme suit :

$$\text{Charge linéaire } F_{Ed} = \frac{M_{B,Ed}}{2 \cdot a} = \frac{2,82}{2 \cdot 0,8} = 1,76 \text{ kN/m}$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} = \frac{M_{II,Ed}}{M_{B,Ed}} = \frac{0,99}{8,78} = 0,113 \leq 1,0;$$

$$\frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} = \frac{1,76}{20,80} = 0,085 \leq 1,0;$$

$$\frac{M_{I,Ed}}{M_{B,Rd}} + \frac{F_{Ed}}{R_{w,Rd,B}} = 0,113 + 0,085 = 0,198 \leq 1,25.$$

#### Vérification de la déformation locale de l'âme

Sous charges descendantes :

$$\frac{M_{B,Ed}}{(2 \cdot a \cdot 0,5 \cdot R_{w,Rd,B,la=160})} = \frac{9,33}{(2 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 20,80)} = 0,561 < 1,0$$

Dans le cas de charges ascendantes, la vérification de la déformation locale de l'âme n'est pas requise.

Vérification de la connexion  $K_{Ed}$

Sous charges descendantes :

$$K_{Ed} = \frac{9,33}{(4 \cdot 0,8 \cdot \sin(66))} \cdot 0,31 = 0,99 \text{ kN}$$

Et :

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{0,99}{3,50} = 0,283 \leq 1,0$$

Pour les charges ascendantes :

$$K_{Ed} = \frac{2,82}{(4 \cdot 0,8 \cdot \sin(66))} \cdot 0,31 = 0,30 \text{ kN}$$

Et :

$$\frac{K_{Ed}}{\sum F_{V,Rd}} = \frac{0,30}{3,50} = 0,085 \leq 1,0$$

## 8.6. Validation du logiciel

### 8.6.1. Information logiciel

Un programme Excel dédié est disponible sur le site internet de GRISPE ([www.grispeplus.eu](http://www.grispeplus.eu)).

### 8.6.2. Validation du premier cas avec le bâtiment 1

Pour les exemples du bâtiment 1, le premier et second onglet du logiciel Excel sont utilisés.

Les premières informations à saisir sont les valeurs caractéristiques du profil, le coefficient de sécurité  $\gamma_M$  considéré, et la valeur totale de résistance au cisaillement induite par les fixations (dans l'âme). L'ensemble de ces informations sont saisies tel qu'indiqué aux Figures 8.6.2a et 8.6.2b :

- Résistance caractéristique à la flexion sur appui pour le sens normal d'utilisation du profil, sous charges descendantes :  $M_{c,Rk,B} = M_{b,Rd} = 8,17$  [kNm/m] ;
- Résistance caractéristique à la réaction d'appui intermédiaire (160mm de largeur d'appui) :  $R_{w,Rk,B} = R_{w,Rd,B} = 22,82$  [kN/m] ;
- Résistance caractéristique à la réaction d'appui intermédiaire pour le sens inverse d'utilisation du profil (160mm de largeur d'appui) :  $R_{w,Rk,B,laB=160} = R_{w,Rd,B,la=160} = 22,89$  [kN/m] ;
- Résistance caractéristique au cisaillement :  $V_{w,Rk} = V_{w,Rd} = 28,49$  [kN/m] ;
- Coefficient de sécurité  $\gamma_m$  de 1,10 ;

## Manuel de dimensionnement de profils assemblés

- Résistance totale au cisaillement des fixations :  $\sum F_{V,Rd} = 3,50$  kN.

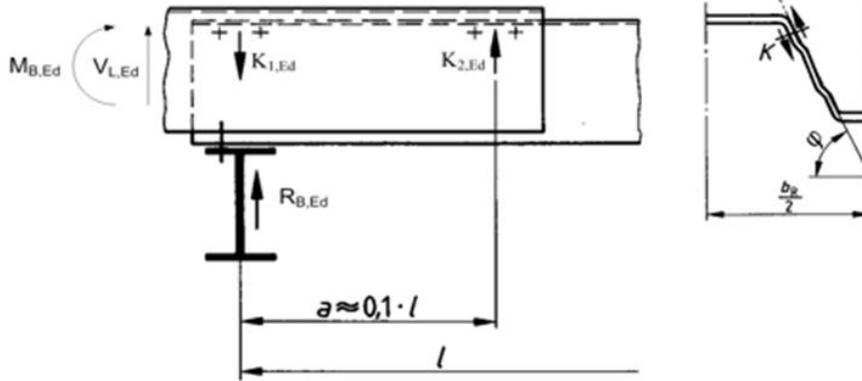
Le second groupe d'informations à saisir concerne l'application de la combinaison d'actions, voir paragraphe 8.1.2, comme suit :

- Sous charges descendantes :
  - o Moment sur appui intermédiaire :  $M_{B,Ed} = 5,57$  kNm/m ;
  - o Réaction sur appui intermédiaire :  $R_{B,Ed} = 10,22$  kN/m ;
- Pour les charges ascendantes : effort de cisaillement  $V_{L,Ed} = 5,14$  kN/m ;
- Pas de nervure du profil :  $b_R = 0,31$  m ;
- Longueur de recouvrement :  $a = 0,80$  m ;
- Angle de l'âme des nervures :  $\varphi = 66^\circ$ .

Please fill in the red cells

Verification

Notice: If verification is not fulfilled please increase length a.



$M_{c,Rk,B}$	8,17	[kNm/m]	$M_{B,Ed}$	5,57	[kNm/m]
$R_{w,Rk,B}$	22,82	[kN/m]	$R_{B,Ed}$	10,22	[kN/m]
$R_{w,Rk,B,laB=160}$	22,89	[kN/m]	$V_{L,Ed}$	5,14	[kN/m]
$V_{w,Rk}$	28,49	[kN/m]	$b_R$	0,31	[m]
$\gamma_M$	1,10	[-]	length a	0,80	[m]
$\Sigma F_{v,Rd}$	3,50	[kN]	$\varphi$	66,00	[°]

Notice:  $R_{w,Rk,B,laB=160}$  mm for opposite profile position

$\Sigma F_{v,Rd} = n \times F_{v,Rd}$  shear resistance value according to EN 1993-1-3 or ETA at each coupling point

Bending moment distribution like for continuous profile.

---

a.) Verification of the profile at intermediate support

downward load:	$M_{B,Ed} / M_{c,Rd,B} \leq 1.0$	0,75	[-]
	$R_{B,Ed} / R_{w,Rd,B} \leq 1.0$	0,49	[-]
uplift load:	$V_{L,Ed} / V_{w,Rd} \leq 1.0$	0,20	[-]

Notice: Verification of M-R-interaction or M-V-interaction according to used type design must be done additionally depending on downward or uplift design loads.

b.) Check of the free end of the cantilever, if the line load  $F_{Ed}$  introduced by the connections  $K_i$  may create web-crippling

downward and uplift load:

No additional verification necessary

---

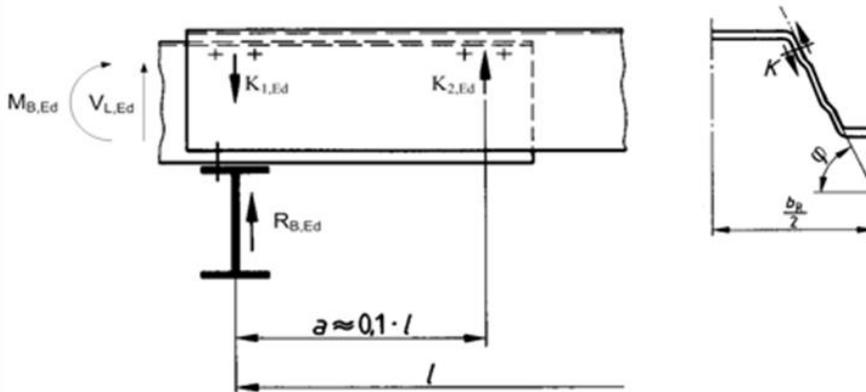
c.) Verification of the connections

$K_{Ed} = M_{B,Ed} / a / (2 \times \sin(\varphi)) \times b_R$	1,18	[kN]
$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1.0$	0,34	[-]

**Figure 8.6.2a** – Feuille Excel pour assemblage à recouvrement simple avec tôle en porte-à-faux au-dessus.

Please fill in the red cells  
Verification

Notice: If verification is not fulfilled please increase length a.



$M_{c,Rk,B}$	8,17	[kNm/m]	$M_{B,Ed}$	5,57	[kNm/m]
$R_{w,Rk,B}$	22,82	[kN/m]	$R_{B,Ed}$	10,22	[kN/m]
$R_{w,Rk,B,laB=160}$	22,89	[kN/m]	$V_{L,Ed}$	5,14	[kN/m]
$V_{w,Rk}$	28,49	[kN/m]	$b_R$	0,31	[m]
$\gamma_M$	1,10	[-]	length a	0,80	[m]
$\Sigma F_{v,Rd}$	3,50	[kN]	$\varphi$	66,00	[°]

Notice:  $R_{w,Rk,B,laB=160}$  mm for opposite profile position  
 $\Sigma F_{v,Rd} = n \times F_{v,Rd}$  shear resistance value according to EN 1993-1-3 or ETA at each coupling point  
 Bending moment distribution like for continuous profile.

a.) Verification of the profile at intermediate support

downward load:	$M_{B,Ed} / M_{c,Rd,B} \leq 1.0$	0,75	[-]
uplift load:	$R_{B,Ed} / R_{w,Rd,B} \leq 1.0$	0,49	[-]
	$V_{L,Ed} / V_{w,Rd} \leq 1.0$	0,20	[-]

Notice: Verification of M-R-interaction or M-V-interaction according to used type design must be done additionally depending on downward or uplift design loads.

b.) Check of the free end of the cantilever, if the line load  $F_{Ed}$  introduced by the connections  $K_i$  may create web-crippling  
 downward and uplift load:

No additional verification necessary

c.) Verification of the connections

$K_{Ed} = M_{B,Ed} / a / (2 \times \sin(\varphi)) \times b_R$	1,18	[kN]
$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1.0$	0,34	[-]

Figure 8.6.2b – Feuille Excel pour assemblage à recouvrement simple avec tôle en porte-à-faux par-dessous.

### Comparaison entre résultats analytiques et résultats du programme Excel pour un assemblage à recouvrement simple avec débord en porte-à-faux par-dessus

Pour cette comparaison, les résultats analytiques (paragraphe 8.4.2) constituent la référence.

Objet	Méthode Analytique	Programme Excel	Erreur [%]
Vérification du profil à l'appui intermédiaire			
Charges descendantes			
Moment sur appui	0,751	0,75	-0,13 %
Réaction d'appui	0,493	0,49	-0,6 %
Charges ascendantes			
Résistance au cisaillement	0,199	0,20	0,5 %
Vérification de la déformation de l'âme des nervures			
Charges descendantes	0,67	0,67	0 %
Charges ascendantes	-	-	
Vérification de la connexion			
Effort dans la connexion	2,05	2,05	0 %
Résistance de la connexion	0,585	0,59	0,85 %

**Tableau 8.6.2a** – Comparaison entre les résultats analytiques et ceux de la feuille Excel pour un assemblage à recouvrement simple avec tôle en porte-à-faux au-dessus.

Les valeurs issues du programme inhérentes à l'application de l'exemple de dimensionnement conduisent à des résultats très proches. Les erreurs sont toutes inférieures à  $\pm 1$  %.

### Comparaison entre résultats analytiques et résultats du programme Excel pour un assemblage à recouvrement simple avec débord en porte-à-faux en-dessous

Pour cette comparaison, les résultats analytiques (paragraphe 8.4.3) constituent la référence.

Objet	Méthode Analytique	Programme Excel	Erreur [%]
Vérification du profil à l'appui intermédiaire			
Charges descendantes			
Moment sur appui	0,751	0,75	-0,13 %
Réaction d'appui	0,493	0,49	-0,6 %
Charges ascendantes			
Résistance au cisaillement	0,199	0,20	0,5 %
Vérification de la déformation de l'âme des nervures	-	-	-
Vérification de la connexion			
Effort dans la connexion	1,18	1,18	0 %
Résistance de la connexion	0,338	0,34	0,59 %

**Tableau 8.6.2b** – Comparaison entre les résultats analytiques et ceux de la feuille Excel pour un assemblage à recouvrement simple avec tôle en porte-à-faux par-dessous.

Les valeurs issues du programme inhérentes à l'application de l'exemple de dimensionnement conduisent à des résultats très proches. Les erreurs sont toutes inférieures à  $\pm 1$  %.

### **8.6.3. Validation du second cas avec le bâtiment 2**

Pour les exemples du bâtiment 2, les 3ème et 4ème onglets du programme Excel sont utilisés.

Les premières informations à saisir sont les valeurs caractéristiques du profil, le coefficient de sécurité  $\gamma_M$  considéré, et la valeur totale de résistance au cisaillement induite par les fixations (dans l'âme). L'ensemble de ces informations sont saisies tel qu'indiqué aux Figures 8.6.3a et 8.6.3b :

- Sous charges descendantes :
  - Résistance caractéristique à la flexion sur appui pour le sens normal d'utilisation du profil, sous charges descendantes :  $M_{c,Rk,B}^{(+)} = M_{b,Rd} = 8,17$  [kNm/m] ;
  - Résistance caractéristique à la réaction d'appui intermédiaire (160mm de largeur d'appui) :  $R_{w,Rk,B}^{(+)} = R_{w,Rd,B} = 22,82$  [kN/m] ;
  - Résistance caractéristique à la flexion sur appui pour le sens inverse d'utilisation du profil, sous charges ascendants :  $M_{c,Rk,B}^{(-)} = M_{b,Rd} = 8,30$  [kNm/m] ;
  - Résistance caractéristique au cisaillement :  $V_{w,Rk}^{(-)} = V_{w,Rd} = 28,49$  [kN/m] ;
  - Coefficient de sécurité  $\gamma_m$  de 1,10 ;
  - Résistance totale au cisaillement des fixations :  $\sum F_{V,Rd} = 3,50$  kN ;
  - Résistance caractéristique à la réaction d'appui intermédiaire pour le sens inverse d'utilisation du profil (160mm de largeur d'appui) :  $R_{w,Rk,B,160mm} = R_{w,Rd,B,la=160} = 22,89$  [kN/m].
  
- Pour les charges ascendantes :
  - Résistance caractéristique à la flexion sur appui pour le sens normal d'utilisation du profil, sous charges ascendantes :  $M_{c,Rk,B}^{(+)} = M_{b,Rd} = 9,66$  [kNm/m] ;
  - Résistance caractéristique au cisaillement :  $V_{w,Rk}^{(+)} = V_{w,Rd} = 28,49$  [kN/m] ;
  - Résistance caractéristique à la flexion sur appui et aux extrémités du recouvrement pour le sens inverse d'utilisation du profil, sous charges descendantes :  $M_{c,Rk,B}^{(-)} = M_{b,Rd} = 9,66$  [kNm/m] ;
  - Résistance caractéristique à la réaction d'appui intermédiaire pour le sens inverse d'utilisation du profil (160mm de largeur d'appui) :  $R_{w,Rd,B,la=160} = 22,89$  [kN/m] ;
  - Coefficient de sécurité  $\gamma_m$  de 1,10 ;
  - Résistance totale au cisaillement des fixations :  $\sum F_{V,Rd} = 3,50$  kN.

Le second groupe d'informations à saisir concerne l'application de la combinaison d'action, voir paragraphe 8.1.4, comme suit :

- Sous charges descendantes :

Manuel de dimensionnement de profils assemblés

- Moment sur appui intermédiaire  $M_{B,Ed} = 9,33 \text{ kNm/m}$  ;
  - Réaction à l'appui intermédiaire  $R_{B,Ed} = 17,12 \text{ kN/m}$  ;
  - Moment à l'extrémité du recouvrement de longueur a (à droite de l'appui) :  $M_{I,Ed} = 3,29 \text{ kNm/m}$  ;
  - Moment à l'extrémité du recouvrement de longueur a (à gauche de l'appui) :  $M_{II,Ed} = 3,29 \text{ kNm/m}$  ;
  - Pas de nervure du profil :  $b_R = 0,31 \text{ m}$  ;
  - Longueur de recouvrement :  $a = 0,80 \text{ m}$  ;
  - Angle de l'âme des nervures :  $\varphi = 66^\circ$ .
- Pour le cas des charges ascendantes :
- Moment sur appui intermédiaire  $M_{B,Ed} = 2,82 \text{ kNm/m}$  ;
  - Effort de cisaillement  $V_{Ed} = V_{L,Ed} = 2,59 \text{ kN/m}$  ;
  - Moment à l'extrémité du recouvrement de longueur a (à droite de l'appui) :  $M_{I,Ed} = 0,99 \text{ kNm/m}$  ;
  - Moment à l'extrémité du recouvrement de longueur a (à gauche de l'appui) :  $M_{II,Ed} = 0,99 \text{ kNm/m}$  ;
  - Pas de nervure du profil :  $b_R = 0,31 \text{ m}$  ;
  - Longueur de recouvrement :  $a = 0,80 \text{ m}$  ;
  - Angle de l'âme des nervures :  $\varphi = 66^\circ$ .

Please fill in the red cells

**Verification**

**downward load**

Notice: If verification is not fulfilled please increase length a.

$M_{c,Rk,B}^{(+)}$	8,17	[kNm/m]	a.)	$M_{B,E_d}$	9,33	[kNm/m]
$R_{u,Rk,B}^{(+)}$	22,82	[kN/m]		$R_{B,E_d}$	17,12	[kN/m]
$M_{c,Rk,B}^{(-)}$	8,30	[kNm/m]		$M_{I,E_d}$	3,29	[kNm/m]
$V_{u,Rk}^{(-)}$	28,49	[kN/m]		$M_{II,E_d}$	3,29	[kNm/m]
$\gamma_M$	1,10	[-]		$b_R$	0,31	[m]
$\Sigma F_{v,R_d}$	3,50	[kN]		length a	0,80	[m]
$R_{u,Rk,B,160mm}$	22,83	[kN/m]		$\varphi$	66,00	[-]

Notice: (+) normal profile position downward load  
 (-) opposite profile position uplift load  
 $R_{u,Rk,B,160mm}$  for opposite profile position downward load  
 $\Sigma F_{v,R_d} = n \times F_{v,R_d}$  shear resistance value according to EN 1993-1-3 or ETA at each coupling point  
 Bending moment distribution like for continuous profile without taking into account the higher stiffness at the support area.

---

b.) Verification of the profile at intermediate support

$M_{B,E_d} / (1,8 \times M_{c,R_d,B}^{(+)}) \leq 1,0$	0,70	[-]
$R_{B,E_d} / (1,8 \times R_{u,R_d,B}^{(+)}) \leq 1,0$	0,46	[-]

Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally.

---

c.) Verification of the continuous profile at the end of the overlap with the bending moments  $M_{I,E_d}$  or  $M_{II,E_d}$  and the line load  $F_{E_d}$

$F_{E_d} = M_{B,E_d} / (2 \times a)$     5,83    [kN/m]

Section I and II:

$M_{I,E_d} / M_{c,R_d,B}^{(-)} \leq 1,0$	0,44	[-]
$M_{II,E_d} / M_{c,R_d,B}^{(-)} \leq 1,0$	0,44	[-]
$F_{E_d} / V_{u,R_d}^{(-)} \leq 1,0$	0,23	[-]

Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally for section I and II.

---

d.) Check of the free end of the cantilever, if the line load  $F_{E_d}$  introduced by the connections  $K_i$  may create web-crippling

cantilever: upside	underneath
$M_{B,E_d} / (2 \times a) / (0,5 \times R_{u,B,R_d,160}) \leq 1,0$	0,56    [-]    not necessary

---

e.) Verification of the connections

$K_{E_d} = M_{B,E_d} / (2 \times a) / (2 \times \sin(\varphi)) \times b_R$	0,99	[kN]
$K_{E_d} / \Sigma F_{v,R_d} \leq 1,0$	0,28	[-]

**Figure 8.6.3a** – Feuille Excel pour assemblage double – charges descendantes.

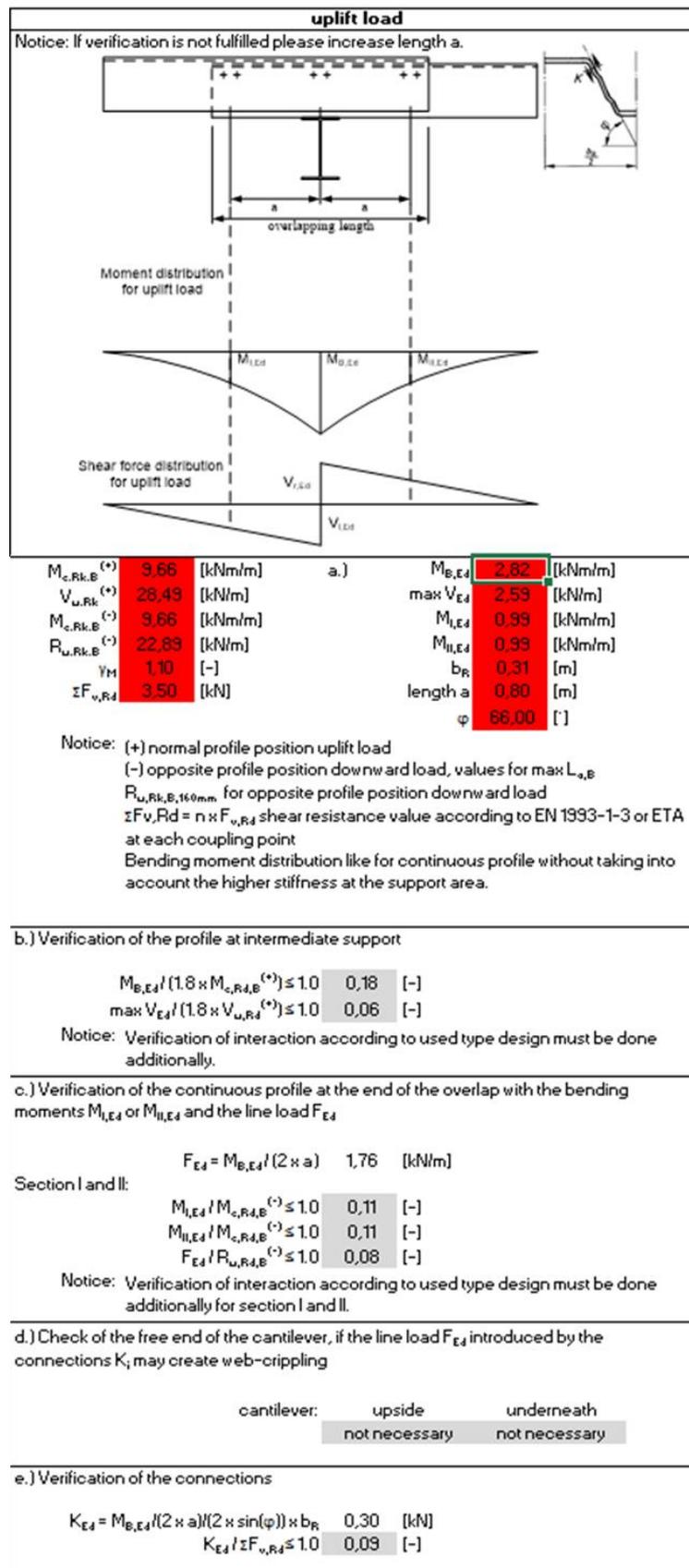
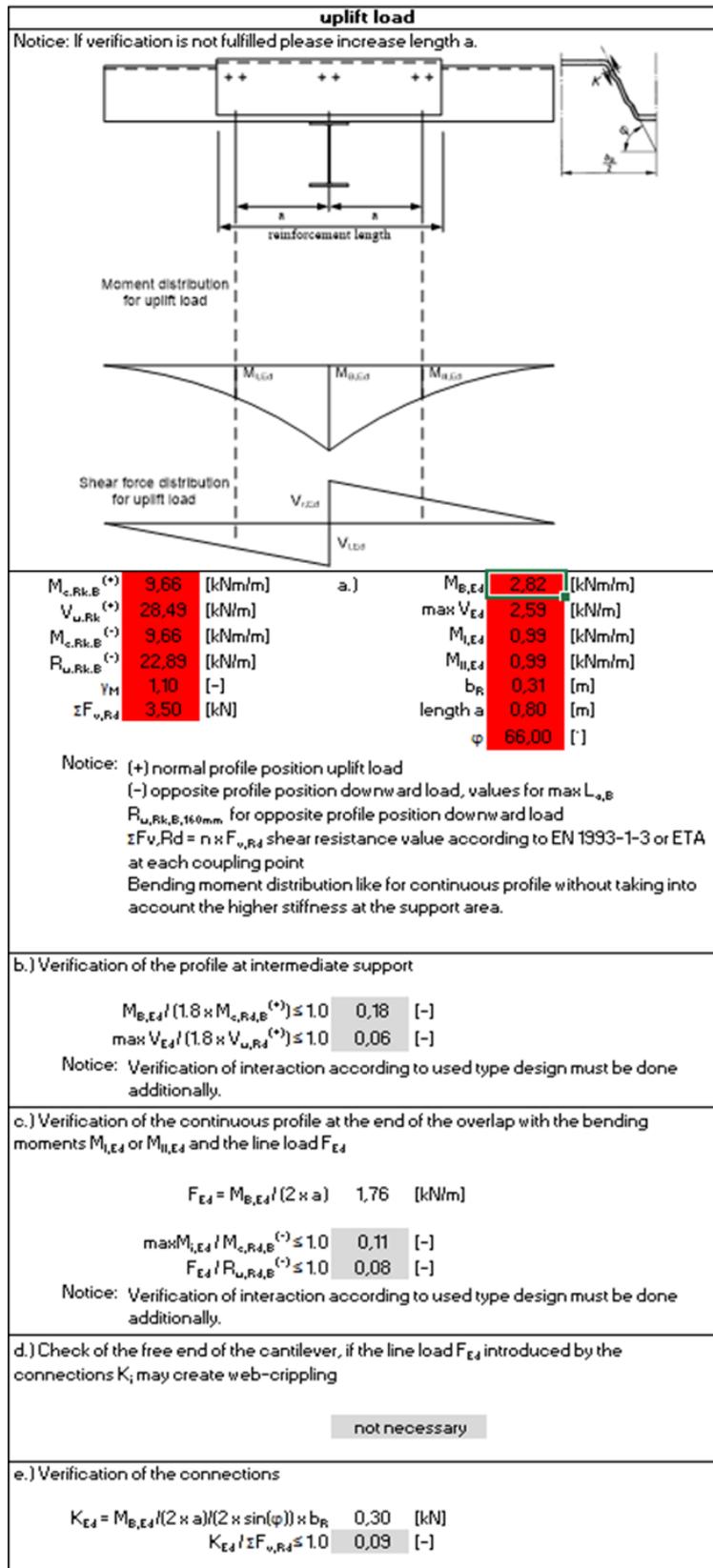


Figure 8.6.3b – Feuille Excel pour assemblage double – charges ascendantes.

Please fill in the red cells			
Verification			
<b>downward load</b>			
Notice: If verification is not fulfilled please increase length a.			
$M_{c,Rk,B}^{(+)}$	8,17	[kNm/m]	a.)
$R_{u,Rk,B}^{(+)}$	22,82	[kN/m]	
$M_{c,Rk,B}^{(-)}$	8,30	[kNm/m]	
$V_{u,Rk}^{(-)}$	28,49	[kN/m]	
$\gamma_M$	1,10	[-]	
$\Sigma F_{v,Rd}$	3,50	[kN]	
$R_{u,Rk,B,160mm}$	22,83	[kN/m]	
			$M_{B,Ed}$ 9,33 [kNm/m]
			$R_{B,Ed}$ 17,12 [kN/m]
			$M_{l,Ed}$ 3,29 [kNm/m]
			$M_{ll,Ed}$ 3,29 [kNm/m]
			$b_R$ 0,31 [m]
			length a 0,80 [m]
			$\varphi$ 66,00 [°]
Notice: (+) normal profile position downward load (-) opposite profile position uplift load $R_{u,Rk,B,160mm}$ for opposite profile position downward load $\Sigma F_{v,Rd} = n \times F_{v,Rd}$ shear resistance value according to EN 1393-1-3 or ETA at each coupling point Bending moment distribution like for continuous profile without taking into account the higher stiffness at the support area.			
b.) Verification of the profile at intermediate support			
$M_{B,Ed} / (1,8 \times M_{c,Rd,B}^{(+)}) \leq 1,0$ 0,70 [-] $R_{B,Ed} / (1,8 \times R_{u,Rd,B}^{(+)}) \leq 1,0$ 0,46 [-]			
Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally.			
c.) Verification of the continuous profile at the end of the overlap with the bending moments $M_{l,Ed}$ or $M_{ll,Ed}$ and the line load $F_{Ed}$			
$F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 \times a)$ 5,83 [kN/m]			
$\max M_{l,Ed} / M_{c,Rd,B}^{(-)} \leq 1,0$ 0,44 [-] $F_{Ed} / V_{u,Rd}^{(-)} \leq 1,0$ 0,23 [-]			
Notice: Verification of interaction according to used type design must be done additionally.			
d.) Check of the free end of the cantilever, if the line load $F_{Ed}$ introduced by the connections $K_i$ may create web-crippling			
$M_{B,Ed} / (2 \times a) / (0,5 \times R_{u,B,Rd,i+160}) \leq 1,0$ 0,56 [-]			
e.) Verification of the connections			
$K_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 \times a) / (2 \times \sin(\varphi)) \times b_R$ 0,99 [kN]			
$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$ 0,28 [-]			

Figure 8.6.3c – Feuille Excel pour assemblage d’un profil continu avec un renfort local – charges descendantes.



**Figure 8.6.3d** – Feuille Excel pour assemblage d'un profil continu avec un renfort local – charges ascendantes.

### Comparaison entre résultats analytiques et résultats du programme Excel pour un assemblage double

Pour cette comparaison, les résultats analytiques (paragraphe 8.5.3), constituent la référence.

Objet	Méthode Analytique	Programme Excel	Erreur [%]
Vérification du profil à l'appui intermédiaire			
Charges descendantes			
Moment sur appui	0,699	0,70	0,14 %
Réaction d'appui	0,459	0,46	0,22 %
Charges ascendantes			
Moment sur appui	0,178	0,18	1,12 %
Résistance au cisaillement	0,056	0,06	7,14 %
Vérification aux extrémités du recouvrement			
Charges descendantes			
Effort appliqué	5,83	5,83	0 %
Moment en extrémité du recouvrement	0,436	0,44	0,92 %
Résistance au cisaillement	0,225	0,23	2,22 %
Charges ascendantes			
Effort appliqué	1,76	1,76	0 %
Moment en extrémité du recouvrement	0,113	0,11	-2,65 %
Résistance à la réaction d'appui	0,085	0,08	-5,88 %
Vérification de la déformation de l'âme des nervures			
Charges descendantes	0,561	0,56	-0,17 %
Charges ascendantes	-	-	--
Vérification de la connexion			
Charges descendantes			
Effort dans la connexion	0,99	0,99	0 %
Résistance de la connexion	0,283	0,28	-1,06 %
Charges ascendantes			
Effort dans la connexion	0,30	0,30	0 %
Résistance de la connexion	0,085	0,09	5,88 %

**Tableau 8.6.3a** – Comparaison entre les résultats analytiques et ceux de la feuille Excel pour un assemblage double.

Les résultats analytiques ont été présentés avec 3 décimales alors que ceux issus du programme Excel le sont avec 2 décimales. En conséquence, plus la valeur du résultat est faible, plus l'erreur entre le programme Excel et la méthode analytique est grande.

Dans le cas où les résultats analytiques sont présentés avec 2 décimales, à l'instar du programme Excel, l'erreur est inférieure à  $\pm 1$  %. Au final, les valeurs issues du programme Excel par application de l'exemple de dimensionnement sont acceptables.

### Comparaison entre résultats analytiques et résultats du programme Excel pour un profil continu muni d'un renfort local

Pour cette comparaison, les résultats analytiques (paragraphe 8.5.4), constituent la référence.

Objet	Méthode Analytique	Programme Excel	Erreur [%]
Vérification du profil à l'appui intermédiaire			
Charges descendantes			
Moment sur appui	0,699	0,70	0,14 %
Réaction d'appui	0,459	0,46	0,22 %
Charges ascendantes			
Moment sur appui	0,178	0,18	1,12 %
Résistance au cisaillement	0,056	0,06	7,14 %
Vérification aux extrémités du recouvrement			
Charges descendantes			
Effort appliqué	5,83	5,83	0 %
Moment en extrémité du recouvrement	0,436	0,44	0,92 %
Résistance au cisaillement	0,225	0,23	2,22 %
Charges ascendantes			
Effort appliqué	1,76	1,76	0 %
Moment en extrémité du recouvrement	0,113	0,11	-2,65 %
Résistance à la réaction d'appui	0,085	0,08	-5,88 %
Vérification de la déformation de l'âme des nervures			
Charges descendantes	0,561	0,56	-0,17 %
Charges ascendantes	-	-	-
Vérification de la connexion			
Charges descendantes			
Effort dans la connexion	0,99	0,99	0 %
Résistance de la connexion	0,283	0,28	-1,06 %
Charges ascendantes			
Effort dans la connexion	0,30	0,30	0 %
Résistance de la connexion	0,085	0,09	5,88 %

**Tableau 8.6.3a** – Comparaison entre les résultats analytiques et ceux de la feuille Excel pour l'assemblage d'un profil continu avec un renfort local.

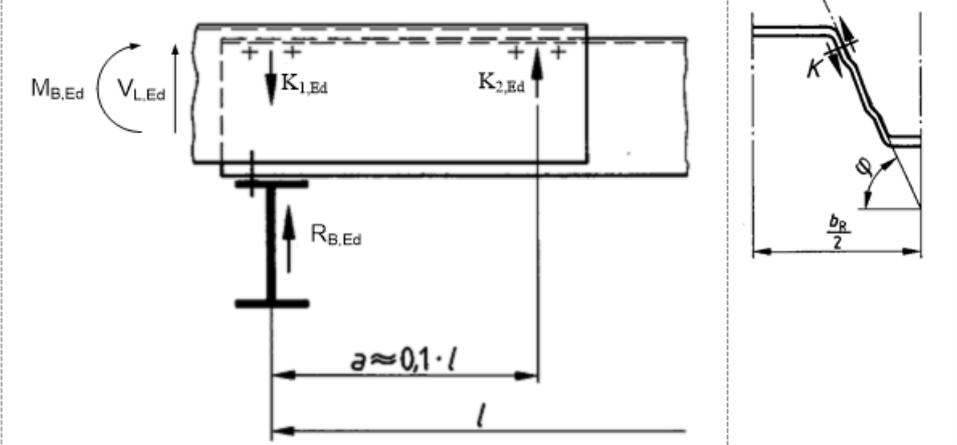
La conclusion de cette comparaison est la même que précédemment pour un assemblage double.

## **BIBLIOGRAPHIE**

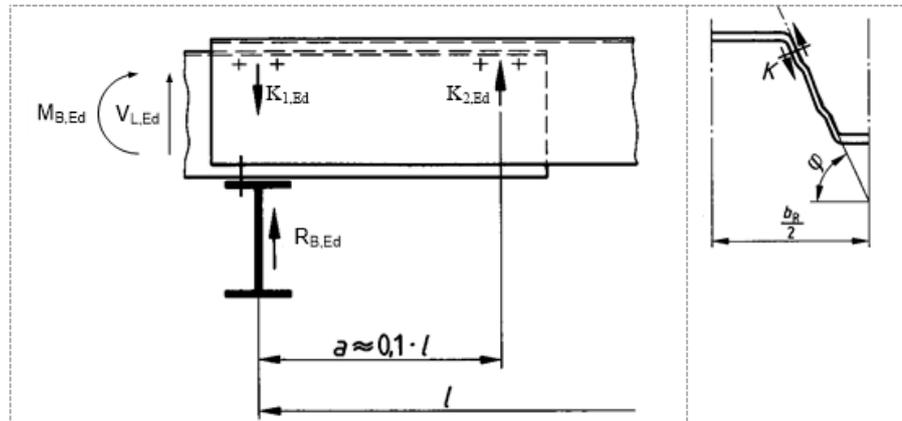
- [1] CEN, EN 14782:2006 – Self-supporting metal sheet for roofing, external cladding and internal lining - Product specification and requirements, Brussels, 2006.
- [2] CEN, EN 1993-1-3:2007 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting, Brussels, 2007.
- [3] DIN 18807-3:1987 - Trapezoidal sheeting in building – Trapezoidal steel sheeting – Structural analysis and design, Berlin, 1987.
- [4] CEN, EN 1090-4 – Execution of steel structures and aluminium structures – Part 4: Technical requirements for thin-gauge, cold-formed steel elements and structures for roof, ceiling, floor and wall applications.
- [5] C. FAUTH, GRISPE – WP2: Assembled Profiles – D2.3 Test report, 2016.
- [6] R. HOLZ, GRISPE – WP2: Assembled Profiles – D2.4 Test analysis and interpretation, 2016.
- [7] CEN, EN 1990:2002 – Eurocode – Basis of structural design, Brussels, 2002.
- [8] CEN, EN 1990:2002/A1:2005 – Eurocode – Basis of structural design – Amendment A1, Brussels, 2005.
- [9] CEN, EN 1990:2002/A1:2005/AC:2010 – Eurocode – Basis of structural design – Amendment A1 - Corrigendum, Brussels, 2010.
- [10] CEN, EN 1991-1-1:2002 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings, Brussels, 2002.
- [11] CEN, EN 1991-1-1:2002/AC:2009 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for buildings - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [12] CEN, EN 1991-1-3:2003 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads, Brussels, 2003.
- [13] CEN, EN 1991-1-3:2003/AC:2009 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [14] CEN, EN 1991-1-3:2003/A1:2015 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-3: General actions – Snow loads - Amendment A1, Brussels, 2015.
- [15] CEN, EN 1991-1-4:2005 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions, Brussels, 2005.
- [16] CEN, EN 1991-1-4:2005/AC:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions – Corrigendum, Brussels, 2010.
- [17] CEN, EN 1991-1-4:2005/A1:2010 – Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-4: General actions - Wind actions – Amendment A1, Brussels, 2010.

- [18] CEN, EN 1993-1-1:2005 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [19] CEN, EN 1993-1-1:2005/AC:2009 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings - Corrigendum, Brussels, 2005.
- [20] CEN, EN 1993-1-1:2005/A1:2014 – Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings – Amendment A1, Brussels, 2014.
- [21] CEN, EN 1993-1-3:2007/AC:2009 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-3: General rule - Supplementary rules for cold-formed member and sheeting - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [22] CEN, EN 1995-1-1:2005 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Brussels, 2005.
- [23] CEN, EN 1995-1-1:2005/AC:2006 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Corrigendum, Brussels, 2006.
- [24] CEN, EN 1995-1-1:2005/A1:2008 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Amendment A1, Brussels, 2008.
- [25] CEN, EN 1995-1-1:2005/A2:2014 – Eurocode 5: Design of timber structures – Part 1-1: General – Common rules and rules for buildings, Amendment A1, Brussels, 2014.
- [26] CEN, EN 1993-1-5:2007 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements, Brussels, 2007.
- [27] CEN, EN 1993-1-5:2007/AC:2009 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements - Corrigendum, Brussels, 2009.
- [28] CEN, EN 1993-1-5:2006/A1:2017 – Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-5: General rules - Plated structural elements – Amendment A1, Brussels, 2017.

**ANNEXE: PROJET D'AMENDEMENT SOUMIS AU CEN**

<p><b>AM-1-3-2016-08</b></p>	
<p>Subject</p>	<p>Assembled trapezoidal profiles (statically effective overlapping)</p>
<p>Clause No/ Subclause No/ Annex</p>	
<p>Reason for Amendment</p>	<p>No data in the actual version of EN 1993-1-3</p>
<p>Proposed Change</p>	<p>1. cantilever above</p>  <p>a) Verification of the profile with the design resistance values (<math>M_{Rd,B}</math>, <math>R_{w,Rd,B}</math>) of the continuous profile in the support axis taking into account the influence of support reaction (M-R-interaction).</p> <p>b) Check of the free end of the cantilever, if the line load introduced by the connections <math>K_i</math> may create web crippling</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Downward load = negative bending moment web crippling at the end of the cantilever <math>F_{Ed} = M_{B,Ed}/a &lt; 0,5 R_{w,Rd,B}</math> <math>R_{w,Rd,B}</math> is the ultimate support reaction at intermediate supports in the opposite profile position (in general negative position) for the max. support width, in general <math>l_{aB} = 160</math> mm (determined in GRISPE [1], that the design resistance <math>R_{w,Rd,B}(160</math> mm) is suitable for this verification)</li> <li>- Uplift load = positive bending moment No web crippling possible at the end of the cantilever</li> </ul> <p>c) Verification of the connections <math>K_{Ed}</math></p> $K_{Ed} = \max K_i =  M_{B,Ed} / a + V_{L,Ed}  / (2 \cdot \sin(\varphi)) \cdot b_R \text{ (Verification in one web)}$ $K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$ <p>with <math>\Sigma F_{v,Rd}</math> shear resistance of the screws</p>

2. cantilever underneath



- a) Verification of the profile with the design resistance values ( $M_{Rd,B}$ ,  $R_{w,Rd,B}$ ) of the continuous profile in the support axis taking into account the influence of support reaction (M-R-interaction).
- b) Check of the free end of the cantilever, if the line load introduced by the connections  $K_i$  may create web crippling

- Downward load = negative bending moment  
No web crippling possible at the end of the cantilever
- Uplift load = positive bending moment  
No web crippling possible at the end of the cantilever

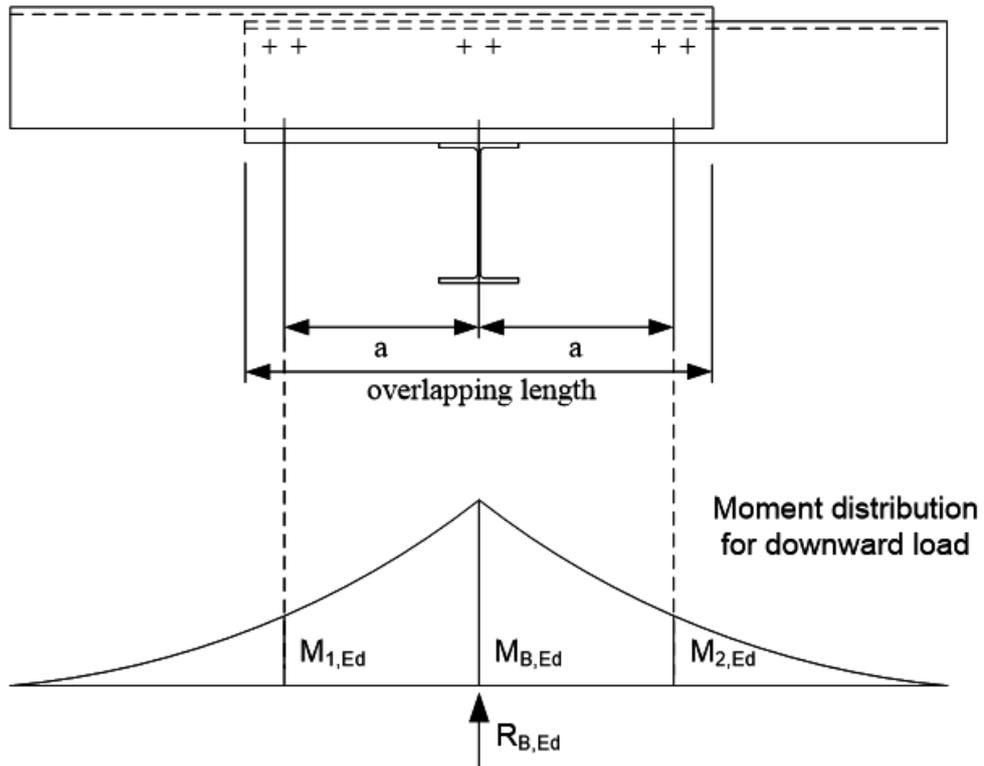
- c) Verification of the connections  $K_{Ed}$

$$K_{Ed} = \max K_i = |M_{B,Ed}| / (2 \cdot a \cdot \sin(\varphi)) \cdot b_R \text{ (Verification in one web)}$$

$$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$$

with  $\Sigma F_{v,Rd}$  shear resistance of the screws

3. Overlap joint



- a) Determination of the bending moment distribution under design loads like for continuous sheets (The influence of the higher bending stiffness at the overlapping area, which is partly compensated by the slip and/or elastic deformations at the connections, is neglected). Results:  $M_{B,Ed}$ ;  $R_{B,Ed}$ ;  $M_{1,Ed}$ ;  $M_{2,Ed}$
- b) Verification of the profiles at the support axis with 90 % of the resistance of the overlapping profiles (factor 0,9 determined in GRISPE [1]) taking into account the influence of the support reaction (M-R-interaction):  
 $M_{B,Ed} \leq 0,9 \sum M_{Rd,B}$ ;  $R_{B,Ed} \leq 0,9 \sum R_{wRd,B}$  ; M-R-interaction
- c) Verification of the continuous profiles at the ends of the overlap with the bending moments  $M_{1,Ed}$  or  $M_{2,Ed}$  and the line loads introduced by the connections  $K_i$ :  $F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2a)$ . Depending of the direction of the load  $F_{Ed}$  relative to the web of the profile, the M-R-interaction or the M-V-interaction has to be verified.  
 For downward load,  $F_{Ed}$  is acting as a tension force on the webs of the continuous profiles; M-V-interaction has to be verified.  
 For uplift load,  $F_{Ed}$  is acting as a compression force on the webs of the continuous profiles; M-R-interaction has to be verified.  
 In both load cases, the resistance values of the profile in the opposite position at intermediate supports apply for these verifications.
- d) Check of the free end of the cantilever, if the line load introduced by the connections  $K_i$  may create web crippling  
  - Downward load = negative bending moment  
 web crippling at the end of the upside cantilever  
 $F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2a) < 0,5 R_{wRd,B}$

$R_{w,Rd,B}$  is the ultimate support reaction at intermediate supports in the opposite profile position (in general negative position) for the max. support width, in general  $l_{aB} = 160 \text{ mm}$  (determined in GRISPE [1], that the design resistance  $R_{w,Rd,B}(160 \text{ mm})$  is suitable for this verification)

No web crippling possible at the end of the cantilever underneath

- Uplift load = positive bending moment

No web crippling possible, neither at the upside cantilever nor at the cantilever underneath.

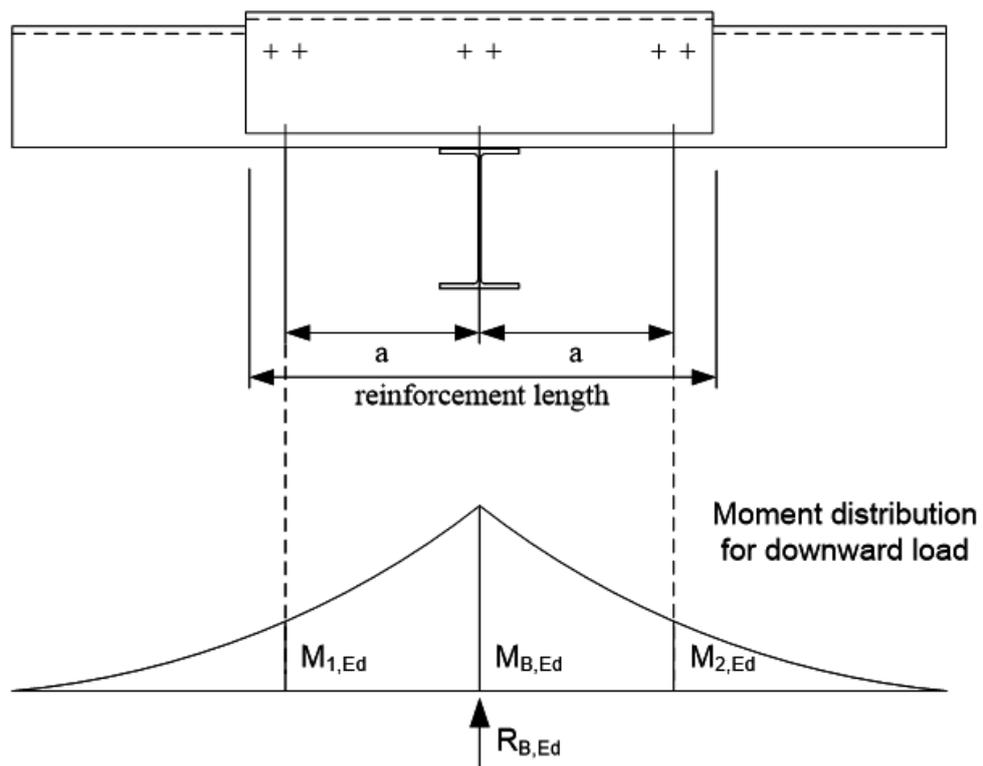
e) Verification of the connections  $K_{Ed}$  with

$$K_{Ed} = \max K_i = |M_{B,Ed}| / (4 * a * \sin(\varphi)) * b_R \text{ (Verification in one web)}$$

$$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$$

with  $\Sigma F_{v,Rd}$  shear resistance of the screws

4. Continuous profile with local reinforcement



a) Determination of the bending moment distribution under design loads like for continuous sheets (The influence of the higher bending stiffness at the overlapping area, which is partly compensated by the slip and/or elastic deformations at the connections, is neglected). Results:  $M_{B,Ed}$ ;  $R_{B,Ed}$ ;  $M_{1,Ed}$ ;  $M_{2,Ed}$

b) Verification of the profiles at the support axis with 90 % of the resistance of the overlapping profiles (factor 0,9 determined in GRISPE [1]) taking into account the influence of the support reaction (M-R-interaction):  
 $M_{B,Ed} \leq 0,9 \Sigma M_{Rd,B}$ ;  $R_{B,Ed} \leq 0,9 \Sigma R_{wRd,B}$  ; M-R-interaction

- c) Verification of the continuous profile at the ends of the overlap with the bending moments  $M_{1,Ed}$  or  $M_{2,Ed}$  and the line loads introduced by the connections  $K_i$ :  $F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2 a)$ . Depending of the direction of the load  $F_{Ed}$  relative to the web of the profile, the M-R-interaction or the M-V-interaction has to be verified.

For downward load,  $F_{Ed}$  is acting as a tension force on the webs of the continuous profile; M-V-interaction has to be verified.

For uplift load,  $F_{Ed}$  is acting as a compression force on the webs of the continuous profile; M-R-interaction has to be verified.

In both load cases, the resistance values of the profile in the opposite position at intermediate supports apply for these verifications.

- d) Check of the free end of the cantilever, if the line load introduced by the connections  $K_i$  may create web crippling

- Downward load = negative bending moment  
web crippling at the end of both cantilevers

$$F_{Ed} = M_{B,Ed} / (2a) < 0,5 R_{w,Rd,B}$$

$R_{w,Rd,B}$  is the ultimate support reaction at intermediate supports in the opposite profile position (in general negative position) for the max. support width, in general  $l_{aB} = 160$  mm (determined in GRISPE [1], that the design resistance  $R_{w,Rd,B}(160$  mm) is suitable for this verification)

- Uplift load = positive bending moment  
No web crippling possible at the end of both cantilevers

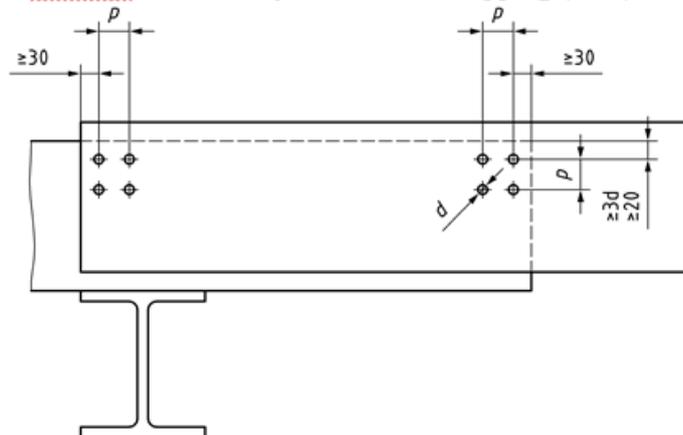
- e) Verification of the connections  $K_{Ed}$   
with

$$K_{Ed} = \max K_i = |M_{B,Ed}| / (4 * a * \sin(\varphi)) * b_R \text{ (Verification in one web)}$$

$$K_{Ed} / \Sigma F_{v,Rd} \leq 1,0$$

with  $\Sigma F_{v,Rd}$  shear resistance of the screws

Edge and hole spacings for statically effective overlapping (1.-4.)



Background  
Information

[1] D2.5 Background and draft annexes for EN 1993-1-3 for assembled profiles,  
31.10.2015, KIT