

Durability

B. Manuel technique

1. Introduction	3
2. Symboles	4
2.1. Vérification de la palplanche	4
2.2. Vérification du système d'ancrage	7
3. Vérification de la section des palplanches	8
3.1. Approches de calcul	8
3.1.1. Contraintes admissibles (ASD)	8
3.1.2. Eurocode 3 - Partie 5	9
3.1.2.1. Classement des sections	9
3.1.2.1.1. Flexion [EC3-5 5.2.2.2 : (1) (2)]	10
3.1.2.1.2. Flexion et cisaillement [EC3-5 5.2.2 : (3) (4) (5) (8) (9)]	11
3.1.2.1.3. Voilement de l'âme [5.2.2 : (6) (7)]	11
3.1.2.1.4. Flambement : flexion et effort normal [EC3-5 5.2.3 : (1) (2) (3) (4)]	12
3.1.2.1.5. Moment fléchissant et effort normal [EC3-5 5.2.3 : (9) (10) (11)]	13
3.1.2.1.6. Flexion, cisaillement et compression [EC3-5 5.2.3 : (12)]	13
3.1.2.2. Effets locaux de la pression d'eau [EC3-5 5.2.4]	14
3.1.2.3. Taux de corrosion	15
4. Vérification du système d'ancrage	17
4.1. Classement des cas	17
4.1.1. Ancrage centré : cas de l'Eurocode	17
4.1.2. Ancrage double centré	18
4.2. Ancrage	19
4.2.1. ASD	19
4.2.2. Eurocode	20
4.2.2.1. Vérification de l'état limite ultime (ELU)	20
4.2.2.2. Vérification de l'état limite de service (ELS)	20
4.3. Boulon	21
4.3.1. ASD	21
4.3.2. Eurocode	22
4.3.2.1. Vérification de l'état limite ultime (ELU)	22
4.3.2.2. Vérification de l'état limite de service (ELS)	22
4.4. Lierne	23
4.5. Plaques	24
4.5.1. Ancrage centré	24
4.5.1.1. Vérification structurelle	24
4.5.1.2. Calcul des charges	24
4.5.1.2.1. Palplanches en U	25
4.5.1.2.2. Palplanches Z	29
4.5.1.2.2.1. Ancrage simple	29
4.5.1.2.2.2. Double centric anchor	35
4.5.2. Double ancrage centré	39
4.5.2.1. Dimensions de la plaque	39
4.5.2.2. Vérification de la résistance	39

4.5.2.2.1.	Vérification de la résistance de la plaque à la force locale	39
4.5.2.2.2.	Poinçonnement	39
4.6.	Rondelle à bossages	40
4.6.1.	Ancrage central	40
4.7.	Palplanches	41
4.7.1.	Eurocode	41
4.7.1.1.	Résistance au cisaillement de l'aile EC3-5 §7.4.3 (3a)	41
4.7.1.2.	Résistance à la traction de l'âme EC3-5 §7.4.3 (3b)	41
4.7.1.3.	Résistance au cisaillement à la partie de l'effort d'ancrage exercé sur les âmes EC3-5 §7.4.3 (4)	42
5.	Calcul du LCA	43
5.1.	Méthode pratique commerciale	43
5.2.	Réutilisation/Recyclage %	43
5.3.	Nombre de cycles	43
5.4.	Calcul des valeurs du LCA	44
5.5.	Calcul du transport	44
5.6.	Calcul total	44

1. Introduction

L'objectif principal de l'ingénieur concepteur est de choisir la solution de palplanches la plus rentable en tenant compte de tous les aspects qui ont une influence sur la sécurité pendant sa durée de vie.

Durability est un logiciel qui simplifie le choix d'une section de palplanches en tenant compte de la corrosion de l'acier dans différents environnements et de la durée de vie de la structure de la palplanche. Seules les palplanches laminées à chaud de type Z et U sont proposées.

Il y a beaucoup de fonctionnalités intéressantes, mais les plus importantes sont les suivantes :

- Les torseurs d'efforts internes peuvent être définis tout au long de la palplanche
- Différentes zones de corrosion peuvent être définies ainsi que des zones de protection
- Le niveau d'eau peut être différent à l'avant et à l'arrière des palplanches.
- Un projet double-écran peut être traité en définissant l'écran principal et le mur d'ancrage.
- Des vérifications numériques explicites sont présentées pour chaque niveau
- Plusieurs "Scénarios" peuvent être testés et comparés dans un même projet
- Toutes les palplanches du catalogue ArcelorMittal peuvent être testées automatiquement pour les mêmes chargements.
- Les tirants d'ancrage, les plaques et les liernes peuvent également être vérifiées.
- Les systèmes d'unités impériales et métriques sont disponibles
- Un système de filtres est intégré pour identifier les palplanches qui vérifient toutes les conditions requises
- Nombreux contrôles des données d'entrée sont intégrés

La Durability propose deux calculs différents :

- Vérification des palplanches
- Vérification du système d'ancrage

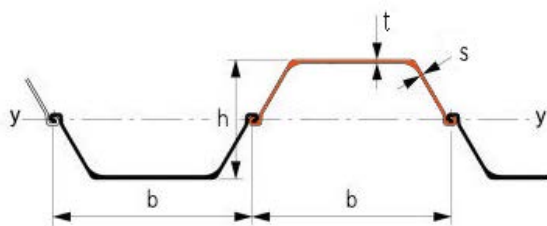
La section des palplanches peut être vérifiée selon deux approches de conception différentes :

- **Eurocode 3 - Partie 5 (EC 3-5)**
- **Conception en contraintes admissibles (ASD)**

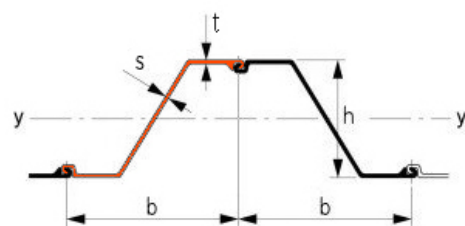
La première partie de ce manuel traite de la vérification des palplanches.

La deuxième partie traite de la vérification du système d'ancrages.

Les chapitres suivants montrent les différentes options et hypothèses qui ont été implémentées dans le logiciel pour chaque méthode de calcul.



Géométrie des palplanches en U



Géométrie des palplanches en Z

2. Symboles

Ce chapitre a pour objectif de lister tous les paramètres nécessaires dans les calculs Durability.

Les unités en système Métrique et Impérial ainsi qu'une description de chaque paramètre sont fournis.

2.1. Vérification de la palplanche

Propriétés de la palplanche

Paramètre	Métrique (SI)	Imperial	Description
Name	-	-	Nom de la palplanche
Steel grade	-	-	-
f_y	MPa	ksi	Limite d'élasticité de l'acier
W_{el}	cm ³ /m	in ³ /ft	Module élastique de la section
W_{pl}	cm ³ /m	in ³ /ft	Module plastique de la section
I	cm ⁴ /m	in ⁴ /ml	Moment d'inertie
A	cm ² /m	in ² /ft	Aire de la section transversale
$t_{f,ini}$	mm	in	Épaisseur nominale initiale de l'aile
$t_{w,ini}$	mm	in	Épaisseur nominale initiale de l'âme
h	mm	in	Hauteur de la section
α	°	°	Inclinaison de l'âme
b	mm	in	Largeur nominale l'aile
$c = (h_{ini} - t_{f,ini}) / \sin \alpha$ for Z-piles $c = (h_{ini} - t_{f,ini}) / (2 \sin \alpha)$ for Upile	mm	in	Hauteur d'inclinaison de l'âme
b_d	mm	in	Double largeur de la palplanche
b_s	mm	in	Largeur de la palplanche simple
A_v	cm ² /m	in ² /ft	Aire de cisaillement projetée initiale de l'âme
G_{ssp}	kg/m ²	lb/ft ²	Masse d'écran de palplanches en acier

Paramètre	Métrique (SI)	Imperial	Description
Class initiale	-	-	Classe de la section (initiale), définie dans EC3-5 Tableau 5.1
Class réduite	-	-	Classe de la section (réduite), définie dans EC3-5 Tableau 5.1
$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y}$	-	-	Paramètre en fonction de f_y
h_{red}	mm	in	Hauteur de section réduite
$t_{f,red}$	mm	in	Épaisseur nominale réduite de l'aile
$t_{w,red}$	mm	in	Épaisseur nominale réduite de l'âme
$A_{v,red} = \frac{(h_{red} - t_{f,red})}{b_s} \cdot t_{w,red}$	cm ² /m	in ² /ft	Aire de cisaillement projetée réduite de l'âme

Paramètres constants complémentaires :

Paramètre	Métrique (SI)	Imperial	Description
E	kN/m ²	ksf	Module d'élasticité de l'acier (210E+6 kN/m ²)
ρ	kg/m ³	lb/ft ³	Poids volumique de l'acier (7850 kg/m ³)

Charges, géométrie et facteurs partiels de sécurité :

Paramètre	Métrique (SI)	Imperial	Description
N_{Ed}	kN/m	kip/ft	Effort normal issu du dimensionnement (valeur de calcul)
V_{Ed}	kN/m	kip/ft	Effort tranchant issu du dimensionnement (valeur de calcul)
M_{Ed}	kNm/m	kip*ft/ft	Moment fléchissant issu du dimensionnement (valeur de calcul)
l	m	ft	Longueur de flambement (EC3-5 Figure 5.8)
$z_{w,front}$	m	ft	Niveau d'eau devant la palplanche
$z_{w,back}$	m	ft	Niveau d'eau derrière la palplanche
Profil	-	-	Section de la palplanche
f_y	MPa	ksi	Limite élastique de l'acier
β_B	-	-	Facteur réducteur appliqué sur le moment résistant pour les palplanches en U
β_D	-	-	Facteur réducteur appliqué sur le moment d'inertie pour les palplanches en U
γ_{M0}	-	-	Coefficient partiel de sécurité selon EC3-5 §5.1.1 (4)
γ_{M1}	-	-	Coefficient partiel de sécurité selon EC3-5 §5.1.1 (4)
Service life	Années	Années	Durée de vie de l'ouvrage
p_{front}	Années	Années	Protection sur la face avant
p_{back}	Années	Années	Protection sur la face arrière
L_{wall}	m	ft	Longueur du mur
L_{ssp}	m	ft	Longueur des palplanches

Paramètres ASD :

Paramètre	Métrique (SI)	Imperial	Description
$\sigma_{applied}$	MN/m ²	ksi	Contrainte appliquée par les charges (M, N) sur la section de palplanches
$\sigma_{allowable}$	MN/m ²	ksi	Contrainte admissible de la section
$S_{f,ini}$	-	-	Facteur de sécurité visé sur la limite élastique de l'acier sans considérer la perte d'épaisseur par corrosion
$S_{f,red}$	-	-	Facteur de sécurité visé sur la limite élastique de l'acier avec la prise en compte de la perte d'épaisseur par corrosion

Eurocode 3 – Part 5 résultats:

Check	Résultat	Métrique (SI)	Imperial	Description
1	$M_{c,Rd}$	kNm/m	ksf/ft	Moment résistant de la section (valeur de calcul)
	ρ_P	-	-	Paramètre de réduction de la contrainte limite
	$f_{y,red}$	MN/m ²	ksft	Nuance réduite d'acier
2	$V_{pl,Rd}$	kN/m	kips/ft	Effort tranchant résistant plastique de la section
	ρ	-	-	Facteur de réduction du moment fléchissant
	$M_{V,Rd}$	kNm/m	ksf/ft	Moment résistant réduit (valeur de calcul)
3	$c/t_w > 72\varepsilon$	-	-	Condition pour ne pas vérifier le voilement de l'âme
	$\bar{\lambda}$	-	-	Élancement relatif de l'âme
	f_{bv}	MN/m ²	ksft	Résistance au voilement par cisaillement
	$V_{b,Rd}$	kN/m	kips/ft	Effort tranchant résistant au voilement par cisaillement
4	N_{cr}	kN/m	kips/ft	Effort normal critique vis-à-vis du flambement
	$N_{pl,Rd}$	kN/m	kips/ft	Effort normal plastique résistant de la section
	α	-	-	Facteur d'imperfection
	$\bar{\lambda}$	-	-	Élancement non-dimensionnel
	Φ	-	-	Fonction numérique
	χ	-	-	Coefficient de flambement
	$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}} + 1,15 \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}}$	-	-	Vérification numérique du flambement
5	$N_{pl,Rd}$	kN/m	kips/ft	Effort normal résistant de la section
	$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$	-	-	Rapport entre l'effort normal agissant et l'effort normal plastique de la section
	k_1	-	-	Paramètre égale à 0.10 ou 0.25 en fonction du type de section et de sa classe
	k_2	-	-	Paramètre égale à 1.00, 1.11 ou 1.33 en fonction du type de profil et de sa classe
	$M_{N,Rd}$	kNm	ksf/ft	Moment fléchissant maximal admissible
	$M_{N,Rd} \leq M_{c,Rd}$	-	-	Condition à respecter
6	$V_{pl,Rd}$	kN/m	kips/ft	Effort tranchant résistant plastique de la section
	ρ	-	-	Paramètre numérique
	$f_{y,red}$	MN/m ²	ksf	Nuance réduite d'acier
	$M_{c,Rd,red}$	kNm/m	ksf/ft	Moment fléchissant résistant réduit à cause de l'interaction entre M, N et V
	$M_{N,Rd,red}$	kNm	ksf/ft	Moment fléchissant réduit à cause de l'interaction entre M, N et V

2.2. Vérification du système d'ancrage

Paramètre	Métrique (SI)	Imperial	Description
F_{anchor}	kN	kips	Réaction à l'ELU par ancrage
F_{Ed}	kN	kips	Réaction à l'ELU par unité de longueur
$F_{t,ser}$	kN	kips	Réaction à l'ELS par unité de longueur
F_{bolt}	kN	kips	Réaction à l'ELU par boulon
s_p	m	ft	Espacement des ancrages
n	-	-	Nombre de systèmes de palplanches entre deux ancrages
b_{sys}	m	ft	Largeur d'un système de palplanches
A_g	cm ²	in ²	Aire initiale de la section de la partie courante des ancrages
A_s	cm ²	in ²	Aire initiale de la section de la partie filetée des ancrages
$A_{g,red}$	cm ²	in ²	Aire réduite de la section de la partie courante des ancrages
$A_{s,red}$	cm ²	in ²	Aire réduite de la section de la partie filetée des ancrages
A_{net}	cm ²	in ²	Aire réduite de la section de la partie courante des boulons
f_{ua}	MPa	ksi	Résistance ultime des ancrages
k_t	-	-	Facteur de réduction permettant la prise en compte de la flexion et de l'effort normal dans la partie filetée de l'ancrage
n_{waling}	-	-	Nombre de profilés de la lierne (2 par défaut)

Facteurs partiels de sécurité complémentaires :

Paramètre	Métrique (SI)	Imperial	Description
γ_{M2}	-	-	Facteur partiel de sécurité conformément au EC3-5 7.1 (4)
$\gamma_{M1,ser}$	-	-	Facteur partiel de sécurité conformément au Eurocode 3 -5 7.1 (4)
$S_{f,waling}$	-	-	Facteur de sécurité sur la nuance d'acier de la lierne

Géométrie des plaques, écrous et rondelles à bossages :

Paramètre	Metric (SI)	Imperial Unit	Description
b_a	mm	in	Largeur de la plaque
h_a	mm	in	Hauteur de la plaque
t_a	mm	in	Épaisseur de la plaque
d'	mm	in	Diamètre de diffusion sur la plaque
d	mm	in	Diamètre du trou de la plaque
b_{sp}	mm	in	Largeur de la rondelle à bossage
h_{sp}	mm	in	Hauteur de la rondelle à bossage
t_{sp}	mm	in	Épaisseur de la rondelle à bossage
w_{sp}	mm	in	Diamètre de la partie arrondie de la rondelle à bossage
d_{sp}	mm	in	Diamètre du trou dans la rondelle à bossage
d_{sq}	mm	in	Diamètre entre les côtés plats de l'écrou

Charges :

Charges	Metric (SI)	Imperial Unit	Description
F	kN	kips	Composante horizontale de l'effort dans l'ancrage (ELU value)
F_p	kN	kips	Charge reprise par la palplanche
F_w	kN	kips	Charge reprise par la lierne

3. Vérification de la section des palplanches

3.1. Approches de calcul

La section des palplanches peut être vérifiée selon deux approches différentes :

- **Eurocode 3 – Partie 5 (EC3-5)**
- **Contraintes admissibles (ASD)**

3.1.1. Contraintes admissibles (ASD)

Cette méthode permet de comparer les contraintes générées par les charges appliquées sur la section de la palplanche corrodée à la contrainte maximale autorisée.

$$\sigma_{applied} = \frac{M}{W_{el,red}} + \frac{N \cdot e}{W_{el,red}} + \frac{N}{A_{red}} \leq \sigma_{admissible} = \frac{f_y}{S_f}$$

Où :

$\sigma_{appliquée}$	Contrainte appliquée générée par les charges (M, N) sur la section de palplanches
$\sigma_{admissible}$	Contrainte admissible
N	Effort normal de compression appliqué sur la section
M	Moment de flexion appliqué sur la section
e	Excentricité de la charge de compression
$W_{el,red}$	Module réduit de la section de palplanches
A_{red}	Surface réduite de la section transversale de la section
f_y	Limite élastique de l'acier
S_f	Facteur de sécurité

Cette méthode de calcul est utilisée de deux manières différentes :

- S_f sera calculé pour une section choisie par l'utilisateur (voir onglet Résultats) et pour toutes les palplanches incluses dans le catalogue ArcelorMittal (voir onglet Résumé St)
- Pour S_f défini par l'utilisateur, le logiciel fournit toutes les palplanches possibles qui vérifient les conditions requises. Pour cela, il convient de cocher "*Seulement les palplanches valides*" dans l'onglet *Palplanches*.

3.1.2. Eurocode 3 - Partie 5

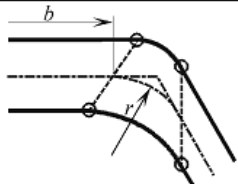
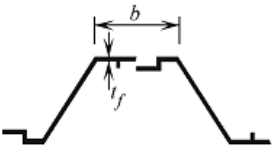

L'Eurocode 3 - Partie 5 exige la classification de la section avant tout calcul.

Toutes les vérifications exigent la comparaison des valeurs de calcul des efforts et leurs valeurs maximales admissibles. Parfois, il est nécessaire de vérifier l'interaction entre les efforts.

3.1.2.1. Classement des sections

La section de palplanche est classifiée selon le tableau 5-1 :

Table 5-1: Classification of cross-sections

Classification	Z-profile				U-profile		
							
Class 1	<ul style="list-style-type: none">- the same boundaries as for class 2 apply- a rotation check has to be carried out						
Class 2	$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 45$				$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 37$		
Class 3	$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 66$				$\frac{b/t_f}{\epsilon} \leq 49$		
$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$	f_y [N/mm ²]	240	270	320	355	390	430
	ϵ	0,99	0,93	0,86	0,81	0,78	0,74
Key: <i>b</i> : width of the flat portion of the flange, measured between the corner radii, provided that the ratio r/t_f is not greater than 5,0; otherwise a more precise approach should be used; <i>t_f</i> : thickness of the flange for flanges with constant thickness; <i>r</i> : midline radius of the corners between the webs and the flanges; <i>f_y</i> : yield strength.							
Note: For class 1 cross-sections it should be verified that the plastic rotation provided by the cross-section is not less than the plastic rotation required in the actual design case. Guidance for this verification (rotation check) is given in Annex C.							

Il est important de noter que Durability ne vérifie pas les sections de classe 4. Si $(b/t_f)/\epsilon > k$, la section sera classifiée dans la classe 4, mais sera considérée comme classe 3 à l'aide de l'Eurocode 3-1-1 §5.5.2 (9) avec une nuance réduite $f_{y,red}$:

(9) Excepté comme indiqué en (10), les sections de Classe 4 peuvent être traitées comme des sections de Classe 3 si les rapports largeur-épaisseur sont inférieurs aux proportions limites pour la Classe 3 prises dans le Tableau 5.2 en ayant multiplié ϵ par $\sqrt{\frac{f_y / \gamma_{M0}}{\sigma_{com,Ed}}}$, où $\sigma_{com,Ed}$ est la contrainte maximale de compression de calcul exercée dans la paroi et tirée d'une analyse au premier ordre ou, si nécessaire, au second ordre.

Par conséquent, la nuance réduite sera calculée comme suit :

$$f_{y,red} = \frac{235 \cdot k^2 \cdot t_f^2}{b^2} \text{ avec } k = 66 \text{ pour les palplanches en Z et } k = 49 \text{ pour les palplanches en U}$$

3.1.2.1.1. Flexion [EC3-5 5.2.2.2 : (1) (2)]

En l'absence d'effort tranchant et d'effort normal, la valeur de calcul du moment de flexion M_{Ed} doit satisfaire :

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

Où :

M_{Ed} Moment de flexion de calcul issu d'un calcul structurel

$M_{c,Rd}$ Moment résistant de la section transversale

$M_{c,Rd}$ est déterminée à partir des expressions suivantes :

- Sections de classe 1 ou 2 : $M_{c,Rd} = \beta_B W_{pl} f_y / \gamma_{M0}$
 - Sections de classe 3 : $M_{c,Rd} = \beta_B W_{el} f_y / \gamma_{M0}$
 - Sections de classe 4 : limite d'élasticité réduite $f_{y,red}$
- $$f_{y,red} = \frac{235 \cdot k^2 \cdot t_f^2}{b^2} \text{ où } k=66 \text{ pour les palplanches en Z et } k=49 \text{ pour les palplanches en U selon EC3-5 Tableau 5.1.}$$

Où :

W_{el} Module de section élastique

W_{pl} Module de section plastique

γ_{M0} Facteur de sécurité partiel égal à 1,0 par défaut selon 5.1.1 (4)

β_B Facteur qui tient compte d'une éventuelle absence de transmission de la force de cisaillement dans les dispositifs de verrouillage et qui a les valeurs suivantes :

$\beta_B = 1.0$ pour les palplanches en Z

$\beta_B \leq 1.0$ pour les palplanches en U simples et doubles

Facteur d'utilisation : $U_f = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}}$

3.1.2.1.2. Flexion et cisaillement [EC3-5 5.2.2 : (3) (4) (5) (8) (9)]

La valeur nominale de l'effort tranchant V_{Ed} à chaque section transversale doit satisfaire :

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd}$$

Où :

V_{Ed} Cisaillement de conception issu d'un calcul structurel

$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$ Résistance au cisaillement plastique de l'âme

A_v Surface de cisaillement projetée de l'âme, agissant dans le même sens que V_{Ed}

Il faut vérifier :

- Si $V_{Ed} \leq 0.50 \cdot V_{pl,Rd}$, pas besoin de réduire la résistance au moment de calcul $M_{c,Rd}$
- Si $V_{Ed} > 0.50 \cdot V_{pl,Rd}$, la résistance au moment de calcul de la section transversale doit être réduite au moment résistant réduit en plastique permettant la force de cisaillement, est obtenue comme suit :

$$M_{V,Rd} = \frac{1}{b_d} \cdot \left[\beta_B W_{pl} b_d - \frac{\rho (A_v \cdot b_d)^2}{4(2 \cdot t_w) \sin \alpha} \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{avec} \quad M_{V,Rd} \leq M_{c,Rd}$$

Où $\rho = (2V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$

t_w Épaisseur de l'âme

α Inclinaison de l'âme

Facteur d'utilisation : $U_f = \frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}}$ si $V_{Ed} \leq 0.50 \cdot V_{pl,Rd}$

$$U_{fmax} = \max \left(\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}}, \frac{M_{Ed}}{M_{V,Rd}} \right) \quad \text{si } V_{Ed} > 0.50 \cdot V_{pl,Rd}$$

3.1.2.1.3. Voilement de l'âme [5.2.2 : (6) (7)]

Si $c/t_w > 72\varepsilon$, la résistance au cisaillement de l'âme de palplanches doit être vérifiée.

La résistance au cisaillement doit être obtenue à partir de l'expression suivante :

$$V_{b,Rd} = \frac{(h - t_f) t_w f_{bv}}{\gamma_{M0} b_s}$$

où f_{bv} est la résistance au cisaillement selon le tableau 6-1 de la norme EN 1993-1-3 pour une âme sans raidisseurs

au niveau du support et pour une élasticité relative de l'âme donnée par $\bar{\lambda} = 0.346 \frac{c}{t_w} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$ avec $f_{yb} = f_y$.

Facteur d'utilisation : $U_f = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}}$

Table 6.1: Shear buckling strength f_{bv}

Relative web slenderness	Web without stiffening at the support	Web with stiffening at the support ¹⁾
$\bar{\lambda}_w \leq 0,83$	$0,58 f_{yb}$	$0,58 f_{yb}$
$0,83 < \bar{\lambda}_w < 1,40$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_{w0}$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,40$	$0,67 f_{yb} / \bar{\lambda}_w^2$	$0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w$

¹⁾ Stiffening at the support, such as cleats, arranged to prevent distortion of the web and designed to resist the support reaction.

3.1.2.1.4. Flambement : flexion et effort normal [EC3-5 5.2.3 : (1) (2) (3) (4)]

Première vérification à faire :

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$$

Il n'est pas nécessaire de tenir compte du flambement des membres si :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0.04$$

N_{Ed} Valeur nominale de l'effort normal

N_{cr} Effort normal critique élastique, calculée selon l'expression suivante :

$$N_{cr} = EI\beta_D \pi^2 / l^2$$

où l est la longueur de flambement.

$$N_{Ed} \leq N_{cr}$$

Si le critère 2 n'est pas satisfait, la résistance au flambement doit être vérifiée comme suit pour les sections des classes 1, 2 et 3 :

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}} + 1,15 \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M1}}$$

$N_{pl,Rd}$ La résistance de conception plastique de la section transversale est égale à $\frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$

$M_{c,Rd}$ Résistance au moment de conception de la section transversale

N_{cr} Charge critique élastique

A Section transversale

γ_{M0} Facteur de sécurité partiel

γ_{M1} Facteur de sécurité partiel

χ Facteur de coefficient de flambement du 6.3.1.1.2 de la norme EN 1993-1-1-1, en utilisant la courbe "d" et une élancement non dimensionnelle donnée par :

$$\chi = \min \left\{ 1.0; \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \right\}$$

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}}$$

α Facteur d'imperfection égal à 0,76 (courbe "d")

Pour les sections de classe 4, la limite d'élasticité réduite est considérée et calculée comme suit :

$$f_{y,red} = \frac{235 \cdot k^2 \cdot t_{r,red}^2}{b^2}$$

$k = 66$ pour les palplanches en Z et $k = 49$ pour palplanches en U selon EC3-5 Tableau 5.1

Facteur d'utilisation :

$$\begin{aligned} \bullet \quad U_f &= \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} & \text{si } N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \text{ et } \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} \leq 0.04 \\ \bullet \quad U_f &= \max \left(\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}, \frac{\frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}} + 1,15 \frac{M_{Ed}}{\chi M_{c,Rd}}}{\gamma_{M0}/\gamma_{M1}} \right) & \text{si } N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} \text{ et } \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} > 0.04 \end{aligned}$$

3.1.2.1.5. Moment fléchissant et effort normal [EC3-5 5.2.3 : (9) (10) (11)]

Pour les éléments soumis à un effort normal, la condition à respecter est :

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd}$$

$$N_{pl,Rd} \text{ Effort normal plastique de la section transversale égale à } \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

Les effets de l'effort normal sur le moment plastique résistant de la section transversale des palplanches des classes 1, 2 et 3 peuvent être négligés si :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq k_1$$

- Pour les profilés en Z de classe 1 et 2 : $k_1 = 0.10$
- Pour les profilés en U de classe 1 et 2 : $k_1 = 0.25$
- Pour les profilés de classe 3 : $k_1 = 0.10$

Si l'effort normal dépasse ces valeurs limites, le critère suivant doit être respecté en l'absence d'effort tranchant :

$$M_{N,Rd} = k_2 M_{c,Rd} \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \right) \text{ à part } M_{N,Rd} \leq M_{c,Rd}$$

- Pour les sections de classe 1 et 2 :
 - Pour profilés en Z : $k_2 = 1.00$
 - Pour profilés en U : $k_2 = 1.33$
- Pour les sections de classe 3 : $k_2 = 1.00$
- Pour les sections de classe 4 : limite d'élasticité réduite $f_{y,red}$

$$f_{y,red} = \frac{235 \cdot k^2 \cdot t_f^2}{b^2} \text{ où } k=66 \text{ pour les palplanches en Z et } k=49 \text{ pour les palplanches en U selon EC3-5 Tableau 5.1}$$

Où $M_{N,Rd}$ est le moment résistant réduit

$$\text{Facteur d'utilisation : } U_f = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$$

3.1.2.1.6. Flexion, cisaillement et compression [EC3-5 5.2.3 : (12)]

Si l'effort normal dépasse la valeur limite, il faut tenir compte de l'interaction entre la flexion, l'effort normal et le cisaillement comme suit :

- a) Si V_{Ed} ne dépasse pas 50% de l'effort tranchant résistant plastique $V_{pl,Rd}$ aucune réduction n'est nécessaire dans la combinaison du moment et de la force axiale.
- b) Lorsque V_{Ed} dépasse 50 % de l'effort tranchant résistant plastique $V_{pl,Rd}$ de la section transversale, l'interaction entre le moment et l'effort normal doit être calculée en utilisant une limite d'élasticité réduite $f_{y,red} = (1 - \rho) f_y$ pour la section de cisaillement, où $\rho = (2V_{Ed} / V_{pl,Rd} - 1)^2$

$$M_{Ed} \leq M_{N,Rd,red}(f_y = f_{y,red}) = k_2 M_{c,Rd,red}(f_y = f_{y,red}) \left(1 - \frac{N_{Ed}(f_y = f_{y,red})}{N_{pl,Rd,red}(f_y = f_{y,red})} \right)$$

3.1.2.2. Effets locaux de la pression d'eau [EC3-5 5.2.4].

Dans le cas d'une pression différentielle d'eau supérieure à 5 m pour les palplanches en Z et à 20 m pour les palplanches en U, les effets de la pression de l'eau sur la flexion transversale doivent être pris en compte pour déterminer la résistance globale à la flexion.

$$f_{y,red} = \rho_P f_y$$

Avec ρ_P tiré du tableau suivant :

Tableau 5.2 — Coefficient réducteur ρ_P pour les palplanches en Z en raison de la pression hydrostatique différentielle

w	$(b/t_{\min}) \varepsilon = 20,0$	$(b/t_{\min}) \varepsilon = 30,0$	$(b/t_{\min}) \varepsilon = 40,0$	$(b/t_{\min}) \varepsilon = 50,0$
5,0	1,00	1,00	1,00	1,00
10,0	0,99	0,97	0,95	0,87
15,0	0,98	0,96	0,92	0,76
20,0	0,98	0,94	0,88	0,60

Légende :

b est la largeur de l'aile, mais il convient de ne pas prendre la valeur de b inférieure à $c/\sqrt{2}$, où c représente la hauteur inclinée de l'âme

t_{\min} est la plus petite des deux valeurs t_f ou t_w

t_f est l'épaisseur d'aile

t_w est l'épaisseur d'âme

w est la pression hydrostatique différentielle, en m

$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$; f_y est la limite d'élasticité en N/mm².

Notes :

1) $\rho_P = 1,0$ peut être utilisée si les serrures de palplanches en Z sont soudées.

2) Les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

$\rho_P = 1.0$ pour les palplanches en Z soudées.

Étant donné que l'EC3-5 ne fournit pas de valeurs pour ρ_P pour les palplanches en U, Durability ne permet pas de considérer les palplanches U avec $w > 20$ m, un message d'alerte est affiché dans ce cas.

3.1.2.3. Taux de corrosion

La perte d'épaisseur (mm) due à la corrosion des palplanches est indiquée dans les tableaux suivants.

- EC3-5 Tableaux 4.1 et 4.2

Tableau 4.1 — Valeurs recommandées pour perte d'épaisseur [mm] due à la corrosion dans le cas des pieux et palplanches dans le sol, avec ou sans nappe phréatique

Durée d'utilisation de projet	5 ans	25 ans	50 ans	75 ans	100 ans
Sols naturels intacts (sable, limon, argile, schiste,)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Sols naturels pollués et sites industriels	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Sols naturels agressifs (marais, marécages, tourbe...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Remblais non compactés et non agressifs (argile, schiste, sable, limon,)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Remblais non compactés et agressifs (cendres, scories....)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75
Notes :					
1) Les taux de corrosion dans les remblais compactés sont inférieurs à ceux observés dans les remblais non compactés. Dans les remblais compactés, il convient de diviser par deux les chiffres du tableau.					
2) Les valeurs données pour 5 ans et 25 ans sont basées sur des mesures, tandis que les autres valeurs sont extrapolées.					

Tableau 4.2 — Valeurs recommandées pour perte d'épaisseur [mm] due à la corrosion dans le cas des pieux et palplanches dans l'eau douce ou l'eau de mer

Durée d'utilisation de projet	5 ans	25 ans	50 ans	75 ans	100 ans
Eau douce ordinaire (rivière, canal navigable,), dans la zone d'attaque élevée (ligne d'eau)	0,15	0,55	0,90	1,15	1,40
Eau douce très polluée (eaux usées, effluents industriels,), dans la zone d'attaque élevée (ligne d'eau)	0,30	1,30	2,30	3,30	4,30
Eau de mer sous climat tempéré, dans la zone d'attaque élevée (basses eaux et zone d'embruns)	0,55	1,90	3,75	5,60	7,50
Eau de mer sous climat tempéré, dans la zone d'immersion permanente ou dans la zone de marnage	0,25	0,90	1,75	2,60	3,50
Notes :					
1) Le taux de corrosion le plus élevé est habituellement observé dans la zone d'embruns ou dans la zone des basses eaux. Cependant, dans la plupart des cas, le moment fléchissant le plus élevé se situe dans la zone d'immersion permanente, voir Figure 4.1.					
2) Les valeurs données pour 5 ans et 25 ans sont basées sur des mesures, tandis que les autres valeurs sont extrapolées.					

- EC3-5 NAD UK (2010) Tableaux 4.1 et 4.2

Table 4.1 – Loss of thickness (mm) per face due to corrosion of bearing piles and sheet piles in soils, with or without groundwater						
Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years	125 years
Undisturbed natural soils (sand, silt, clay, schist...)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50
Polluted natural soils and industrial sites	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00	3,75
Aggressive natural soils (swamp, marsh, peat...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25	4,00
Non-compacted and non-aggressive fills (clay, schist, sand, silt...)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20	2,70
Non-compacted and aggressive fills (ashes, slag...)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75	7,00

NOTE 1 Corrosion rates in compacted fills are lower than those in non-compacted ones. In compacted fills the figures in the table should be divided by two.

NOTE 2 The values given for 5 years and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.

Table 4.2 – Loss of thickness (mm) per face due to corrosion of bearing piles and sheet piles in fresh water or seawater						
Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years	125 years
Common fresh water (river, ship canal) in the zone of high attack (water line)	0,15	0,55	0,90	1,15	1,40	1,65
Brackish or very polluted fresh water (sewage, industrial effluent...) in the zone of high attack (water line)	0,30	1,30	2,30	3,30	4,30	5,30
Sea water in temperate climates in the high tide splash zone or in the low water zone (see Note 3)	0,55	1,90	3,75	5,60	7,50	Protection system required
Sea water in temperate climates in the zone of permanent immersion or in the intertidal zone	0,25	0,90	1,75	2,60	3,50	4,40

NOTE 1 The highest corrosion rate is usually found in the splash zone or at the low water level in tidal waters. However, in most cases, the highest bending stresses occur in the permanent immersion zone (see BS EN 1993-5:2007, Figure 4-1).

NOTE 2 The values given for 5 years and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.

NOTE 3 The values in this table for corrosion loss in the low water zone apply to situations where the effects of Accelerated Low Water Corrosion (ALWC) are not a design requirement. ALWC is a particularly aggressive form of corrosion associated with bacterial activity at low water level in marine conditions. Attack is random both within and between locations and typically at or just above the lowest astronomical tide (LAT) level. Due to the high rate of steel loss when ALWC occurs, the life expectancy of a pile will be short and it is recommended that a protection system is used to control the situation rather than reliance on sacrificial steel. Suitable options may be painting or cementitious coating but it is also recommended that consideration is given to installation of a cathodic protection system either immediately or at a later date if necessary. Whilst this phenomenon might not affect every location, if ignored, this rapid form of attack can result in costly repair and maintenance works at an unexpectedly early stage in the life of a structure.

- Personnalisé : défini par l'utilisateur.

4. Vérification du système d'ancrage

4.1. Classement des cas

4.1.1. Ancrage centré : cas de l'Eurocode

Il existe quatre cas différents sont considérés :

- Cas 7.4 Ancrage avec lierne derrière le rideau de palplanches
- Cas 7.5a Ancrage sans lierne située dans en creux d'onde de palplanches
- Cas 7.5b Ancrage sans lierne situé en sommet des palplanches
- Cas 7.6 Ancrage avec lierne à l'avant du rideau de palplanches

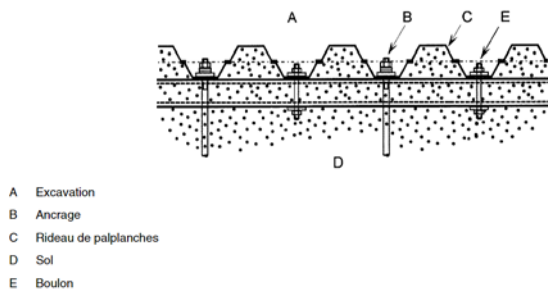


Figure 7.4 — Exemple d'ancrage avec lierne à l'arrière du rideau de palplanches

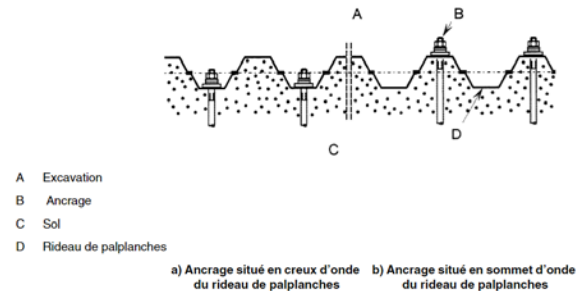


Figure 7.5 — Exemples d'ancrage sans lierne

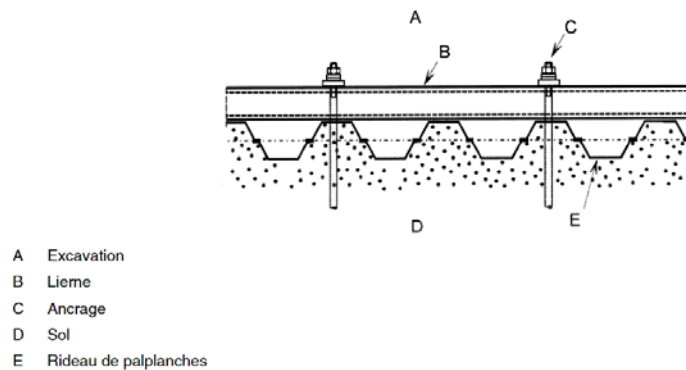


Figure 7.6 — Exemple de lierne devant le rideau de palplanches

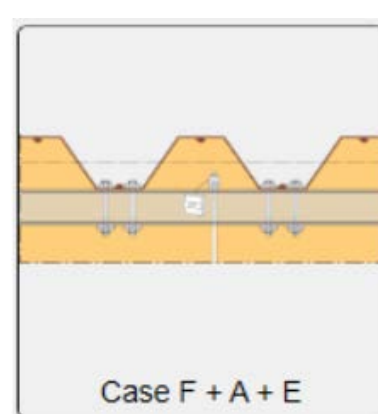
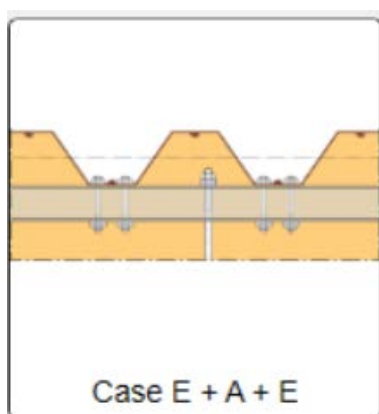
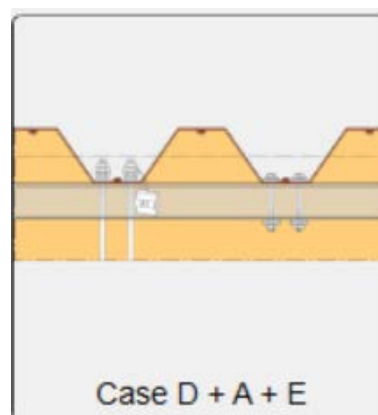
Cas	Vérifications requises (EC3-5)
7.4	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions de la plaque • Résistance au cisaillement de l'aile EC3-5 §7.4.3 (3a) • Résistance à la traction de l'âme EC3-5 §7.4.3 (3b)
7.5a	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions de la plaque • Résistance au cisaillement de l'aile EC3-5 §7.4.3 (3a) • Résistance à la traction de l'âme EC3-5 §7.4.3 (3b)
7.5b	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions de la plaque • Résistance au cisaillement à la force transversale locale EC3-5 §7.4.3 (4)
7.6	<ul style="list-style-type: none"> • Dimensions de la plaque • Résistance au cisaillement à la force transversale locale EC3-5 §7.4.3 (4)

4.1.2. Ancrage double centré

Selon les conditions spécifiques fournies par ArcelorMittal (cf. "AZ-Stahlspundwände Exzentrische Verankerung"), les palplanches AZ doivent être particulièrement vérifiées quand elles sont soumises à un double effort des tirants.

Il y a quatre cas :

- **Case C+A+E:** avec lierne, 2 tirants/boulons et sans rondelle à bossages
 - Le tirant d'ancrage est vérifié à partir de la Table 6.13 (cf. 4.5.1.2.2.2)
 - Les boulons sont vérifiés à partir de la Table 6.3 (cf. 4.5.1.2.2.2)
- **Case D+A+E:** avec lierne, 2 tirants/boulons et avec rondelle à bossage
 - Le tirant d'ancrage est vérifié à partir de la Table 6.14 (cf. 4.5.1.2.2.2)
 - Les boulons sont vérifiés à partir de la Table 6.3 (cf. 4.5.1.2.2.2)
- **Case E+A+E:** avec lierne, 1 ancrage sur la lierne, 2 boulons et sans rondelle à bossages
 - Le tirant d'ancrage est vérifié à partir du cas E de la brochure excentrique (cf. 4.5.2)
 - Les boulons sont vérifiés à partir de la Table 6.3 (cf. 4.5.1.2.2.2)
- **Case F+A+E:** avec lierne, 1 ancrage sur la lierne, 2 boulons et une rondelle à bossages
 - Le tirant d'ancrage est vérifié à partir du cas F de la brochure excentrique (cf. 4.5.2)
 - Les boulons sont vérifiés à partir de la Table 6.3 (cf. 4.5.1.2.2.2)



4.2. Ancrage

4.2.1. ASD

La charge par ancrage est calculée à partir de l'expression suivante :

$$F_{\text{ancrage,ELU}} = F_{\text{Ed,ELU}} S_p = F_{\text{Ed,ULS}} n b_{\text{sys}}$$

Où :

$F_{\text{ancrage,ELU}}$	Réaction axiale de l'ancrage à l'ELU par ancrage (kN ou kips)
$F_{\text{Ed,ELU}}$	Réaction axiale de l'ancrage à l'ELU par unité de longueur (kN/m ou kips/ft)
S_p	Espacement des ancrages (m ou ft)
n	Nombre de palplanches entre les ancrages (sans unité)
b_{sys}	Largeur du système de palplanches (m ou ft)

La méthode de calcul dépend du type d'ancrage :

- Si l'ancrage choisi est de type ASDO

Contraintes admissibles :

$$\sigma_{\text{admissible,pleine}} = \frac{k f_y}{S_{f,\text{pleine}}}$$

$$\sigma_{\text{admissible,filetée}} = \frac{k f_y}{S_{f,\text{filetage}}}$$

Charges admissibles :

$$F_{\text{admissible,shaft}} = \sigma_{\text{admissible,pleine}} A_{g,\text{red}}$$

$$F_{\text{admissible,filetage}} = \sigma_{\text{admissible,filetage}} A_{s,\text{red}}$$

$$F_{\text{ancrage,ULS}} \leq \min(F_{\text{admissible,pleine}}, F_{\text{admissible,filetage}})$$

Où :

- k est un facteur égal à 1,15 pour les conditions sismiques, sinon il est égal à 1,0.
- $A_{g,\text{red}}$ est l'aire de la section de la partie courante de l'ancrage
- $A_{s,\text{red}}$ est l'aire de la section de la partie filetée de l'ancrage

- Si l'ancrage choisi est de type AMTB :

Contrainte admissible :

$$\sigma_{\text{admissible,filetage}} = \frac{k f_y}{S_{f,\text{filetage}}}$$

Charge admissible :

$$F_{\text{admissible,filetage}} = \sigma_{\text{admissible,filetage}} A_{s,\text{red}}$$

$$F_{\text{ancrage,ELS}} \leq F_{\text{admissible,filetage}}$$

Où k est un facteur égal à 1,15 pour les conditions sismiques, sinon il est égal à 1,0.

4.2.2. Eurocode

4.2.2.1. Vérification de l'état limite ultime (ELU)

Selon EC3-5 §7.2.3, la résistance à la traction $F_{t,Rd}$ des ancrages doit être considérée comme la moins élevée des valeurs suivantes : $F_{tt,Rd}$ et $F_{tg,Rd}$.

$$F_{Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Rd} = \min(F_{tt,Rd}, F_{tg,Rd})$$

$$F_{tt,Rd} = k_t \frac{f_{ua} A_s}{\gamma_{M2}} \quad F_{tg,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{M0}}$$

Où :

A_s	Zone de contrainte de traction au niveau du filetage
f_{ua}	Limite de résistance à la traction
γ_{M2}	Facteur partiel de sécurité
k_t	Facteur de réduction prenant la concomitance de la flexion et de la traction dans la partie filetée
A_g	Surface brute de la section de la tige d'ancrage

4.2.2.2. Vérification de l'état limite de service (ELS)

Conformément au paragraphe 7.2.4 de l'EC3-5, pour les vérifications de l'état limite de service, la section transversale de la tige doit être conçue de manière à éviter les déformations dues à la flexion de la tige d'ancrage sous la combinaison de charges caractéristique.

$$F_{Ed} \leq F_{t,ser}$$

$$F_{t,ser} = \frac{A_s f_y}{\gamma_{Mt,ser}}$$

Où :

A_s	Section de la partie filetée ou surface brute de la section transversale, la plus petite des deux étant retenue.
F_t	Force axiale de l'ancrage sous charge caractéristique
$\gamma_{Mt,ser}$	Facteur partiel de sécurité selon 7.1 (4)

4.3. Boulon

4.3.1. ASD

La charge par boulon est calculée à partir de l'expression suivante :

$$F_{boulon,ULS} = F_{Ed,ULS} b_{sys}$$

Où :

$F_{boulon,ELU}$	Réaction axiale du boulon à l'ELU par boulon (kN ou kips)
$F_{Ed,ELU}$	Réaction axiale du boulon à l'ELU par unité de longueur (kN/m ou kips/ft)
b_{sys}	Largeur du système de palplanches (m ou ft)

Contrainte admissible :

$$\sigma_{admissible,filétée} = \frac{k f_y}{S_{f,filétée}} = \frac{k f_y}{1.67}$$

Charge admissible :

$$F_{admissible,filétée} = \sigma_{admissible,filétée} A_{net}$$

$$F_{boulon,ULS} \leq F_{admissible,filétée}$$

Où :

- k est un facteur égal à 1,15 en conditions sismiques, sinon il est égal à 1,0
- A_{net} est l'aire de la section de la partie courante du boulon

4.3.2. Eurocode

4.3.2.1. Vérification de l'état limite ultime (ELU)

Selon EC3-5 §7.2.3, la résistance à la traction $F_{t,Rd}$ des boulons doit être considérée comme la moins élevée des valeurs suivantes : $F_{tt,Rd}$ et $F_{tg,Rd}$.

$$F_{Ed} \leq F_{t,Rd}$$

$$F_{t,Rd} = \min(F_{tt,Rd}, F_{tg,Rd})$$

$$F_{tt,Rd} = k_t \frac{f_{ua} A_s}{\gamma_{M2}} \quad F_{tg,Rd} = \frac{A_g f_y}{\gamma_{M0}}$$

Où :

A_s	Section de la partie filetée
f_{ua}	Résistance à la traction du boulon en acier
γ_{M2}	Facteur partiel de sécurité selon le point 7.1 (4)
k_t	Facteur de réduction prenant la concomitance de la flexion et de la traction dans la partie filetée
A_g	Section brute de la section transversale du boulon

4.3.2.2. Vérification de l'état limite de service (ELS)

Selon EC3-5 §7.2.4, pour les vérifications de l'état limite de service, la section transversale du boulon doit être conçue de manière à éviter les déformations dues à la flexion du boulon sous la combinaison de charges caractéristique.

$$F_{Ed} \leq F_{t,ser}$$

$$F_{t,ser} \leq \frac{A_s f_y}{\gamma_{Mt,ser}}$$

Où :

A_s	Section de la partie filetée ou de la surface brute de la section transversale
F_t	Force axiale du boulon sous charge caractéristique
$\gamma_{Mt,ser}$	Facteur partiel de sécurité

4.4. Lierne

Il est important de noter que l'on assimile la lierne à une poutre continue.

Moment de flexion appliqué est calculé à partir de l'expression suivante :

$$M_{appliqué} = R * \frac{s^2}{10}$$

Où :

- R : réaction de l'ancrage à l'ELU par unité de longueur (KN/m ou kips/ft)
- s : espacement des ancrages (m ou ft)

Stress admissible :

$$\sigma_{admissible} = \frac{k f_y}{S_{f,lierne}}$$

$$W_{el,eq} = n_{lierne} W_{el}$$

$$M_{admissible} = W_{el,eq} \sigma_{admissible}$$

$$M_{appliqué} \leq M_{admissible}$$

Où :

$\sigma_{admissible}$	Contrainte admissible (MN/m ² ou ksi)
k	Facteur égal à 1,30 pour les conditions sismiques, sinon il est égal à 1,0
$n_{liernes}$	Le nombre de profilés de la lierne (égal à 2 par défaut)
f_y	Nuance d'acier (MN/m ² ou ksi)
$S_{f,lierne}$	Facteur de sécurité sur la nuance d'acier (pas d'unité)
$W_{el,eq}$	Module d'élasticité de section équivalent pour 2 profilés
$M_{admissible}$	Moment de flexion admissible (kNm ou kips*ft)

4.5. Plaques

4.5.1. Ancrage centré

La méthode de calcul proposée pour l'ASD et l'Eurocode dépend du cas défini et du type de palplanche considéré (palplanches en U ou en Z).

Il est important de noter que Durability est capable de suggérer les dimensions des plaques (b_a , h_a , t_a) afin de satisfaire toutes les conditions requises.

4.5.1.1. Vérification structurelle

Pour chaque cas Eurocode (sauf lorsque nous avons un boulon), nous avons le choix entre une plaque standard ou une plaque avec une rondelle à bossages.

Pour le cas 7.4 (EC3-5), l'utilisateur doit choisir entre un boulon ou une tirant (ancrage)

- Pour plaque standard : $d' = \frac{1}{2} (d + d_{SG})$
- Pour plaque + rondelle à bossages : $d' = \frac{1}{2} (d_{PS} + d_{SG})$

Où :

- d' Diamètre de répartition de la charge
- d Diamètre du trou dans la plaque d'appui
- d_{sp} Diamètre du trou dans la rondelle à bossages
- d_{sg} Distance entre les plats de l'écrou

4.5.1.2. Calcul des charges

En présence d'une lierne (cas 7.4 et 7.6), il faut tenir compte de la répartition de la charge :

$$F = F_P + F_W \quad \text{Composante horizontale de la réaction d'ancrage (valeur ELU)}$$

$$F_P = \frac{F}{n} \quad \text{Charge à reprendre par la palplanche}$$

$$F_W = F \frac{n-1}{n} \quad \text{Charge à reprendre par la lierne}$$

où "n" nombre de systèmes entre 2 ancrages

- Palplanches Z → Nombre de palplanches doubles
- Palplanches U → Nombre de palplanches simples

4.5.1.2.1. Palplanches en U

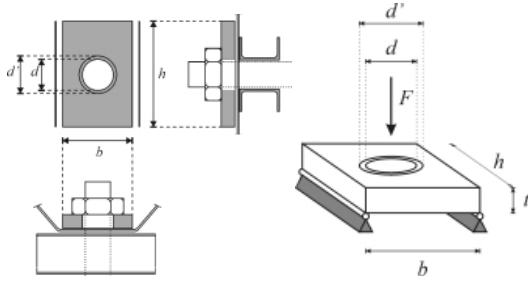
Dans le cas des palplanches en U, toutes les plaques doivent satisfaire aux conditions géométriques suivantes :

$$b_a \geq 0.8b_f$$

$$h_a \leq 1.5b_a$$

$$t_a \geq \max\left[\frac{d_A}{3}; 2t_f\right]$$

• Cas 7.4 (Boulon) - Plaque standard

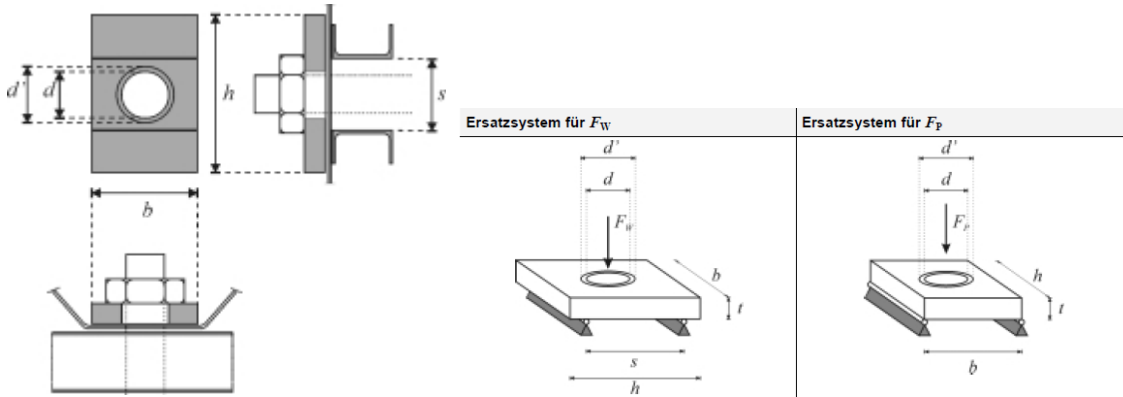


$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3}[-(b_a - d') + \sqrt{(b_a - d')^2 + 3t_a^2}](h_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}(d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}(d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} < F_{Rd,l,2} = \frac{1}{\sqrt{3}}\pi d_{SG} t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

• Cas 7.4 (Ancrage) - Plaque standard



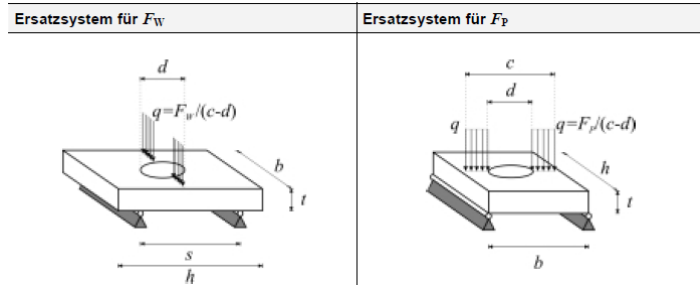
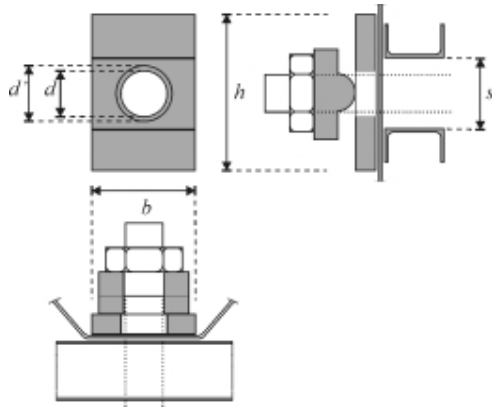
$$F_{P,Ed} \leq F_{P,M,V,Rd} = \frac{2}{3}[-(b_a - d') + \sqrt{(b_a - d')^2 + 3t_a^2}](h_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{W,Ed} \leq F_{W,M,V,Rd} = \frac{2}{3}[-(s - d') + \sqrt{(s - d')^2 + 3t_a^2}](b_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}(d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Rd,l,1} \leq F_{Rd,l,2} = \frac{1}{\sqrt{3}}\pi d_{SG} t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Cas 7.4 (Ancrage) - Rondelle à bossages

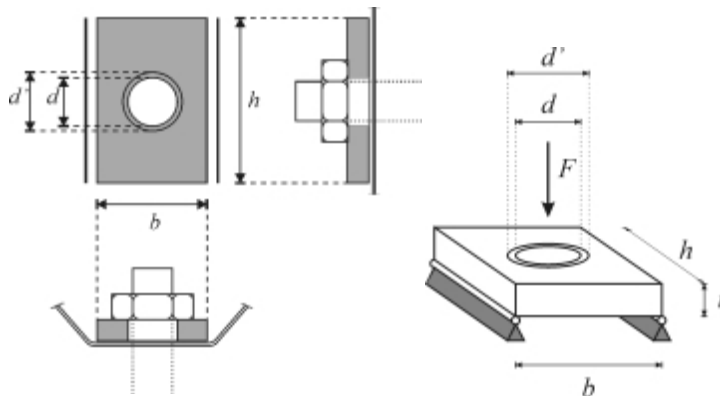


$$F_{P,Ed} \leq F_{P,M,Rd} = 2t_a^2 \frac{h_a - d}{2b_a - c - d} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{P,Ed} \leq F_{P,V,Rd} = \frac{2}{\sqrt{3}} h_a t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{W,Ed} \leq F_{W,M,V,Rd} = \frac{2}{3} [-s + \sqrt{s^2 + 3t_a^2}] (b_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

• Cas 7.5 (Ancrage) - Plaque standard



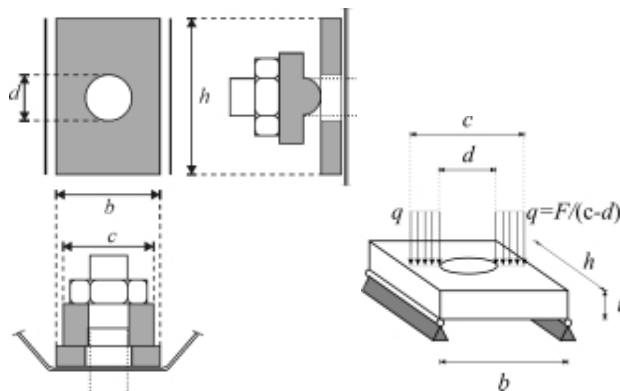
$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3} [-(b_a - d') + \sqrt{(b_a - d')^2 + 3t_a^2}] (h_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} < F_{Rd,l,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d_{SG} t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Dans le cas 7.5b, $b_a \geq \max(b, b + 2r_0)$ pour assurer que la largeur de la plaque est suffisante pour assurer une bonne répartition des efforts sur les âmes de la palplanche.

• Cas 7.5 (Ancrage) - Rondelle à bossages



Veuillez noter que la nuance de la plaque doit être au moins égale à la nuance la rondelle à bossages.

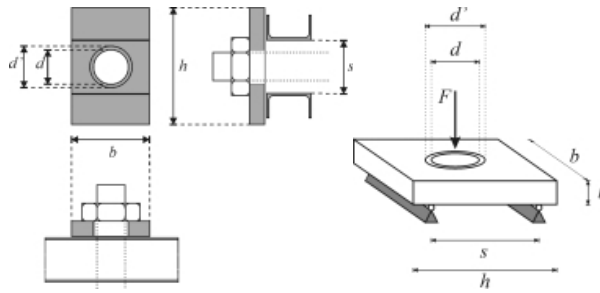
$$F_{Ed} \leq F_{M,Rd} = 2t_a^2 \frac{h_a - d}{2b_a - c - d} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{V,Rd} = \frac{2}{\sqrt{3}} h_a t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$c = b_{SP}$$

Dans le cas 7.5b, $b_a \geq \max(b, b + 2r_0)$ pour assurer que la largeur de la plaque est suffisante pour assurer une bonne répartition des efforts sur les âmes de la palplanche.

- Cas 7.6 - Plaque standard



$$b_a \leq 1.5h_a$$

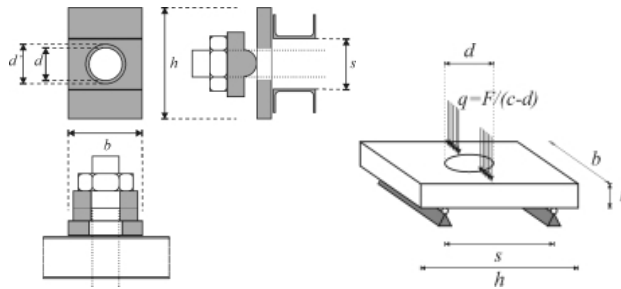
$$t_a \geq \frac{d_A}{3}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3}[-(s-d') + \sqrt{(s-d')^2 + 3t_a^2}](b_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}(d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Rd,l,1} \leq F_{Rd,l,2} = \frac{1}{\sqrt{3}}\pi d_{SG} t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Cas 7.6 - Rondelle à bossages



$$b_a \leq 1.5h_a$$

$$t_a \geq \frac{d_A}{3}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3}[-s + \sqrt{s^2 + 3t_a^2}](b_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

4.5.1.2.2. Palplanches Z

4.5.1.2.2.1. Ancrage simple

Dans le cas des palplanches en Z, toutes les plaques doivent satisfaire aux conditions géométriques suivantes :

$$b_a \geq 0.8b_f$$

$$h_a \leq 1.5b_a$$

$$t_a \geq \max\left[\frac{d_A}{3}; 2t_f\right]$$

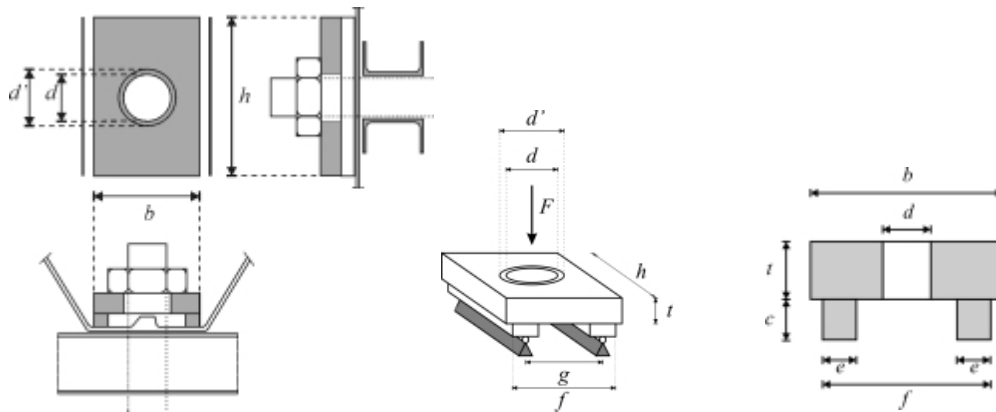
$$e = \begin{cases} 30\text{mm} & \text{pour ASDO} \\ 40\text{mm} & \text{pour AMTB} \end{cases}$$

$$c = \begin{cases} 30\text{mm} & \text{pour ASDO} \\ 50\text{mm} & \text{pour AMTB} \end{cases}$$

$$f = b$$

$$g = f - e$$

• Cas 7.4 (Boulon)

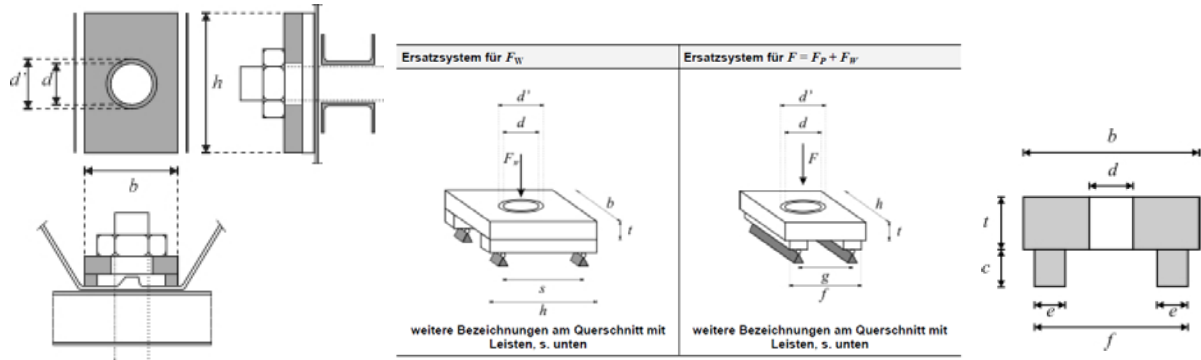


$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3} [-(g - d') + \sqrt{(g - d')^2 + 3t_a^2}] (h_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Rd,l,1} \leq F_{Rd,l,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d_{SG} t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Cas 7.4 (Ancrage) - Plaque standard



$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3} [-(g-d') + \sqrt{(g-d')^2 + 3t_a^2}] (h_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Rd,l,1} \leq F_{Rd,l,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d_{SG} t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

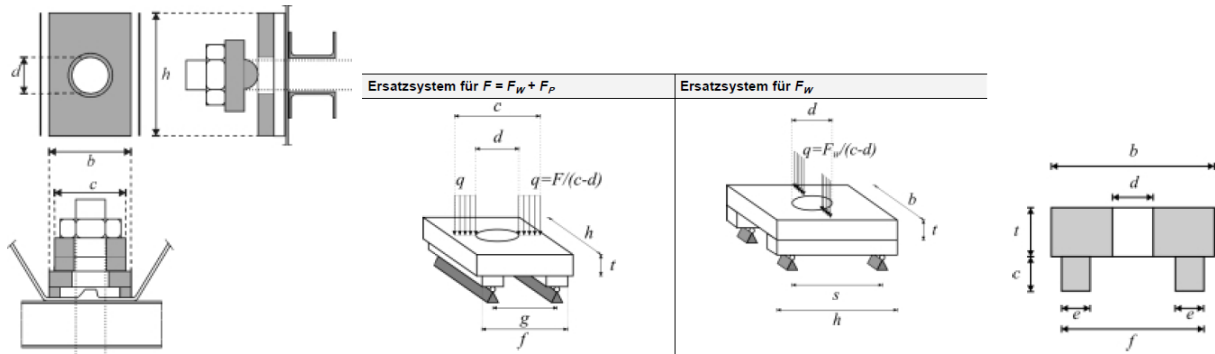
$$M_{Ed} = \frac{1}{4} F_{W,Ed} (s - d')$$

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} = W_{pl,Rd} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \left[\frac{1}{4} (b_a - d) t_a^2 + c e \left(t_a - \frac{c e}{b_a - d} + c \right) \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} F_{W,Ed}$$

$$V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,Rd} = \frac{A_v}{2\sqrt{3}} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = [(b_a - d) t_a + 2 e c] \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

• Cas 7.4 (Ancrage) - Rondelle à bossages



$$c = b_{SP}$$

- Si $[c \leq g]$ ou $c > g$ et $g - d \geq \sqrt{2}(c - g)$:

$$F_{Ed} \leq F_{M,Rd} = 2t_a^2 \frac{h_a - d}{2g - c - d} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{V,Rd} = \frac{2}{\sqrt{3}} h_a t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Si $[c > g$ et $g - d < \sqrt{2}(c - g)$:

$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{1}{3} \frac{(c - g)^2}{c - d} \left(-1 + \sqrt{1 + 12t_a^2 \frac{(c - d)^2}{(c - g)^4}} \right) \frac{h_a f_y}{\gamma_{M0}}$$

Pour tous les cas :

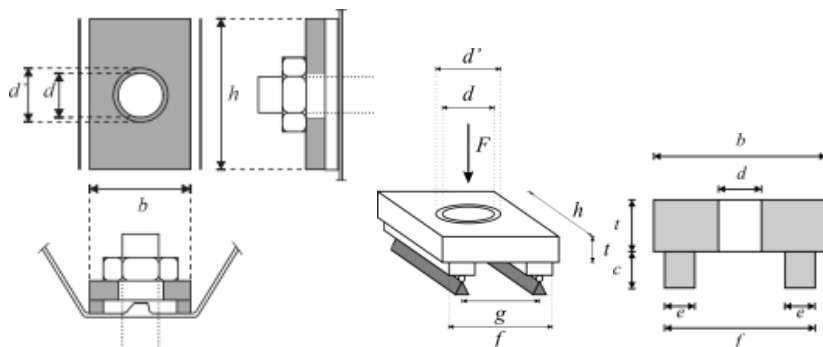
$$M_{Ed} = \frac{1}{4} F_{W,Ed} S$$

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} = W_{pl,Rd} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \left[\frac{1}{4} (b_a - d) t_a^2 + c e \left(t_a - \frac{c e}{b_a - d} + c \right) \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} F_{W,Ed}$$

$$V_{Ed} \leq 0.5 V_{pl,Rd} = \frac{A_v}{2\sqrt{3}} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = [(b_a - d) t_a + 2ec] \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Cas 7.5 (Ancrage) - Plaque standard



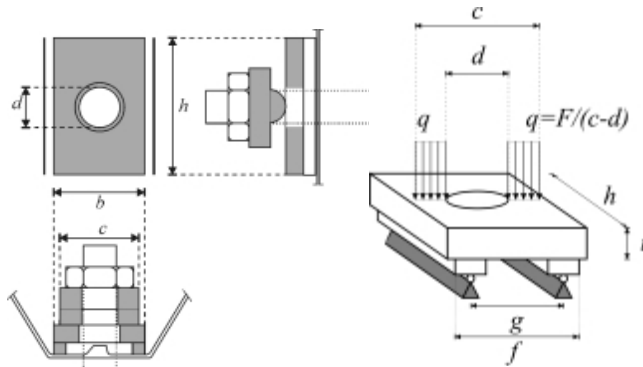
$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3} [-(g - d') + \sqrt{(g - d')^2 + 3t_a^2}] (h_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Rd,l,1} \leq F_{Rd,l,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d_{SG} t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Dans le cas 7.5b, $b_a \geq \max(b, b + 2r_0)$ pour assurer que la largeur de la plaque est suffisante pour assurer une bonne répartition des efforts sur les âmes de la palplanche.

- **Cas 7.5 (Ancrage) - Rondelle à bossages**



- Si $[c \leq g]$ ou $c > g$ et $g - d \geq \sqrt{2}(c - g)$:

$$F_{Ed} \leq F_{M,Rd} = 2t_a^2 \frac{h_a - d}{2g - c - d} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

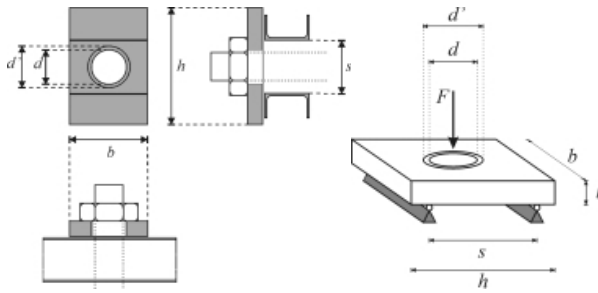
$$F_{Ed} \leq F_{V,Rd} = \frac{2}{\sqrt{3}} h_a t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Si $c > g$ et $g - d < \sqrt{2}(c - g)$

$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{1}{3} \frac{(c - g)^2}{c - d} \left(-1 + \sqrt{1 + 12t_a^2 \frac{(c - d)^2}{(c - g)^4}} \right) \frac{h_a f_y}{\gamma_{M0}}$$

Dans le cas 7.5b, $b_a \geq \max(b, b + 2r_0)$ pour assurer que la largeur de la plaque est suffisante pour assurer une bonne répartition des efforts sur les âmes de la palplanche.

- Cas 7.6 - Plaque standard



$$b_a \leq 1.5h_a$$

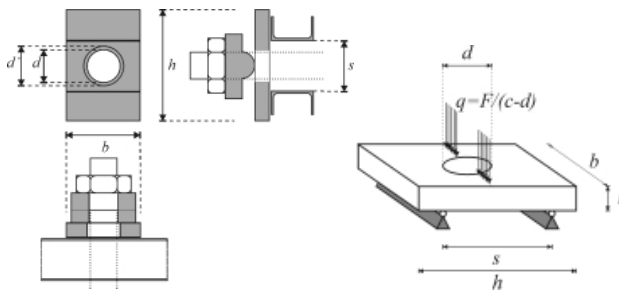
$$t_a \geq \frac{d_A}{3}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3} [- (s - d') + \sqrt{(s - d')^2 + 3t_a^2}] (b_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Rd,l,1} \leq F_{Rd,l,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d_{SG} t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

- Cas 7.6 - Rondelle à bossages



$$b_a \leq 1.5h_a$$

$$t_a \geq \frac{d_A}{3}$$

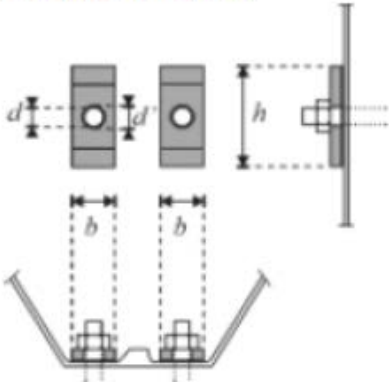
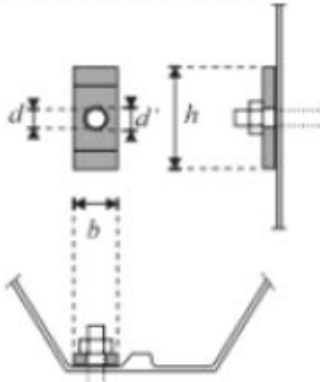
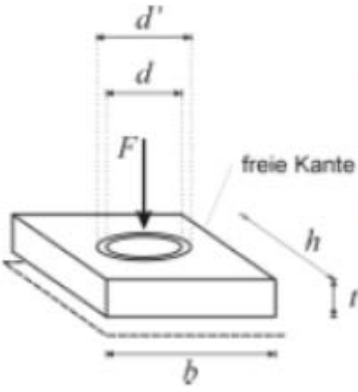
$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3} [-s + \sqrt{s^2 + 3t_a^2}] (b_a - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

4.5.1.2.2.2. Double centric anchor

Plaque courante :

- "Table 6-3" (sans lierne)

Tabelle 6-3: Ankerplatten bei doppelt und exzentrisch verankerten Z-Bohlen ohne Gurtung und vordere Bolzenplatten

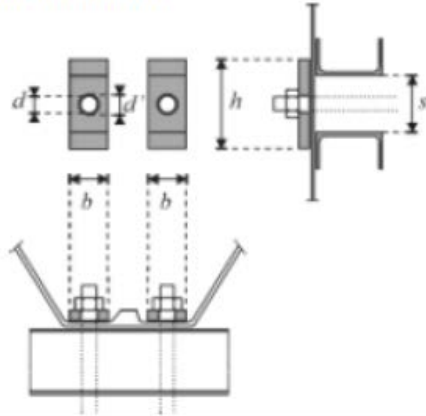
Nachweise von Ankerplatten bei doppelt und exzentrisch verankerten Z-Bohlen ohne Gurtung (Typ 12)	
<p>AdZoG - Ankerplatten für doppelt verankerte Z-Bohlen ohne Gurtung</p> <p>BdZmG - vordere Bolzenplatten für doppelt verankerte Z-Bohlen mit Gurtung</p> 	<p>AeZoG - Ankerplatten für exzentrisch verankerte Z-Bohlen</p> <p>BeZmG - vordere Bolzenplatten für exzentrisch verankerte Z-Bohlen mit Gurtung</p> 
Ersatzsystem	Nachweise
	<p>M-V-Interaktion:</p> $F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{4}{3} \left(-(h - d') + \sqrt{(h - d')^2 + 3t^2} \right) (b - d) \frac{f_y}{\gamma_M}$ <p>Lokale Lasteinleitung:</p> $F_{Ed} \leq F_{Rd,L} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_M} < \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d t \frac{f_y}{\gamma_M}$ <p>Weitere Anforderungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Ankerplattenbreite muss mind. 80% der Flanschbreite betragen (s. EC 3 Teil 5) bei exzentrischer Lasteinleitung mindestens 90 % - $h \leq 2.5 b$ - $t \geq 2.0 t_f$ und $t \geq d_A / 3$

- "Table 6-13" (avec lierne)

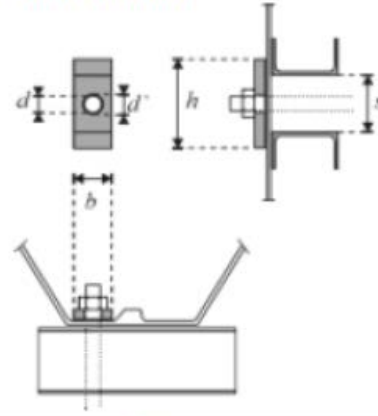
Tabelle 6-13: Ankerplatten bei doppelt und exzentrisch verankerten Z-Bohlen mit Gurtung

Nachweise von Ankerplatten bei doppelt und exzentrisch verankerten Z-Bohlen mit Gurtung (Typ 12 und Typ 2)

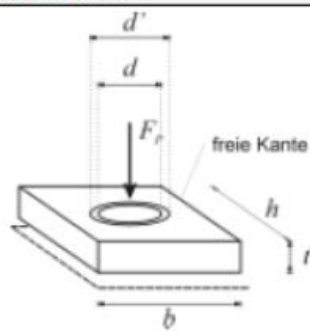
AdZmG – Ankerplatten für doppelt verankerte Z-Bohlen mit Gurtung



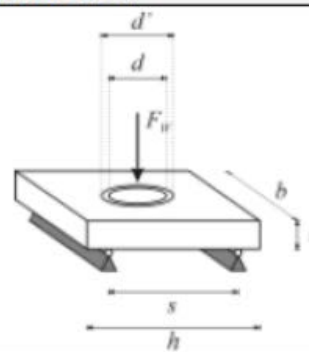
AeZmG – Ankerplatten für exzentrisch verankerte Z-Bohlen mit Gurtung



Ersatzsystem für F_F



Ersatzsystem für F_W



Nachweis

M-V-Interaktion:

$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{4}{3} \frac{n}{(2n-1)^2} \left(-X + \sqrt{X^2 + 3t^2(2n-1)^2} \right) (b-d) \frac{f_y}{\gamma_M}$$

$$\text{mit } X = (h-d') + 2(s-d')(n-1)$$

Lokale Lasteinleitung:

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_M} < \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d t \frac{f_y}{\gamma_M}$$

Weitere Anforderungen:

- die Ankerplattenbreite muss mind. 80% der Flanschbreite betragen (s. EC 3 Teil 5) bei exzentrischer Lasteinleitung mindestens 90 %
- $h \leq 2.5b$
- $t \geq 2.0t_f$ und $t \geq d_A/3$

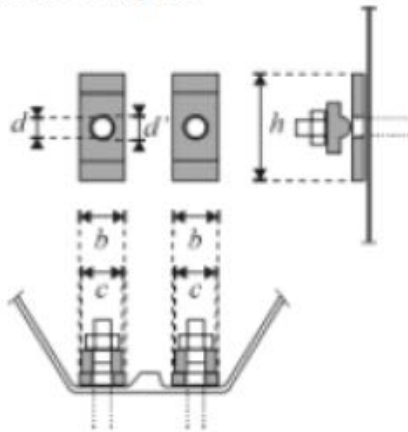
Plaque + Rondelle à bossage:

- "Table 6-6" (sans lierne):

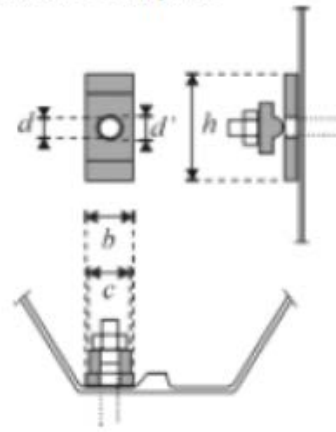
Tabelle 6-6: Ankerplatten mit Gelenkplatte bei doppelt und exzentrisch verankerten Z-Bohlen ohne Gurtung

Nachweise von Ankerplatten mit Gelenkplatte bei doppelt und exzentrisch verankerten Z-Bohlen ohne Gurtung (Typ 13)

AdZoGG - Ankerplatten für doppelt verankerte Z-Bohlen mit Gelenkplatte



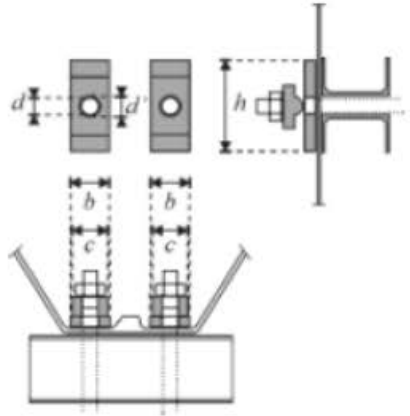
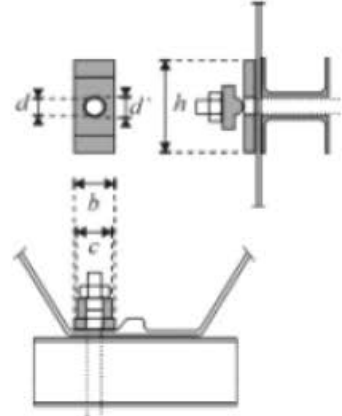
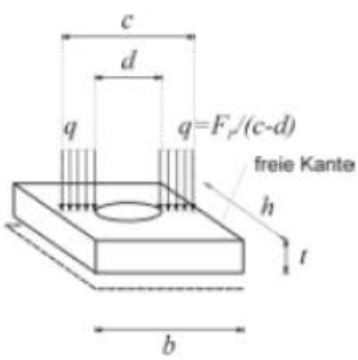
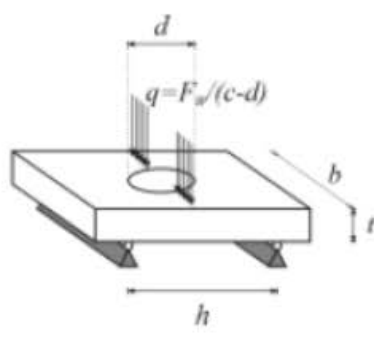
AeZoGG - Ankerplatten für exzentrisch verankerte Z-Bohlen mit Gelenkplatte



Ersatzsystem	Nachweise
	<p>M-V-Interaktion:</p> $F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{4}{3} \left(-h + \sqrt{h^2 + 3t^2} \right) (b-d) \frac{f_y}{\gamma_M}$ <p>Lokale Lasteinleitung: mind. die Stahlgüte der Gelenkplatte (s. Gelenkplatte)</p> <p>Weitere Anforderungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Ankerplattenbreite muss mind. 80% der Flanschbreite betragen (s. EC 3 Teil 5) bei exzentrischer Lasteinleitung mindestens 90 % - $h \leq 2.5 b$ - $t \geq 2.0 t_f$ und $t \geq d_A / 3$

- "Table 6-14" (avec lierne)

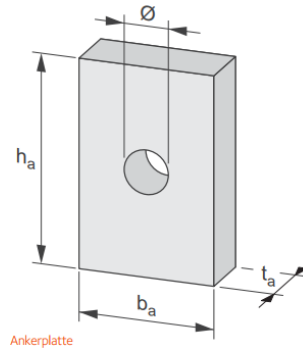
Tabelle 6-14: Ankerplatten mit Gelenkplatten bei doppelt und exzentrisch verankerten Z-Bohlen mit Gurtung

Nachweise von Ankerplatten bei doppelt und exzentrisch verankerten Z-Bohlen mit Gurtung und Gelenkplatte (Typ 13 und Typ 5)	
AdZmGG – Ankerplatten für doppelt verankerte Z-Bohlen mit Gelenkplatte und Gurtung 	AeZmGG – Ankerplatten für exzentrisch verankerte Z-Bohlen mit Gelenkplatte und Gurtung 
Ersatzsystem für F_p 	Ersatzsystem für F_w 
Nachweise <p>M-V-Interaktion:</p> $F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd} = \frac{4}{3} \frac{n}{(2n-1)^2} \left(-(h + 2s(n-1)) + \sqrt{(h + 2s(n-1))^2 + 3t^2(2n-1)^2} \right) (b-d) \frac{f_y}{\gamma_M}$ <p>Lokale Lasteinleitung: mind. die Stahlgüte der Gelenkplatte (s. Gelenkplatte)</p> <p>Weitere Anforderungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Ankerplattenbreite muss mind. 80% der Flanschbreite betragen (s. EC 3 Teil 5) bei exzentrischer Lasteinleitung mindestens 90 % - $h \leq 2.5b$ - $t \geq 2.0t_f$ und $t \geq d_A/3$ 	

4.5.2. Double ancrage centré

4.5.2.1. Dimensions de la plaque

$$b_a \begin{cases} \leq b_c \\ \geq 0.9 \times b_c \end{cases} \quad h_a \leq 2.5 \times b_a \quad t_a \begin{cases} \geq 40 \text{ mm} \\ \geq 2 \times t_f \\ \geq d_A/3 \end{cases}$$



4.5.2.2. Vérification de la résistance

4.5.2.2.1. Vérification de la résistance de la plaque à la force locale

Ancrage avec gîte :

Cas E (écrous) : $X = s - s - d''$.

Cas F (rondelle à bossages) : $X = s$

$$F_{M,V,Rd} = \frac{2}{3} (b_a - d) X \left[\sqrt{1 + 3 \left(\frac{t_a}{X} \right)^2} - 1 \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{M,V,Rd}$$

Où "s" est la distance entre les profilés de la lierne.

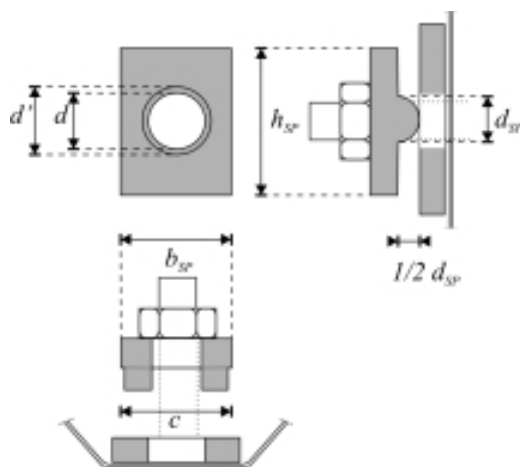
4.5.2.2.2. Poinçonnement

$$F_{Rd,l1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - d^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad F_{Rd,l2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d t_a \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Rd,l} = \min\{F_{Rd,l1}, F_{Rd,l2}\} \quad F_{Ed} \leq F_{Rd,l}$$

4.6. Rondelle à bossages

4.6.1. Ancrage central



Conditions géométriques à respecter :

$$b_{SP} \leq \max(d_{SG} + 2t_{SP}; e)$$

$$h_{SP} \leq \max(d_{SG} + 2t_{SP}; e)$$

$$t_{SP} \geq \frac{d_A}{2}$$

$$c = \min(b_a, b_{SP})$$

Conditions à respecter pour les charges :

$$F_{Ed} \leq F_{Rd,l,1} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} (d_{SG}^2 - w_{SP}^2) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Rd,l,1} < F_{Rd,l,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \pi d_{SG} t_{SP} \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{Ed} \leq F_{loc} = w_{SP} (c - d) \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

4.7. Palplanches

4.7.1. Eurocode

Cas	Vérifications requises (EC3-5)
7.4	<ul style="list-style-type: none"> Résistance au cisaillement de l'aile EC3-5 §7.4.3 (3a) Résistance à la traction de l'âme EC3-5 §7.4.3 (3b)
7.5a	<ul style="list-style-type: none"> Résistance au cisaillement de l'aile EC3-5 §7.4.3 (3a) Résistance à la traction de l'âme EC3-5 §7.4.3 (3b)
7.5b	<ul style="list-style-type: none"> Résistance au cisaillement à la partie de l'effort d'ancrage exercé sur les âmes EC3-5 §7.4.3 (4)
7.6	<ul style="list-style-type: none"> Résistance au cisaillement à la partie de l'effort d'ancrage exercé sur les âmes EC3-5 §7.4.3 (4)

4.7.1.1. Résistance au cisaillement de l'aile EC3-5 §7.4.3 (3a)

$$F_{Ed} \leq R_{Vf,Rd}$$

F_{Ed} Valeur de calcul de la force transversale locale appliquée à travers l'aile

$R_{Vf,Rd}$ Valeur de calcul de la résistance au cisaillement de l'aile

$$R_{Vf,Rd} = 2(b_a + h_a)t_f \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}}$$

b_a Largeur de la plaque de la plaque

h_a Hauteur de la plaque de la plaque

t_f Épaisseur de l'aile de la palplanche avec $t_f \leq 1.5b_a$

f_y Limite d'élasticité de la palplanche

4.7.1.2. Résistance à la traction de l'âme EC3-5 §7.4.3 (3b)

$$F_{Ed} \leq R_{tw,Rd}$$

F_{Ed} Valeur de calcul de la force transversale locale appliquée à travers l'âme

$R_{deux,Rd}$ Valeur de calcul de la résistance à la traction de 2 âmes

$$R_{tw,Rd} = 2h_a t_w \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

t_w Épaisseur de l'âme

4.7.1.3. Résistance au cisaillement à la partie de l'effort d'ancrage exercé sur les âmes EC3-5 §7.4.3 (4)

Tout d'abord, nous devons vérifier

$$F_{Ed} \leq 0.5R_{c,Rd} \rightarrow \text{Aucune autre vérification n'est nécessaire}$$

$$F_{Ed} > 0.5R_{c,Rd} \rightarrow \frac{F_{Ed}}{R_{c,Rd}} + 0.5 \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1.0$$

Où :

F_{Ed} Valeur de calcul de la force transversale locale appliquée par âme

M_{Ed} Valeur de calcul du moment de flexion à l'emplacement de la force d'ancrage

$M_{c,Rd}$ Résistance de la palplanche à la flexion selon EC3-5 §5.2.2(2).

$R_{c,Rd}$ Résistance local transversale, valeur minimale de $R_{e,Rd}$ et $R_{p,Rd}$ pour chaque âme

$$R_{e,Rd} = \frac{\varepsilon}{4e} (s_s + 4s_{ec}) \sin \alpha (t_w^2 + t_f^2) f_y / \gamma_{M0}$$

$$R_{p,Rd} = \chi R_{p0} / \gamma_{M0}$$

Avec :

$$\chi = 0.06 + \frac{0.47}{\lambda} \leq 1.0$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{R_{p0}}{R_{cr}}}$$

$$R_{cr} = 5.42E \frac{t_w^3}{c} \sin \alpha$$

$$R_{p0} = \sqrt{2} \varepsilon f_y t_w \sin \alpha \left(s_s + t_f \sqrt{\frac{2b \sin \alpha}{t_w}} \right)$$

b Largeur de l'aile

c Hauteur d'inclinaison de l'âme

$e = \max \left(5 \text{ mm} ; r_0 \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right) - \frac{t_w}{2 \sin \alpha} \right)$ Excentricité de la force introduite dans l'âme

f_y Limite d'élasticité de la palplanche

r_0 Rayon extérieur de l'angle entre l'aile et l'âme

$s_{ec} = 2\pi r_0 \frac{\alpha}{180}$ avec α en degrés

s_s Longueur déterminée selon 6.3 de la norme EN 1993-1-5. Si la lierne se compose de deux parties, par ex. deux profilés, s_s est la somme des deux parties plus le minimum de la distance entre les deux parties ou la longueur s_{ec}

○ Case 7.5b (il n'y a pas de lierne):

$$s_s = h_a$$

○ Case 7.6 (la lierne est présente):

$$s_s = 2 * s' + s_{ec}$$

si $s \geq s_{ec}$

$$s_s = 2 * s' + s$$

si $s < s_{ec}$

s est la distance entre les 2 profilés de la lierne (mm)

$$s' = t_{w,lierne} + r_{lierne} + t_{f,lierne}$$

t_f Épaisseur de l'aile

t_w Épaisseur de l'âme

α Inclinaison de l'âme

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

5. Calcul du LCA

Durability permet de calculer l'EPD pour la section choisie dans l'onglet Palplanches. Jusqu'à 5 scenarios peuvent être examinés.

Les « Hot Rolled Sheet Piles » seront considérées pour les palplanches GU et les « EcoSheetPiles » pour le reste de palplanches, y compris les palplanches AZ.

Durability propose 3 méthodes de calcul :

- Pratique commerciale
- Réutilisation/recyclage %
- Nombre de cycles

Ces méthodes permettent de calculer les % de réutilisation, de recyclage et de décharge de la palplanche.

5.1. Méthode pratique commerciale

Longueur initiale

La longueur initiale peut être prise depuis l'onglet *Sheet pile* si elle est définie.

On peut en déduire une longueur ΔL qui est la différence entre la longueur de la palplanche utilisée et celle qui va être vraiment mise en place sur chantier.

Longueur minimale

Elle correspond à la longueur minimale après la fin de vie de la palplanche.

Calcul des pourcentages

La longueur de la palplanche est réduite par la longueur de découpe jusqu'à atteindre la longueur minimale.

On peut en déduire le nombre d'utilisations :

$$\text{Nombre d'utilisations} = (\text{longueur initiale} - \text{longueur minimale}) / \text{longueur de découpe}$$

À chaque fois que la longueur de découpe est soustraite de la longueur initiale, on peut en déduire :

$$\text{Réutilisation} = \text{longueur de la palplanche} - \text{longueur de découpe}$$

$$\text{Recyclage} = \text{longueur de découpe} \times \text{taux de recyclage}$$

$$\text{Décharge} = \text{longueur de découpe} \times (100 - \text{taux de recyclage})$$

Les % finaux de réutilisation, de recyclage et de décharge peuvent ensuite être déduits en fonction de la longueur initiale.

5.2. Réutilisation/Recyclage %

The % réutilisation et le % recyclage sont directement définis par l'utilisateur.

Le % décharge est ensuite déduit de ces 2 valeurs.

5.3. Nombre de cycles

Les pourcentages sont déduits comme suit :

$$\% \text{ Réutilisation} = 100 * (\text{nombre d'utilisations} - 1) / \text{nombre d'utilisations}$$

$$\% \text{ Recyclage} = (100 - \% \text{ réutilisation}) \times \text{taux de recyclage} / 100$$

$$\% \text{ Décharge} = 100 - \% \text{ réutilisation} - \% \text{ Recyclage}$$

5.4. Calcul des valeurs du LCA

Calcul du rebut net

$$\text{Rebut net} = \text{Fabrication} + \text{Réutilisation} + \text{Recyclage}$$

Où :

Fabrication = soit -909 kg/t (pour les GU) soit -1140 kg/t pour les EcoSheetPiles Plus

Réutilisation = - Fabrication x % Réutilisation

Recyclage = % Recyclage * 1000

Ensuite, les colonnes A1-A3 (approvisionnement en matière première, transport et fabrication), C3 (traitement des déchets) et D (potentiel de récupération-réutilisation-recyclage) seront calculées :

A1-A3 est extrait de l'EPD

C3 = colonne C3 de l'EPD x % Chutes

D = - (A1-A3) x % de réutilisation + rebut (de la base de données) x rebut net / 1000

Enfin, ces valeurs sont multipliées par la masse de la palplanche.

5.5. Calcul du transport

Les valeurs de la colonne A4 sont obtenues comme un produit de la valeur de la base de données et de la distance (valeur d'entrée).

5.6. Calcul total

La valeur totale est calculée en absolu et par utilisation :

- Total = A1-A3 + C3 + D + A4

- Total par utilisation = Total / nombre d'utilisations de la palplanche