

FORMATION AVANCÉE

Bois

Toutes les informations contenues dans ce document sont sujettes à modification sans préavis. Aucune partie de ce manuel ne peut être reproduite, stockée dans une base de données ou un système d'extraction ou publiée, sous quelque forme ou de quelque manière que ce soit, électroniquement, mécaniquement, par impression, impression photo, microfilm ou tout autre moyen sans l'autorisation écrite préalable de l'éditeur. SCIA n'est pas responsable des dommages directs ou indirects dus à des imperfections de la documentation et / ou du logiciel.

© Copyright 2024 SCIA nv. Tous les droits sont réservés.

Sommaire

Sommaire	3
Chapitre 1: Introduction	5
Chapitre 2: Contrôles EN 1995 pour les éléments 1D	7
2.1 Bases du calcul	7
2.2 Propriétés des matériaux	8
2.3 Bases de l'analyse structurelle	12
2.4 État limite ultime	13
2.4.1. Traction parallèle au fil	13
2.4.2. Compression parallèle au fil	13
2.4.3. Compression perpendiculaire au fil	13
2.4.4. Flexion	16
2.4.5. Cisaillement	17
2.4.6. Torsion	17
2.4.7. Flexion et traction axiales combinées	18
2.4.8. Flexion et compression axiale combinées	19
2.4.9. Poteaux sollicités soit en compression soit par une combinaison de compression et flexion	19
2.4.10. Poutres sollicitées soit en compression soit par une combinaison de compression et flexion	21
2.4.11. Éléments à section variable ou à forme courbe	23
2.5 État limite de service	32
2.5.1. Généralités	32
2.5.2. Calcul ELS des éléments 1D bois dans SCIA Engineer	33
Chapitre 3: Contrôles EN 1995-1-1 pour les éléments 2D	37
3.1 Bases du calcul	37
3.1.1. Coefficients partiels de sécurité	37
3.1.2. Extension de l'orthotropie au bois lamellé croisé CLT	38
3.1.3. Coefficient d'effet système K_{sys}	39
3.2 Propriétés des matériaux : coefficient de modification de résistance K_{mod}	40
3.3 Calculs CLT ELU	40
3.3.1. Contrôle en section	40
3.3.2. Contrôle en stabilité	43
3.3.3. Erreurs et avertissements	43
3.3.4. Prérequis et fonctionnement du calcul de bois CLT dans SCIA Engineer	44
Chapitre 4: Références	45

Chapitre 1: Introduction

Ce manuel fournit des informations des contrôles effectuées dans SCIA Engineer selon la norme :

Eurocode 5

Conception et calcul des structures en bois

Partie 1-1 : Généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments

EN 1995-1-1 :2004

Corrigendum EN 1995-1-1 : 2004/AC :2006

Addendum EN 1995-1-1 :2004/A1 : 2008

Addendum EN 1995-1-1 :2004/A2 :2014

Un aperçu plus détaillé des articles utilisés est donné dans les tableaux suivants. Les articles marqués d'une croix (X) sont consultés. Les articles marqués d'une astérisque (*) ont une explication supplémentaire dans les chapitres qui suivent.

SECTION 1 : GÉNÉRALITÉS	
-------------------------	--

SECTION 2 : BASE DE CONCEPTION ET CALCUL	
2.1 Exigences	X
2.2 Principes de calcul aux états limites	X(*)
2.3 Variables de base	X
2.4 Vérification par la méthode des coefficients partiels	X(*)

SECTION 3 : PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX	
3.1 Général	X(*)
3.2 Bois massif	X(*)
3.3 Bois lamellé-collé	X(*)

SECTION 4 : DURABILITÉ	
------------------------	--

SECTION 5 : BASE DE L'ANALYSE DE STRUCTURE	
5.1 Généralités	
5.2 Éléments	
5.3 Assemblages	
5.4 Sous-systèmes	X(*)

SECTION 6 : ÉTATS LIMITES ULTIMES	
6.1 Calcul des sections soumises à une contrainte dans une direction principale	X(*)
6.2 Calcul des sections soumises à des combinaisons de contraintes	X(*)
6.3 Stabilité des éléments	X(*)
6.4 Calcul des sections soumises à des éléments à section variable ou à forme courbe	X(*)
6.5 Éléments entaillés	
6.6 Effet système	X(*)

SECTION 7 : ÉTATS LIMITES DE SERVICE	
7.1 Glissement des assemblages	
7.2 Valeurs limites pour les flèches de poutres	X(*)
7.3 Vibrations	

NB :

Aucune règle spécifique n'est implémentée pour les sections composées (multi-matériaux).

Chapitre 2: Contrôles EN 1995 pour les éléments 1D

2.1 Bases du calcul

L'article 2.2.2 précise les procédures possibles pour effectuer l'analyse d'une structure bois. Les procédures suivantes sont prises en charge :

- L'analyse élastique linéaire du premier ordre, qui utilise les valeurs moyennes E_{moy} et G_{moy} pour les propriétés de rigidité.
- L'analyse élastique linéaire du second ordre, qui utilise les valeurs de calcul E_d et G_d pour les propriétés de rigidité.

Les valeurs de calcul sont déterminées conformément à l'article 2.4.1(2).

NB1 :

Les valeurs de calcul des propriétés de rigidité sont utilisées uniquement dans le cas d'une analyse au second ordre, pas dans le cas d'une analyse non-linéaire.

NB2 :

Les valeurs de calcul des propriétés de rigidité sont utilisées à la fois pour les types de combinaison non-linéaire ultimes et de service.

Pour le coefficient partiel de sécurité γ_M spécifié dans l'article 2.4, se reporter à l'annexe nationale de l'EN 1995 :

Tableau 2.3 — Coefficients partiels recommandés pour les propriétés des matériaux (γ_M)

États limites ultimes	γ_M
— combinaisons fondamentales :	
bois massif	1,3
bois lamellé collé	1,25
LVL, contreplaqué, OSB	1,2
Panneau de particules	1,3
Panneau de fibres, dur	1,3
Panneau de fibres, mi-dur	1,3
Panneau de fibres, MDF	1,3
Panneau de fibres, tendre	1,3
Assemblages	1,3
Plaques métalliques embouties	1,25
— combinaisons accidentelles :	1,0

2.2 Propriétés des matériaux

Les valeurs caractéristiques des propriétés du matériau qui sont fournis par défaut sont tirées des références suivantes :

- Bois massif : EN 338 - Réf. [4]
- Bois lamellé-collé : EN 1194 – Réf. [5] et [7]

NB :

Le module de cisaillement $G_{0,05}$ n'est donné dans aucune référence normative mais est demandé pour le contrôle bois. Cette valeur est calculée pendant le contrôle comme égale à $E_{0,05} / 16$ comme décrit dans la Réf. [7] pages 109 & 209.

✚ Coefficient de modification de résistance k_{mod}

Les valeurs de ce coefficient sont par défaut tirées du tableau 3.1.

Matériau	Norme	Classe de service	Classe de durée de chargement					
			Action permanente	Action long terme	Action moyen terme	Action court terme	Action instantanée	
Bois massif	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Bois lamellé collé	EN 14080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
LVL	EN 14374, EN 14279	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10	
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90	
Contreplaqué	EN 636	Partie 1, Partie 2, Partie 3	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		Partie 2, Partie 3	2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		Partie 3	3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90
OSB	EN 300	OSB/2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		OSB/3, OSB/4	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		OSB/3, OSB/4	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90
Panneau de particules	EN 312	Partie 4, Partie 5	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
		Partie 5	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
		Partie 6, Partie 7	1	0,40	0,50	0,70	0,90	1,10
		Partie 7	2	0,30	0,40	0,55	0,70	0,90

Panneau de fibres, dur	EN 622-2 HB.LA, HB.HLA 1 ou 2	1	0,30	0,45	0,65	0,85	1,10
	HB.HLA 1 ou 2	2	0,20	0,30	0,45	0,60	0,80
Panneau de fibres, semi-dur	EN 622-3 MBH.LA 1 ou 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS 1 ou 2	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MBH.HLS 1 ou 2	2	—	—	—	0,45	0,80
Panneau de fibres, MDF	EN 622-5 MDF.LA, MDF.HLS	1	0,20	0,40	0,60	0,80	1,10
	MDF.HLS	2	—	—	—	0,45	0,80

Comme stipulé dans l'article 3.1.3(2), si une combinaison de charges comporte des actions appartenant différentes classes de durée de charges, une valeur de k_{mod} est utilisée correspondant à l'action ayant la plus petite durée.

Coefficient de modification de déformation k_{def}

Les valeurs de ce coefficient sont par défaut tirées du tableau 3.2.

Tableau 3.2 — Valeurs de k_{def} pour le bois, les matériaux à base de bois

Matériau	Norme	Classe de service		
		1	2	3
Bois massif	EN 14081-1	0,60	0,80	2,00
Bois lamellé collé	EN 14080	0,60	0,80	2,00
LVL	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,00
Contreplaqué	EN 636			
	Partie 1	0,80	—	—
	Partie 2	0,80	1,00	—
OSB	EN 300			
	OSB/2	2,25	—	—
	OSB/3, OSB/4	1,50	2,25	—
Panneau de particules	EN 312			
	Partie 4	2,25	—	—
	Partie 5	2,25	3,00	—
	Partie 6	1,50	—	—
Panneau de fibres, dur	EN 622-2			
	HB.LA HB.HLA 1 ou 2	2,25 2,25	— 3,00	— —
Panneau de fibres, semi-dur	EN 622-3			
	MBH.LA 1 ou 2 MBH.HLS 1 ou 2	3,00 3,00	— 4,00	— —
Panneau de fibres, MDF	EN 622-5			
	MDF.LA MDF.HLS	2,25 2,25	— 3,00	— —

Comme stipulé dans l'article 3.2(4), les valeurs données dans ce tableau peuvent être augmentées de 1 pour du bois qui est installé à un taux d'humidité égal ou proche du point de saturation des fibres. Cela peut être défini dans la « Configuration Bois ».

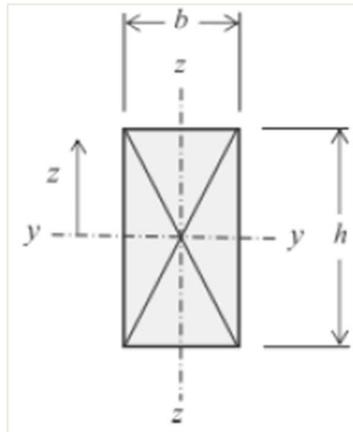
✚ Coefficient de hauteur k_h

Dans le cas où le paramètre est activé dans la « Configuration Bois », ce coefficient est pris en compte pour à la fois le bois massif et le bois lamellé-collé.

Conformément aux articles 3.2(3) et 3.3(3), l'effet de la taille de l'élément doit être pris en compte uniquement dans le cas d'une section rectangulaire. Une section rectangulaire est définie ou bien comme :

- RECT (Bois)
- Rectangle (Formes géométriques)
- Rectangulaire plein (Code forme 7)

Dans les tableaux qui suivent, « b » est pris égal à la plus petite dimensions du rectangle, et « h » comme la plus grande dimension du rectangle.



Le coefficient k_h est calculé sur la base du type de bois :

❖ Bois massif

Actions	Conditions	k_h
Traction N_{Ed}	Densité de matériau $\leq 750\text{kg/m}^3$ Dimension $h < 150\text{mm}$	$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,3 \right\}$
Flexion $M_{y,Ed}$	Densité de matériau $\leq 700\text{kg/m}^3$ Dimension $h < 150\text{mm}$	$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2}, 1,3 \right\}$

Flexion $M_{z,Ed}$	Densité de matériau $\leq 700\text{kg/m}^3$ Dimension $b < 150\text{mm}$	$k_h = \min \left\{ \left(\frac{150}{b} \right)^{0,2} \right.$ $\left. 1,3 \right\}$
--------------------	---	--

Dans tous les autres cas, k_h reste égal à 1.

NB :

La norme définit clairement la largeur pour la traction comme la « dimension de section maximale », ainsi « h » est utilisé.

❖ Bois lamellé-collé

Actions	Conditions	k_h
Traction N_{Ed}	Dimension $h < 600\text{mm}$	$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right.$ $\left. 1,1 \right\}$
Flexion $M_{y,Ed}$	Dimension $h < 600\text{mm}$	$k_h = \min \left\{ \left(\frac{600}{h} \right)^{0,1} \right.$ $\left. 1,1 \right\}$
Flexion $M_{z,Ed}$	-	$k_h = 1,00$

Dans tous les autres cas, k_h reste égal à 1.

NB :

Conformément à la Réf. [7] pour les éléments lamellés-collés « ... (k_h) ne sera appliqué à la hauteur de la poutre que si la section est chargée perpendiculairement au plan des faces larges des lamelles. » C'est pourquoi k_h n'est pas pris en compte pour le moment $M_{z,Ed}$.

2.3 Bases de l'analyse structurelle

Pour les portiques plans, les imperfections suivantes peuvent être définies conformément à l'article 5.4.4(2) :

- Les imperfections globales ϕ en utilisant la formule (5.1)

La valeur de ϕ en radians devrait être au moins égal à :

$$\begin{aligned}\phi &= 0,005 \quad \text{pour } h \leq 5\text{m} \\ \phi &= 0,005 \cdot \sqrt{5lh} \quad \text{pour } h > 5\text{m}\end{aligned}$$

Où h est la hauteur de la structure ou la longueur de l'élément, en mètres.

- Les imperfections en arc e en utilisant la formule (5.2)

La valeur de e devrait être au moins égal à : $e = 0,0025.l$

De plus, la forme du mode de flambement critique élastique peut être utilisée comme une imperfection unique globale et locale.

2.4 État limite ultime

Les contrôles à l'ELU sont effectués conformément à la section 6 de l'Eurocode 5.

2.4.1. Traction parallèle au fil

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 6.1.2.

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort normal de traction N_{Ed} .

2.4.2. Compression parallèle au fil

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 6.1.4.

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort normal de compression N_{Ed} .

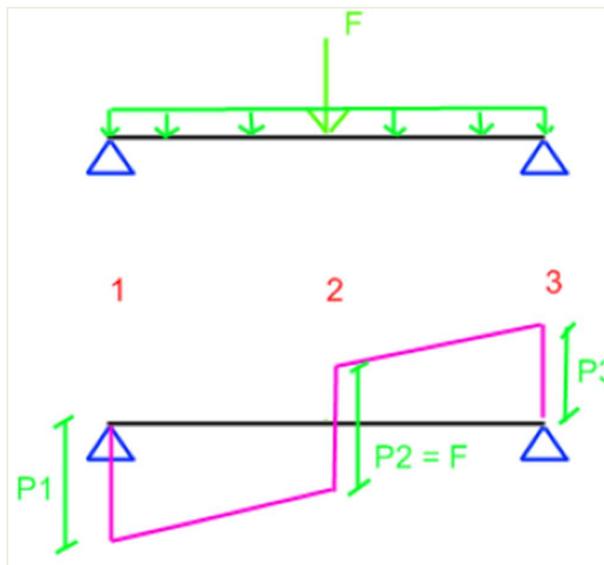
2.4.3. Compression perpendiculaire au fil

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 6.1.5.

NB :

Ce contrôle a été révisé par l'amendement A1 de l'EN 1995-1-1, cf Réf. [3].

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort tranchant $V_{z,Ed}$. Il est effectué aux endroits où se trouve un saut / une discontinuité du diagramme $V_{z,Ed}$.



Lors de l'évaluation des discontinuités dans le diagramme d'effort tranchant d'un élément donné, les diagrammes d'effort tranchant des éléments adjacents sont également pris en compte. Les éléments adjacents sont définis comme des éléments voisins dans le même système de flambement.

❖ Surface de contact efficace

La surface de contact efficace A_{ef} est déterminée comme suit : $A_{ef} = l_{ef} * b$

La largeur b concerne la largeur de contact de la section et est déterminée par défaut comme suit :

SECTION	LARGEUR DE CONTACT « b »
RECT 	B
CIRC 	10mm
2 RECT 	2 * t_{ha}
3 RECT 	3 * t_{ha}
T PROFILE 	T_{ha}
I NON-SYMM 	Min (B_b ; B_c)
I SYMM 	$T_{ha} + 2 * B_b$
2 RECT 	2 * B
3 RECT 	3 * B

CROSS 	Tha
2 + 1 El.fill 	2 * B _b
2 + 3 El.fill 	2 * B _b
3 + 2El.fill 	3 * B _a
Box 	B _a
Box 1 	B _b + 2 * B _a
Box 2 	2 * B _b + 3 * B _a
Toutes autres sections	10mm

La longueur l_{ef} concerne la longueur de contact efficace et est calculée depuis la longueur de contact l comme spécifié dans l'article 6.1.5(1).

NB :

La largeur de contact et la longueur de contact peuvent être toutes les deux à la fois outrepassées à n'importe quelle section et pour n'importe quelle section, en utilisant la donnée additionnelle « Compression perpendiculaire au fil ».

❖ Coefficient $k_{c,90}$

Le coefficient $k_{c,90}$ est par défaut déterminé pour un élément sur « appuis discrets » comme décrit ci-après.

Dans le cas où $l_1 \leq 2 \cdot h$, et de bois massif avec un nom commençant par « C » :

$$k_{c,90} = 1,50$$

Dans le cas où $l_1 \geq 2 \cdot h$, et de bois lamellé-collé avec $l \leq 400\text{mm}$:

$$k_{c,90} = 1,75$$

Dans tous les autres cas :

$$k_{c,90} = 1,00$$

Pour un élément sur « appuis continus », le coefficient $k_{c,90}$ est déterminé comme décrit ci-après.

Dans le cas où $l_1 \leq 2 \cdot h$, et de bois massif avec un nom commençant par « C » :

$$k_{c,90} = 1,25$$

Dans le cas où $l_1 \geq 2 \cdot h$, et de bois lamellé-collé :

$$k_{c,90} = 1,50$$

Dans tous les autres cas :

$$k_{c,90} = 1,00$$

NB :

Par défaut, la condition d'appui est prise comme « discrète ». En utilisant la donnée additionnelle « Compression perpendiculaire au fil », la condition d'appui peut être définie sur « continue ».

Dans le cas où on a une discontinuité à gauche et à droite de la position considérée, la longueur l_1 , entre les longueurs de contact de deux sauts, est égale à la valeur minimale de la longueur à gauche et de la longueur à droite.

La distance a est mesurée à la fin du système de flambement, pas la fin de l'élément.

La hauteur h d'un élément est déterminée comme suit : $h = (y_{\max} - y_{\min})$

Avec :

- y_{\max} : coordonnée verticale maximale de la fibre
- y_{\min} : coordonnée verticale minimale de la fibre

2.4.4. Flexion

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 6.1.6.

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un moment fléchissant $M_{y,Ed}$ et / ou d'un moment fléchissant $M_{z,Ed}$.

Pour la détermination du coefficient de répartition des contraintes k_M , une section rectangulaire est définie ou bien comme :

- RECT (Bois)
- Rectangle (Formes géométriques)
- Rectangulaire plein (Code forme 7)

2.4.5. Cisaillement

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 6.1.7.

NB :

Ce contrôle a été révisé par l'amendement A1 de l'EN 1995-1-1, cf Réf. [3].

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort tranchant $V_{y,Ed}$ et / ou d'un effort tranchant $V_{z,Ed}$.

La contrainte de cisaillement de calcul τ_{d} est calculé comme suit :

$$\tau_{y,d} = \frac{V_{y,Ed} * (\tau_{y,unit})}{k_{cr}}$$

$$\tau_{z,d} = \frac{V_{z,Ed} * (\tau_{z,unit})}{k_{cr}}$$

Avec $\tau_{y,unit}$ et $\tau_{z,unit}$, les contraintes unitaires maximales par fibre comme pris de la section.

Le coefficient de modification du cisaillement k_{cr} est déterminé en fonction de l'annexe nationale de l'EN 1995. Par défaut, ce coefficient est pris égal à 0,67 pour le bois massif comme pour le bois lamellé-collé.

Interaction de cisaillement combiné

L'EN 1995-1-1 ne donne pas d'équation d'interaction en cas de cisaillement combiné.

Le contrôle d'interaction est effectué comme suit :

$$\left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}}\right)^2 \leq 1$$

Cette équation d'interaction provient de l'annexe nationale allemande (Réf. [8]).

2.4.6. Torsion

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 6.1.8.

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un moment de torsion T_{Ed} .

La contrainte de torsion de calcul $\tau_{tor,d}$ est calculé comme suit :

$$\tau_{tor,d} = T_{Ed} * (\tau_{tor,unit})$$

Avec $\tau_{tor,unit}$, la contrainte unitaire de torsion maximale par fibre comme pris de la section.

NB :

Dans le cas où la contrainte unitaire de torsion n'est pas calculée dans la section et qu'un moment de torsion est présent, le contrôle en torsion ne peut pas être effectué. Dans ce cas, l'analyse doit être définie dans la section (par exemple en activant l'analyse MEF 2D).

Pour la détermination du coefficient de forme k_{shape} , une distinction est faite entre les sections rectangulaires et circulaires.

Une section rectangulaire est définie ou bien comme :

- RECT (Bois)
- Rectangle (Formes géométriques)
- Rectangulaire plein (Code forme 7)

Avec b pris égal à la plus petite dimensions du rectangle et h pris égal à la plus grande dimensions du rectangle.

Une section circulaire est définie ou bien comme :

- CIRC (Bois)
- Cercle (Formes géométriques)
- Cercle plein (Code forme 11)

Pour toutes les autres sections qui ne sont ni rectangulaires ni circulaires, k_{shape} est pris égal à 1,00.

Interaction de cisaillement et torsion combinés

L'EN 1995-1-1 ne donne pas d'équation d'interaction en cas de cisaillement et torsion combinés.

Le contrôle d'interaction est effectué comme suit :

$$\left(\frac{\tau_{\text{tor,d}}}{k_{\text{shape}} \cdot f_{v,d}} \right) + \left(\frac{\tau_{y,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \left(\frac{\tau_{z,d}}{f_{v,d}} \right)^2 \leq 1$$

Cette équation d'interaction provient de l'annexe nationale allemande (Réf. [8]) et cf aussi Réf. [7].

2.4.7. Flexion et traction axiales combinées

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 6.2.3.

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas où les conditions suivantes sont remplies:

- présence d'un effort normal de traction N_{Ed} .
- présence d'un moment de flexion $M_{y,Ed}$ et / ou $M_{z,Ed}$.

2.4.8. Flexion et compression axiale combinées

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 6.2.4.

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas où les conditions suivantes sont remplies:

- présence d'un effort normal de compression N_{Ed} .
- présence d'un moment de flexion $M_{y,Ed}$ et / ou $M_{z,Ed}$.

2.4.9. Poteaux sollicités soit en compression soit par une combinaison de compression et flexion

Ce contrôle en stabilité est effectué conformément à l'article 6.3.2.

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas où un effort normal de compression N_{Ed} est présent.

Pour le calcul des coefficients de flambement, plusieurs méthodes sont disponibles :

- Avec les formules générales (standard)
- Depuis une analyse en stabilité
- En les saisissant manuellement

Calcul du coefficient de flambement – depuis les formules générales

Pour les calcul des coefficients de flambement, des formules approximatives sont utilisées. Ces formules sont traitées dans les Réf. [9], [10] et [11].

Les formules suivantes sont utilisées pour les coefficients de flambement (Réf. [9]) :

- Pour une structure à nœuds non-déplaçables :

$$\frac{l}{L} = \frac{(\rho_1\rho_2 + 5\rho_1 + 5\rho_2 + 24)(\rho_1\rho_2 + 4\rho_1 + 4\rho_2 + 12)2}{(2\rho_1\rho_2 + 11\rho_1 + 5\rho_2 + 24)(2\rho_1\rho_2 + 5\rho_1 + 11\rho_2 + 24)}$$

- Pour une structure à nœuds déplaçables :

$$\frac{l}{L} = x \sqrt{\frac{\pi^2}{\rho_1 x} + 4}$$

Avec :

L : longueur système
E : module d'Young (moyenne)
I : moment d'inertie

C_i : rigidité du nœud i
 M_i : moment du nœud i
 ϕ_i : rotation du nœud i

$$x = \frac{4\rho_1\rho_2 + \pi^2\rho_1}{\pi^2(\rho_1 + \rho_2) + 8\rho_1\rho_2}$$

$$\rho_i = \frac{C_i L}{EI}$$

$$C_i = \frac{M_i}{\phi_i}$$

Les valeurs pour M_i et ϕ_i sont approximativement déterminées par les efforts internes et les déformations, calculés par des cas de charges qui génèrent une forme de déformation, ayant une affinité avec la forme de flambement.

Les cas de charges suivants sont considérés :

- Cas de charges 1 :
 - sur les poutres, sont utilisées les charges locales réparties $q_y = 1\text{N/m}$ et $q_z = -100\text{N/m}$
 - sur les poteaux, sont utilisées les charges globales réparties $Q_x = 10000\text{N/m}$ et $Q_y = 10000\text{N/m}$
- Cas de charges 2 :
 - sur les poutres, sont utilisées les charges locales réparties $q_y = -1\text{N/m}$ et $q_z = -100\text{N/m}$
 - sur les poteaux, sont utilisées les charges globales réparties $Q_x = -10000\text{N/m}$ et $Q_y = -10000\text{N/m}$

De plus, les limitations suivantes s'appliquent (Réf. [9]) :

- les valeurs de ρ_i sont limitées à un minimum de 0,0001
- les valeurs de ρ_i sont limitées à un maximum de 1000
- les indices sont déterminés de telle sorte que $\rho_1 \geq \rho_2$
- particulièrement dans le cas de structure à nœuds non-déplaçables, si $\rho_1 \geq 1000$ et $\rho_2 \leq 0,34$, le ratio l/L est définie à 0,7.

L'approche utilisée donne de bons résultats pour des structures à barres (portiques) avec des attaches perpendiculaires rigides ou semi-rigides. Dans les autres cas, l'utilisateur doit évaluer les coefficients de flambement. Dans de tels cas, une approche plus raffinée (d'une analyse en stabilité) peut être appliquée.

NB :

La règle suivante s'applique spécifiquement pour k_y : dans le cas où le calcul retourne et pour le cas de charges 1 et pour le cas de charges 2 $k_y = 1,00$, alors k_y est pris égal à k_z . Cette règle est utilisée pour tenir compte de rotations possibles de la section.

Calcul du coefficient de flambement – depuis une analyse en stabilité

Lorsqu'une donnée d'élément pour le flambement provenant de la stabilité est définie, la charge de flambement critique N_{cr} pour un élément prismatique est calculée comme suit :

$$N_{cr} = \lambda \cdot N_{Ed}$$

En utilisant la formule d'Euler, le coefficient de flambement k peut alors être déterminé :

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(k \cdot s)^2} \quad \Rightarrow \quad k = \frac{1}{s} \cdot \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{N_{cr}}}$$

Avec :

λ : coefficient de charge critique pour la combinaison de stabilité sélectionnée

N_{Ed} : effort de calcul dans l'élément

E : module d'Young (moyenne)

I : moment d'inertie

s : longueur de l'élément

2.4.10. Poutres sollicitées soit en compression soit par une combinaison de compression et flexion

Ce contrôle en stabilité est effectué conformément à l'article 6.3.3.

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas où un moment fléchissant $M_{y,Ed}$ est présent.

Le moment critique $M_{y,crit}$ est déterminé en utilisant la formule générale (6.31).

NB :

Le module de cisaillement $G_{0,05}$ n'est donné dans aucune référence de matériau mais est nécessaire pour le contrôle bois selon la norme. Cette valeur est calculée pendant le contrôle comme $E_{0,05} / 16$, comme décrit dans la Réf. [7] pages 109 et 209.

Longueur efficace l_{eff}

La longueur efficace pour le déversement est modifiée en fonction du type de chargement et de la position de la charge.

- **Type de chargement**

Le ratio entre la longueur efficace L_{eff} et la longueur de la portée est déterminé conformément au tableau 6.1.

La répartition du moment est comparé plusieurs répartitions de moments standards. Ces répartitions de moments standards sont :

- Des moments linéaires générés par une charge répartie q
- Des moments linéaires générés par une charge ponctuelle F
- Des moments linéaires qui ont un maximum au début ou à la fin de la poutre

La répartition du moment standard qui est la plus proche de la répartition du moment en cours détermine le type de chargement.

Le tableau 6.1 distingue les poutres simples des portes à faux. Un porte à faux est défini comme un élément à la fin d'un système de flambement qui des extrémités libres pour les deux axes, yy et zz. De plus, la longueur de déversement doit correspondre à la longueur totale du système du système de flambement.

Tableau 6.1 — Longueur efficace définie comme un rapport de la portée

Type de poutre	Type de chargement	$\ell_{ef}/\ell^{(3)}$
Sur appuis simples	Moment constant	1,0
	Charge répartie constante	0,9
	Charge concentrée au milieu de la portée	0,8
Porte à faux	Charge répartie constante	0,5
	Charge concentrée agissant à l'extrémité libre	0,8

a) Le rapport entre la longueur efficace ℓ_{ef} et la portée ℓ est valable pour une poutre dont les appuis sont limités en torsion et chargée en son centre de gravité. Si la charge est appliquée sur la fibre comprimée de la poutre, ℓ_{ef} doit être augmenté de 2 h et peut être diminué de 0,5 h pour une charge appliquée sur la fibre tendue de la poutre.

- Position de la charge

Comme spécifié dans le tableau 6.1, la longueur efficace L_{eff} est modifiée en fonction de la position de la charge.

Dans le cas où l' « Influence de la position de la charge » dans les données de flambement est définie sur « Déstabilisante », alors : $L_{eff} = L_{eff} + 2.h$

Dans le cas où l' « Influence de la position de la charge » dans les données de flambement est définie sur « Stabilisante », alors : $L_{eff} = L_{eff} - 0,5.h$

Avec h égal à la dimension verticale maximale de la section :

$$h = (z_{max} - z_{min})$$

z_{max} = coordonnée verticale maximale de la fibre

z_{min} = coordonnée verticale minimale de la fibre

Interaction

Dans le cas où, en plus d'un moment fléchissant $M_{y,Ed}$, un effort normal de compression N_{Ed} est également présent, le contrôle supplémentaire suivant est effectué conformément à la formule (6.35) :

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

NB :

Cette interaction n'est considérée que pour le déversement et le flambement flexionnel dans l'axe faible. Le flambement flexionnel dans l'axe fort et la flexion autour de l'axe faible ne sont pas considérés.

Dans le cas où l'annexe nationale allemande est choisie, des contrôles supplémentaires d'interaction sont effectués qui tiennent compte de ces effets.

2.4.11. Éléments à section variable ou à forme courbe

Des contrôles spécifiques pour les éléments à section variable ou à forme courbe sont effectués conformément à l'article 6.4.

En général, chaque élément non-uniforme est vérifié dans chaque section en utilisant les propriétés de la section en cette section / endroit de l'élément.

De plus, des règles spécifiques sont appliquées pour les éléments qui sont détectés comme courbe ou à décroissance :

- Les règles pour les poutres à simple décroissance sont données dans l'article 6.4.2
- Les règles pour les poutres à double décroissance sont données dans l'article 6.4.3
- Les règles pour les poutres courbes sont données dans l'article 6.4.3

NB :

Les éléments cambrés / bombés ne sont pas pris en charge.

Tous les contrôles supplémentaires pour les éléments à décroissance ou courbe sont effectués uniquement en cas de la présence d'un moment fléchissant $M_{y,Ed}$.

Poutres à simple décroissance

Les spécificités de ces éléments sont données dans l'article 6.4.2.



▪ Définition

Un élément à simple décroissance est défini avec les caractéristiques suivantes :

- Une section rectangulaire
 - o RECT (bois)
 - o Rectangle (formes géométriques)
 - o Rectangulaire plein (Code forme 7)
- Un matériau de type collé, laminé
- Seule la hauteur varie linéairement sur la totalité de la longueur de l'élément
- La hauteur à l'extrémité la plus grande doit être plus large que la largeur de la section.
- L'alignement du jarret / partie variable est un des suivants :
 - o Face supérieure
 - o Supérieure gauche
 - o Supérieure droite
 - o Face inférieure
 - o Inférieure gauche
 - o Inférieure droite

NB :

L'EN 1995-1-1 donne des règles uniquement en cas d'éléments à simple décroissance sur un bord, ainsi un défaut d'alignement (sur les deux faces) n'est pas supportée.

Seuls les éléments décroissants qui ont une géométrie qui remplit les conditions ci-dessus sont appelés des poutres à simple décroissance pour lesquelles les règles supplémentaires de l'EN 1995-1-1 s'appliquent.

- Contraintes aux bords de la décroissance

En fonction du signe du moment, le bord décroissant est ou bien en compression ou bien en traction.

Alignement supérieur & $M_{y,Ed} > 0 \Rightarrow$ Bord décroissant en traction

Alignement supérieur & $M_{y,Ed} < 0 \Rightarrow$ Bord décroissant en compression

Alignement inférieur & $M_{y,Ed} > 0 \Rightarrow$ Bord décroissant en compression

Alignement inférieur & $M_{y,Ed} < 0 \Rightarrow$ Bord décroissant en traction

NB :

Les contraintes au bord décroissant sont basées uniquement sur $M_{y,Ed}$, pas sur la combinaison de N_{Ed} , $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ car leur interaction est prise en compte dans les formules d'interaction.

- Coefficient de réduction de résistance

En fonction des contraintes sur le bord décroissant, le coefficient de réduction de résistance $k_{m,\alpha}$ est déterminé.

Face décroissante en traction :

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,y,d}}{0,75 \cdot f_{v,d}} \cdot \tan\alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,y,d}}{f_{t,90,d}} \cdot \tan^2\alpha\right)^2}}$$

Face décroissante en compression :

$$k_{m,\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f_{m,y,d}}{0,75 \cdot f_{v,d}} \cdot \tan\alpha\right)^2 + \left(\frac{f_{m,y,d}}{f_{c,90,d}} \cdot \tan^2\alpha\right)^2}}$$

L'angle de la pente du bord décroissant est calculé comme suit :

$$\tan(\alpha) = \frac{H_L - H_S}{L}$$

Avec :

H_L : hauteur de l'extrémité la plus grande

H_s : hauteur de l'extrémité la plus petite

L : longueur de l'élément

NB :

Les coefficients de réduction sont tous les deux limités à un maximum de 1,00.

- Influence sur les contrôles en section

Pour le contrôle en flexion, de même que pour les contrôles combinés en flexion et compression/traction axiale, les modifications suivantes sont faites :

- La résistance en flexion de l'axe fort $f_{m,y,d}$ est multipliée par $k_{m,\alpha}$.

Par exemple :

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \Rightarrow \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{m,\alpha} * f_{m,y,d}}$$

- Le coefficient de hauteur $k_{h,y}$ est calculée en utilisant les propriétés de la section à l'extrémité la plus grande (H_L).

- Influence sur les contrôles en stabilité pour le flambement

Pour le contrôle au flambement (poteaux soumis à de la compression ou à de la flexion combinée à de la flexion), l'EN 1995-1-1 ne donne pas de règles particulières. Cela implique que :

- La résistance en flexion de l'axe fort $f_{m,y,d}$ est multipliée par $k_{m,\alpha}$.
- L'élanement dans chaque section est calculé en utilisant la section et l'inertie en cours à chaque section / endroit donné(e).

- Influence sur les contrôles en stabilité pour le déversement

Pour le contrôle au déversement (poutres soumises à de la flexion ou de la flexion combinée à de la compression), les modifications suivantes sont effectuées basées sur les contraintes au bord décroissant.

- Bord décroissant en traction

Dans le cas où le bord décroissant est en traction, alors le déversement ne se produit pas de ce côté-là. Dans ce cas, le moment critique $M_{y,crit}$ et les contraintes critiques en flexion $\sigma_{m,crit}$ sont calculés en utilisant les propriétés de la section de l'extrémité la plus grande de l'élément (H_L). Cela implique que I_x , I_z et W_y de même que h utilisé dans L_{eff} sont toutes prises depuis la section la plus grande de l'élément décroissant par opposition à la section en cours.

➤ Bord décroissant en compression

Dans le cas où le bord décroissant est en compression, alors le déversement se produit de ce côté-là. Dans ce cas, les modifications suivantes sont faites :

- La résistance en flexion de l'axe fort $f_{m,y,d}$ est multipliée par $k_{m,\alpha}$.

$$\sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \cdot f_{m,y,d} \Rightarrow \sigma_{m,y,d} \leq k_{crit} \cdot k_{m,\alpha} \cdot f_{m,y,d}$$

- L'élancement relatif est calculé en incluant $k_{m,\alpha}$.

$$\lambda_{rel,m} = \frac{\sqrt{f_{m,k}}}{\sqrt{\sigma_{m,crit}}} \Rightarrow \lambda_{rel,m} = \frac{\sqrt{k_{m,\alpha} \cdot f_{m,k}}}{\sqrt{\sigma_{m,crit}}}$$

Le moment critique $M_{y,crit}$ et la contrainte de flexion critique $\sigma_{m,crit}$ sont calculés en utilisant les propriétés de la section de l'extrémité la plus grande de l'élément (H_L). Cela implique que I_t , I_z et W_y de même que h utilisé dans L_{eff} sont toutes prises depuis la section la plus grande de l'élément décroissant par opposition à la section en cours.

Pour plus d'informations sur la théorie, cf Réf. [7].

✚ **Poutres à double décroissance**

Les spécificités de ces éléments sont données dans l'article 6.4.3.



▪ Définition

Un élément à double décroissance est défini avec les caractéristiques suivantes :

- Une section rectangulaire
 - RECT (bois)
 - Rectangle (formes géométriques)
 - Rectangulaire plein (Code forme 7)
- Un matériau de type collé, laminé
- Un élément avec une définition variable de deux travées :
 - Chaque longueur de travée est la moitié de la longueur totale de l'élément
 - Seule la hauteur varie linéairement sur la totalité de la longueur de la travée

- Sur la première travée, la hauteur varie de la plus petite valeur à la plus grande. Sur la deuxième travée, la hauteur varie de la plus grande valeur à la plus petite.
- La hauteur au début de la première travée et à la fin de la seconde travée est la même.
- La hauteur à la fin de la première travée et au début de la seconde travée est la même.
- La hauteur à la fin de la première travée doit être plus large que la largeur de la section.
- L'alignement de la partie variable des deux travées est le même et est l'un des suivants :
 - Face supérieure
 - Supérieure gauche
 - Supérieure droite
 - Face inférieure
 - Inférieure gauche
 - Inférieure droite

Seuls les éléments décroissants qui ont une géométrie qui remplit les conditions ci-dessus sont appelés des poutres à double décroissance pour lesquelles les règles supplémentaires de l'EN 1995-1-1 s'appliquent.

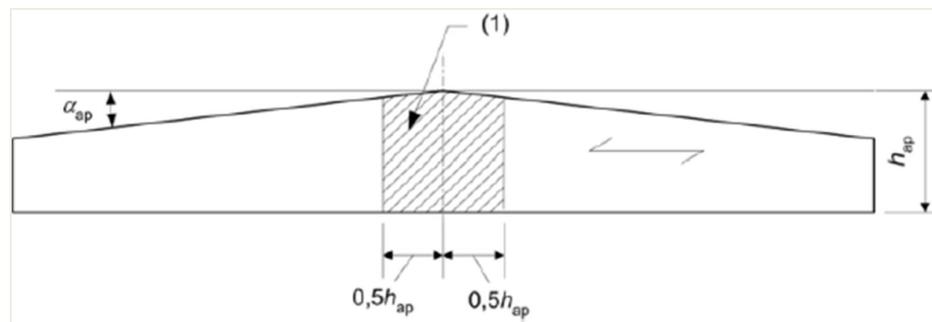
▪ Poutre à décroissance simple

Dans chacune des sections de la poutre à double décroissance, les modifications listées dans le paragraphe des poutres à simple décroissances s'appliquent également.

La longueur L de l'élément utilisée pour la détermination de l'angle de la pente est prise égale dans ce cas à la longueur de la travée.

▪ Zone de faitage (apex)

La zone de faitage pour un élément à double décroissance est définie comme suit :



Pour les sections situées au faitage (toutes les sections de la zone hachurée), des contrôles supplémentaires sont effectués :

- La contrainte de flexion dans la zone de faitage
- La traction perpendiculaire au fil dans la zone de faitage

- La traction perpendiculaire au fil combinée au cisaillement dans la zone de faitage

NB :

Pour une poutre à double décroissance, le rayon est infini : $r = \infty$

- Contrainte de flexion dans la zone de faitage

Pour une poutre à double décroissance, la contrainte de flexion dans la zone de faitage est vérifiée conformément à l'article 6.4.3(3). Comme indiqué dans la Réf. [7], cette formule est améliorée pour inclure aussi le coefficient de réduction pour le déversement :

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot k_r \cdot f_{m,d}$$

NB :

Comme indiqué dans la Réf. [12], l'influence du bord décroissant d'une poutre à simple décroissance ($k_{m,\alpha}$) n'est pas incluse dans la formule de vérification pour la contrainte de flexion dans la zone de faitage. Le coefficient k_{crit} utilisé dans la vérification ci-dessus peut inclure ce coefficient.

NB2 :

Comme indiqué dans la Réf. [13], les règles EN 1995-1-1 suppose un moment constant agissant sur la zone de faitage. C'est pourquoi $M_{ap,d}$ est pris égal au moment maximal de toutes les sections dans la zone de faitage.

- Traction perpendiculaire au fil dans la zone de faitage

Pour une poutre à double décroissance, la tension perpendiculaire au fil dans la zone de faitage est vérifiée conformément à l'article 6.4.3(6).

Le volume total de la poutre V_b est calculé comme suit pour une poutre à double décroissance :

$$b * L * [h_{ap} - 0,25 * L * \tan(\alpha_{ap})]$$

Le volume contraint V de la zone de faitage est calculé comme suit pour une poutre à double décroissance, cf Réf. [7] :

$$b * h_{ap}^2 * [1 - 0,25 * \tan(\alpha_{ap})]$$

et est limité à $(2/3) \cdot V_b$

Avec :

b : largeur de la poutre

h_{ap} : hauteur de la zone de faitage

α_{ap} : angle de la pente du bord décroissant

L : longueur de l'élément

NB :

Dans le cas où la formule alternative (6.55) est utilisée, la charge linéaire p_d est calculée comme la charge linéaire équivalente pour le diagramme de moment donné. De plus, cette charge linéaire est positive dans ce cas car entraîne de la compression sur le bord décroissant.

- Traction perpendiculaire au fil combinée au cisaillement dans la zone de faitage

Pour une poutre à double décroissance, la tension perpendiculaire au fil combinée au cisaillement dans la zone de faitage est vérifiée conformément à l'article 6.4.3(7).

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort de cisaillement $V_{z,Ed}$. Cet effort de cisaillement est pris en compte pour la section en cours dans laquelle le contrôle est effectué.

 **Poutre courbes**

Les spécificités de ces éléments sont données dans l'article 6.4.3.



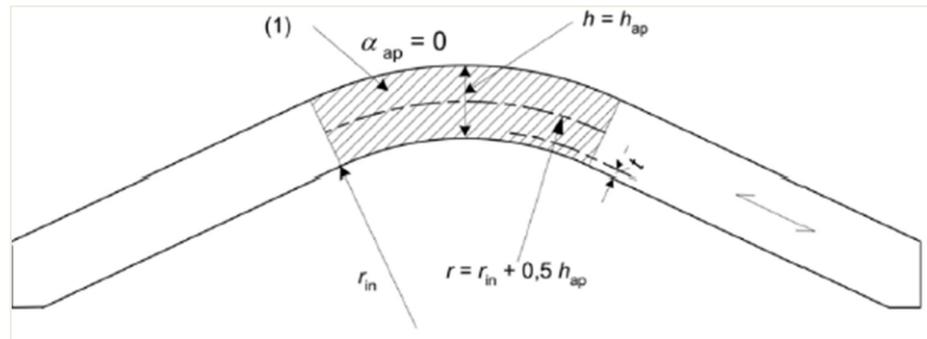
- Définition

Un élément courbe est défini avec les caractéristiques suivantes :

- Une section rectangulaire
 - RECT (bois)
 - Rectangle (formes géométriques)
 - Rectangulaire plein (Code forme 7)
- La hauteur doit être plus grande que la largeur de la section.
- Le matériau est de type collé, laminé.
- L'élément est uniforme, c'est-à-dire pas de jarret ou de donnée variable.
- L'élément a une forme de type « Polyligne » avec les caractéristiques suivantes :
 - Tous les nœuds sont dans un même plan
 - La polyligne a une séquence de type « Ligne », « Arc de cercle », « Ligne ».
 - La polyligne est « symétrique ».

- Zone de faitage (apex)

La zone de faitage pour un élément courbe est définie comme suit :



Pour les sections situées au faitage (toutes les sections de la zone hachurée), des contrôles supplémentaires sont effectués :

- La contrainte de flexion dans la zone de faitage
- La traction perpendiculaire au fil dans la zone de faitage
- La traction perpendiculaire au fil combinée au cisaillement dans la zone de faitage

- Contrainte de flexion dans la zone de faitage

Pour une poutre courbe, la contrainte de flexion dans la zone de faitage est vérifiée conformément à l'article 6.4.3(3). Comme indiqué dans la Réf. [7], cette formule est améliorée pour inclure aussi le coefficient de réduction pour le déversement :

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} \cdot k_r \cdot f_{m,d}$$

NB :

Comme indiqué dans la Réf. [13], les règles EN 1995-1-1 suppose un moment constant agissant sur la zone de faitage. C'est pourquoi $M_{ap,d}$ est pris égal au moment maximal de toutes les sections dans la zone de faitage.

- Traction perpendiculaire au fil dans la zone de faitage

Pour une poutre courbe, la tension perpendiculaire au fil dans la zone de faitage est vérifiée conformément à l'article 6.4.3(6).

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}$$

Le volume contraint V de la zone de faitage est calculé comme suit pour une poutre courbe, cf Réf. [7] :

$$\frac{\beta\pi}{180} \cdot b \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot h_{ap} \cdot r_{in})$$

et est limité à $(2/3) \cdot V_b$

Le volume total de la poutre V_b est calculé comme suit pour une poutre courbe :

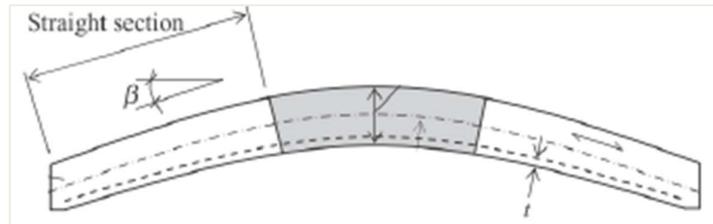
$$V + 2 * b * h_{ap} * L_s$$

Avec :

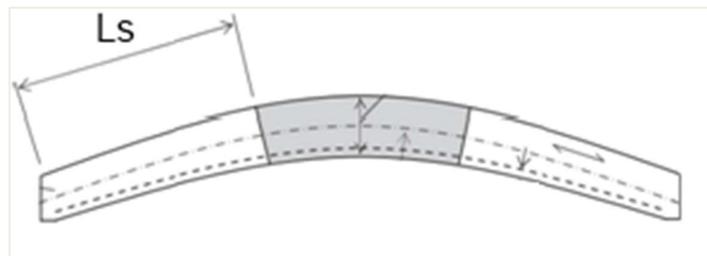
b : largeur de la poutre

h_{ap} : hauteur de la zone de faitage

β : angle de la pente des parties droites



L_s : longueur d'une partie droite



r_{in} : rayon interne de la partie courbe

- Traction perpendiculaire au fil combinée au cisaillement dans la zone de faitage

Pour une poutre courbe, la tension perpendiculaire au fil combinée au cisaillement dans la zone de faitage est vérifiée conformément à l'article 6.4.3(7).

Ce contrôle est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort de cisaillement $V_{z,Ed}$. Cet effort de cisaillement est pris en compte pour la section en cours dans laquelle le contrôle est effectué.

2.5 État limite de service

2.5.1. Généralités

Les contrôles ELS sont effectués conformément à l'article 2.2.3.

Les flèches relatives instantanées et finales (y compris le fluage) sont vérifiées.

La déformation finale est calculée conformément à la formule (2.2) :

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + \sum u_{fin,Qi}$$

NB :

Comme spécifié dans l'article 2.2.3(5), cette formule suppose une relation linéaire entre les actions et les déformations correspondantes. C'est pourquoi ce contrôle de déformation relative ne peut pas être effectué pour des combinaisons non-linéaires.

Pour chaque cas de charges, la déformation finale avec fluage est calculée sur la base du type d'action, comme donné dans les formules (2.3), (2.4) et (2.5) :

- Action permanente (G)

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def})$$

- Action variable dominante (Q_1)

$$u_{fin,Q1} = u_{inst,Q1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

- Action variable d'accompagnement (Q_i)

$$u_{fin,Qi} = u_{inst,Qi} \cdot (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

Cela est déterminé automatiquement dans le cas des combinaisons ELS selon la norme utilisée :

- ELS caractéristique
- ELS fréquente
- ELS quasi-permanente

NB2 :

Dans le cas où le contrôle est effectué pour un cas de charge variable simple, celle-ci sera prise comme une action variable dominante.

NB3 :

Dans le cas où le contrôle est effectué pour une combinaison ELS linéaire ou une combinaisons ELS enveloppe, il n'est pas possible de déterminer si les cas de charges variables sont dominants ou accompagnants. C'est pourquoi chaque cas de charges variable dans ce type de combinaisons sera pris comme action variable dominante.

NB3 :

Les contreflèches, selon l'article 7.2, ne sont pas prises en charge.

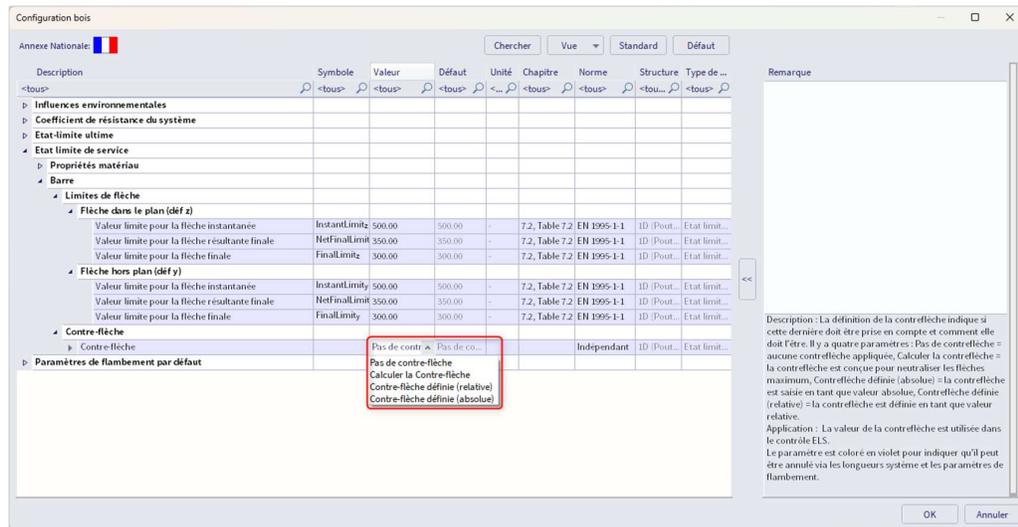
2.5.2. Calcul ELS des éléments 1D bois dans SCIA Engineer

Définition de la contre-flèche

La contre-flèche peut être défini à deux endroits différents dans SCIA Engineer :

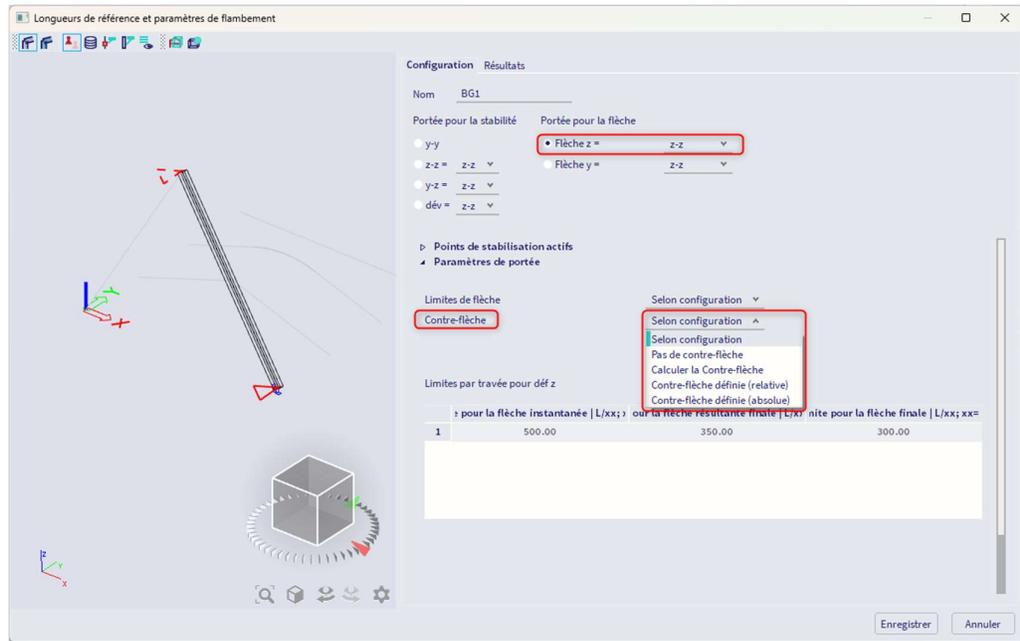
- Dans la « Configuration bois »

La définition de la contre-flèche définie dans la « Configuration bois » est appliquée sur les éléments ayant un matériau bois qui utilise le groupe de flambement par défaut ou pour lequel la « Configuration bois » est sur « Selon configuration ».



- Dans les groupes de flambement (via la fenêtre « Longueur de référence et paramètres de flambement » dans les propriétés)

La définition de la contre-flèche peut aussi être définie dans un groupe de flambement pour la flèche z uniquement.



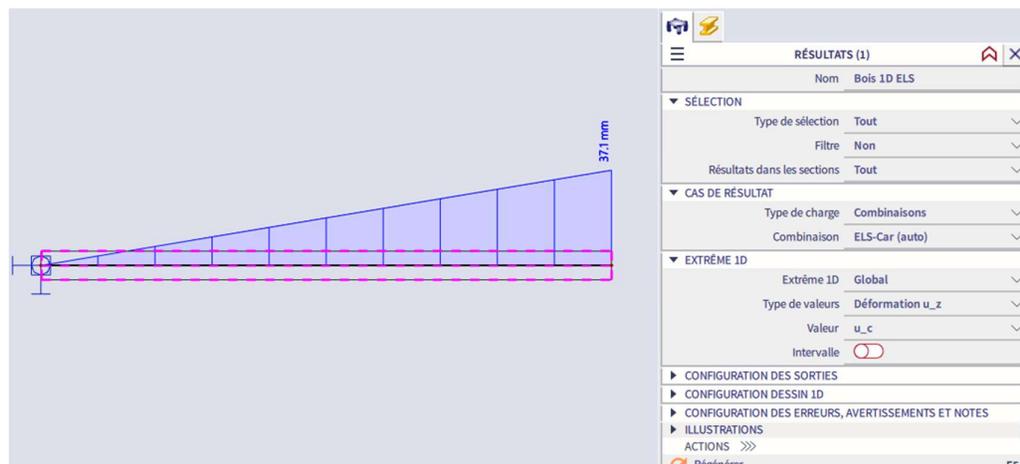
Formes de la contre-flèche

Dans SCIA Engineer, trois formes de contre-flèche sont possibles en fonction du type de portée :

- Flèche selon z avec un seul appui (= portée en porte à faux)

Forme linéaire

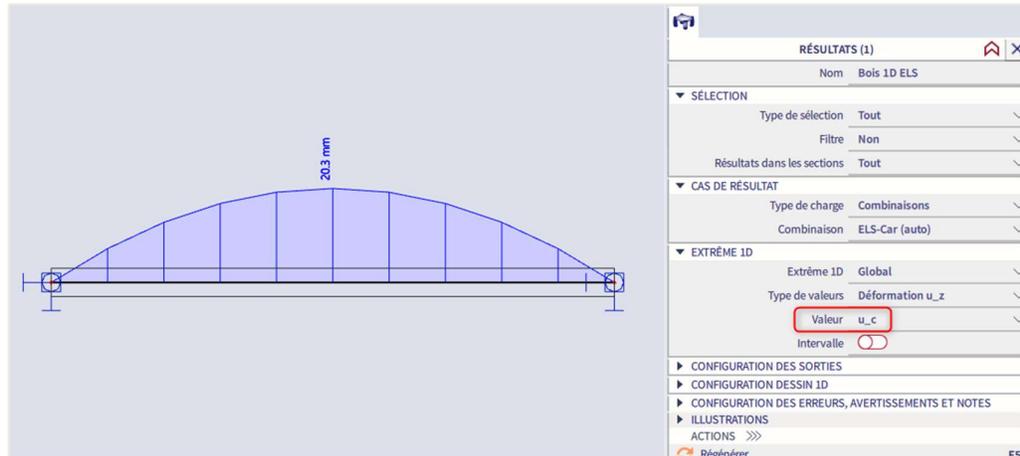
Dans ce cas, une forme linéaire est utilisée avec 0mm pour valeur de contre-flèche au niveau de l'extrémité encastree, et la valeur maximale au niveau de l'extrémité libre.



- Flèche selon z avec un appui à chaque extrémité (= poutre simple)

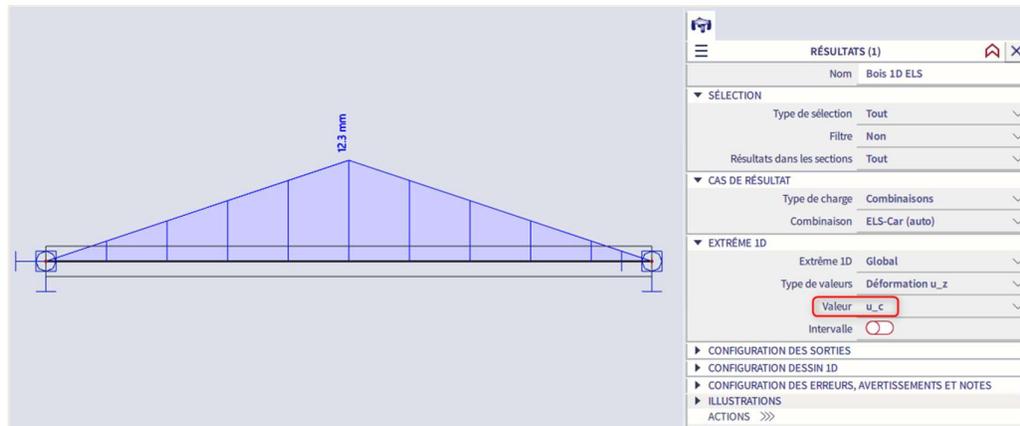
Forme parabolique

Dans ce cas, l'utilisateur peut choisir une forme « parabolique » de la contre-flèche. La valeur sera de 0mm au niveau de l'extrémité encastrée, et la valeur sera maximale au milieu de la travée.



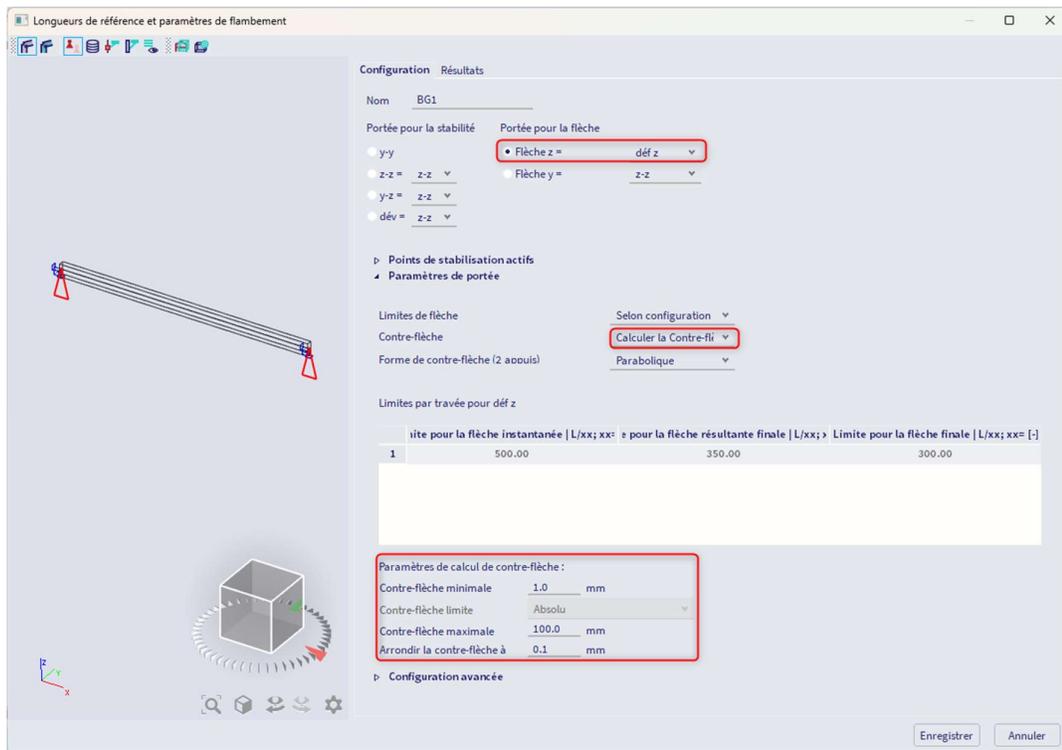
Forme bilinéaire

Dans ce cas, l'utilisateur peut choisir une forme « bilinéaire » de la contre-flèche. La valeur sera de 0mm au niveau de l'extrémité encastrée, et la valeur sera maximale au milieu de la travée.



🔧 Calcul de la contre-flèche

Avant le calcul de la contre-flèche, l'utilisateur doit définir quelques paramètres dans la « Configuration Bois » ou dans les paramètres de groupes de flambement si la contre-flèche est définie en « Calculer la contre-flèche ».



« Contre-flèche minimale » :

L'utilisateur peut saisir une valeur de contre-flèche minimum (absolue). Si la valeur de calcul est inférieure à cette valeur minimum, alors sera utilisée la contre-flèche minimale.

« Contre-flèche limite » & « Contre-flèche maximale » :

L'utilisateur peut saisir une valeur maximum de la contre-flèche. Si la valeur de calcul est supérieure à la valeur limite de la contre-flèche, alors sera utilisée la contre-flèche limite.

« Contre-flèche limite absolue » : la valeur maximale de la contre-flèche est définie au moyen d'une valeur absolue.

« Arrondir la contre-flèche à » :

La valeur de la contre-flèche obtenue est arrondie à l'incrément défini ici.

Davantage d'informations concernant l'algorithme de calcul de la contre-flèche sont disponibles à ce lien :

https://help.scia.net/24.0/en/#steel/code_checks_inc_fire_resistance/tb_steel_sls/steel_sls_check_camber.htm%3FTocPath%3DDesign%2520and%2520check%7CTimber%7CTimber%2520code%2520checks%2520-%2520Theoretical%2520background%7CEN%25201995%2520Code%2520Check%7CConsulted%2520Articles%7CServiceability%2520Limit%2520State%7C_____3

Chapitre 3: Contrôles EN 1995-1-1 pour les éléments 2D

3.1 Bases du calcul

L'article 4.4 spécifie les possibles procédures pour effectuer l'analyse d'une structure bois.

La procédure suivante est prise en charge dans le logiciel : analyse élastique linéaire de premier ordre, en utilisant les valeurs moyennes E_{moy} et G_{moy} pour les propriétés de rigidité.

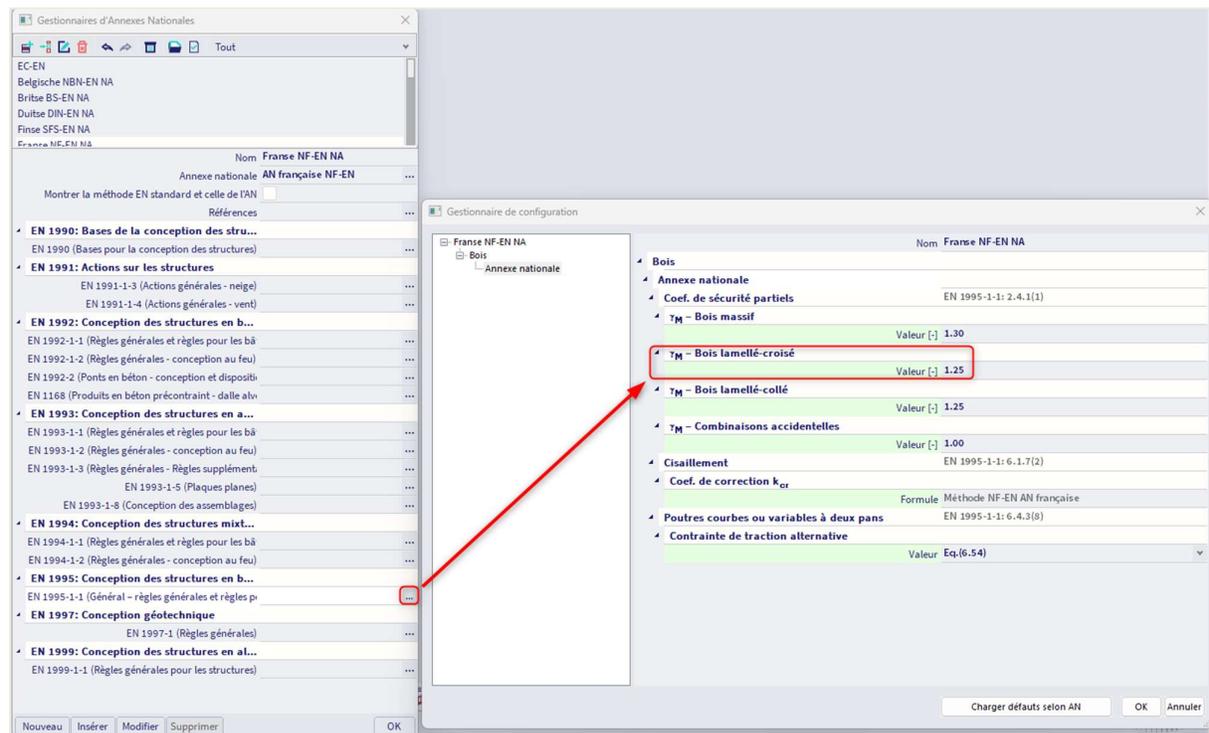
Les valeurs de calcul sont déterminées comme décrites dans l'article 4.5.1(1).

NB :

Il est important de souligner que certains contrôles combinés, comme la double flexion telle que spécifiée dans l'article 8.1.8.1, ne sont pas appliqués directement. A la place, les contrôles en flexion dans les deux directions sont effectués séparément. Ou en d'autres termes, les contrôles combinés sont pris en charge si les efforts internes agissants sont dans la même direction.

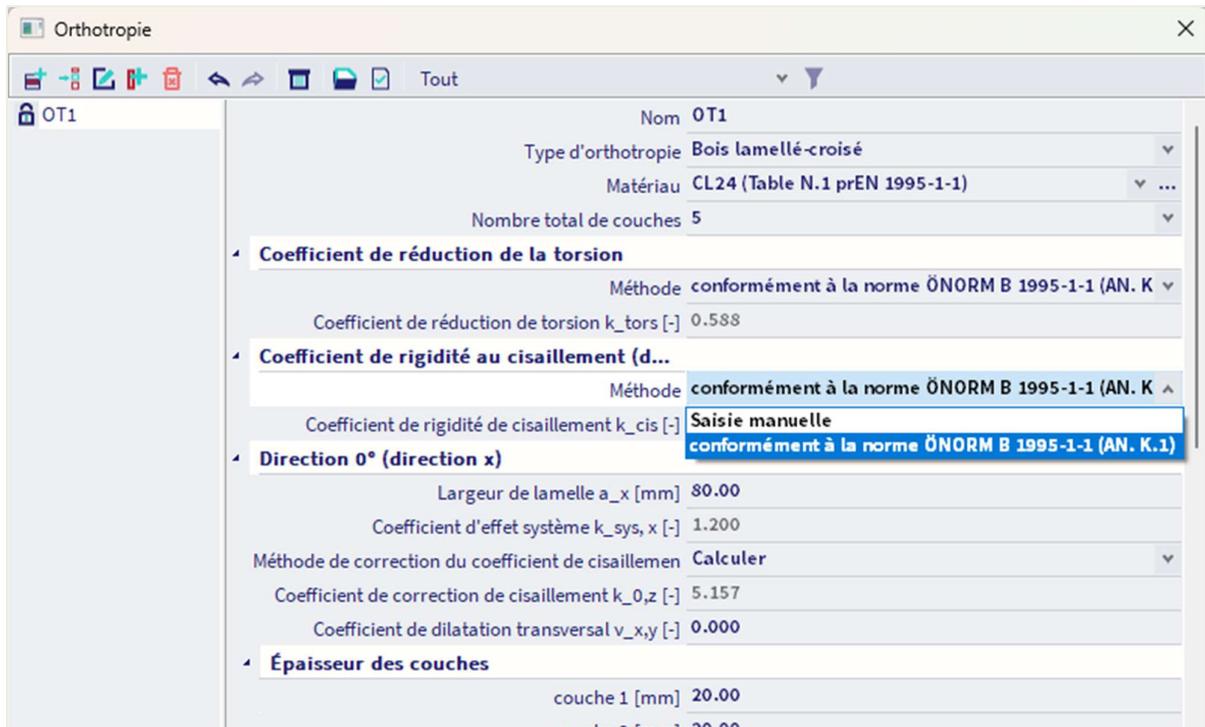
3.1.1. Coefficients partiels de sécurité

Les coefficients partiels de sécurité γ_M utilisés dans le contrôle CLT (Cross Laminated Timber = Bois Lamellé Croisé) doivent être définis dans la configuration de l'annexe nationale de l'EN 1995-1-1.



3.1.2. Extension de l'orthotropie au bois lamellé croisé CLT

Il est possible de choisir entre une saisie manuelle ou conformément à la norme ÖNORM B 1995-1-1 (AN.K.1) :



Calcul de k_{shear}

Conformément à la norme ÖNORM B 1995-1-1 (AN.K.1) :

$$k_{\text{shear}} = \frac{1}{1 + 6 * p_s * \left(\frac{d_{\text{max}}}{a}\right) * q_s}$$

Avec :

$$a = \frac{a_x + a_y}{2}$$

a_x et a_y : les largeurs des lamelles individuelles pour la direction donnée.
 d_{max} : l'épaisseur de la couche individuelle

	3 couches	5, 7 + couches
p_s	0,63	0,43
q_s	1,21	

Calcul de k_{tors}

Conformément à la norme ÖNORM B 1995-1-1 (AN.K.1) :

$$k_{\text{tors}} = \frac{1}{1 + 6 * p_D * \left(\frac{d_{\text{max}}}{a}\right) * q_D}$$

Avec :

$$a = \frac{a_x + a_y}{2}$$

a_x et a_y : les largeurs des lamelles individuelles pour la direction donnée.

d_{max} : l'épaisseur de la couche individuelle

	3 couches	5	7 + couches
p_D	0,89	0,67	0,55
q_D	1,33	1,26	1,23

Davantage d'informations concernant l'orthotropie dans le lien :

https://help.scia.net/24.0/en/#modelling/orthotropy/library_of_orthotropy/3_type_cross_laminated_timber.htm%3FTocPath%3DModelling%7COrthotropy%7CLibrary%2520of%2520orthotropy%7C_____9

3.1.3. Coefficient d'effet système K_{sys}

Comme spécifié dans l'article 6.6, lorsque plusieurs éléments, composants ou sous-systèmes espacés uniformément sont latéralement connectés par un système de redistribution des charges continues, les propriétés de résistance de l'élément peuvent être multipliées par un facteur d'effet système k_{sys} .

Le coefficient k_{sys} est calculé via la boîte de dialogue d'orthotropie conformément à l'article 8.4(4) de l'EN 1995-1-1. Les différentes largeurs des lamelles individuelles (a_x et a_y) peuvent être définies par direction, c'est pourquoi k_{sys} peut être différent par direction ($k_{sys,x}$ et $k_{sys,y}$).

Le nombre de lamelles chargées pour déterminer k_{sys} est calculé comme le rapport entre :

$$\frac{1000\text{mm}}{\text{largeurs des lamelles individuelles (ax ou ay)}}$$

Le coefficient d'effet système k_{sys} est toujours calculé dans la boîte de dialogue d'orthotropie mais uniquement si l'option « Appliquer le coefficient d'effet système » est activée dans la « Configuration bois » ou dans les données d'éléments 2D bois. Une fois activé, ce coefficient est appliqué dans le calcul de la résistance des contrôles suivants :

- Traction parallèle au fil
- Flexion

3.2 Propriétés des matériaux : coefficient de modification de résistance K_{mod}

La valeur par défaut du coefficient k_{mod} provient du tableau 5.1.

Comme spécifié dans l'article 5.1.3(2), si une combinaison comporte des actions appartenant à des classes de différentes durées de charges, une valeur du k_{mod} est utilisée et correspond à l'action ayant la plus petite durée.

3.3 Calculs CLT ELU

3.3.1. Contrôle en section

Traction parallèle au fil

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 8.1.2.
Il est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort normal de traction n_x ou n_y .

Compression parallèle au fil

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 8.1.5.
Il est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort normal de compression n_x ou n_y .

Flexion

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 8.1.8.
Il est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un moment fléchissant M_x ou M_y . Les contraintes de flexion pour la direction donnée sont calculées pour chaque face par couche (côté supérieur et inférieur), la contrainte de flexion agissante maximale est alors utilisée dans le contrôle en flexion.

NB :

Les formules 8.19 et 8.20 de l'article 8.1.8.1 sont adaptées pour les éléments 1D ; dans le cas d'éléments 2D comme des panneaux CLT, le contrôle en flexion est effectué par direction individuellement.

Flexion et traction axiale combinées

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 8.1.9.

Il est effectué uniquement dans le cas de la présence à la fois d'un effort normal de traction n_x ou n_y , mais aussi d'un moment de flexion m_x ou m_y pour la même direction.

NB :

Les formules 8.22 et 8.23 de l'article 8.1.9 sont adaptées pour les éléments 1D ; dans le cas d'éléments 2D comme des panneaux CLT, le contrôle en flexion et traction axiale combinées est effectué par direction individuellement.

Flexion et compression axiale combinées

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 8.1.10.

Il est effectué uniquement dans le cas de la présence à la fois d'un effort normal de compression n_x ou n_y , mais aussi d'un moment de flexion m_x ou m_y pour la même direction.

NB :

Les formules 8.24 et 8.25 de l'article 8.1.10 sont adaptées pour les éléments 1D ; dans le cas d'éléments 2D comme des panneaux CLT, le contrôle en flexion et compression axiale combinées est effectué par direction individuellement.

Cisaillement transversal

Ce contrôle, de cisaillement transversal lié à des charges hors-plan, est effectué conformément à l'article 8.1.11.1(1).

Il est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort tranchant v_x ou v_y . Les contraintes de cisaillement pour la direction donnée sont calculées sur chaque face et pour chaque couche (face supérieure et inférieure) et aussi au centre du panneau CLT. La contrainte de cisaillement agissante maximale dans les couches orientées dans la direction donnée, de même que celle dans la direction perpendiculaire sont alors utilisées dans le contrôle.

NB :

Le cisaillement par roulement est pris en compte en évaluant la contrainte de cisaillement maximale pour la couche orientée perpendiculairement avec la résistance de cisaillement de roulement de calcul via la formule 8.26.

Cisaillement dans le plan

Ce contrôle est effectué conformément à l'article 8.1.11.2(2).

Il est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort de cisaillement n_{xy} .

La contrainte de calcul de cisaillement dans le plan pour la direction donnée est calculée conformément à l'EN 1995-1-1 : 8.36 donné par CEN/TC 250/SC 5 N 1489.

$$\tau_{v,xy,d} = \frac{6 \cdot n_{xy}}{a_x^2 \cdot n_{bond}} \cdot \left(\frac{1}{n_{x,l}^2} - \frac{1}{n_{x,l}^3} \right)$$

$$\tau_{v,yx,d} = \frac{6 \cdot n_{xy}}{a_y^2 \cdot n_{\text{bond}}} \cdot \left(\frac{1}{n_{y,l}^2} - \frac{1}{n_{y,l}^3} \right)$$

Avec :

n_{xy} : effort de cisaillement longitudinal sur l'élément de maillage

a_x : largeur d'une lamelle dans la direction x

a_y : largeur d'une lamelle dans la direction y

n_{bond} : nombre de couches d'interface (nombre de couches CLT – 1)

$n_{x,l}$: nombre de laminations à travers toutes les couches dans la direction x pour 1 mètre de large (1000mm / a_x)

$n_{y,l}$: nombre de laminations à travers toutes les couches dans la direction y pour 1 mètre de large (1000mm / a_y)

Les contraintes de cisaillement pour la direction i dans les lignes de liaison entre les laminations des couches orthogonales adjacentes sont vérifiées conformément à l'EN 1995-1-1 : 8.31 :

$$\tau_{\text{tor,noeud},i,d} = \frac{3}{2} \cdot \tau_{v,i,d} \cdot \left(\frac{t_l}{a_i} \right) \leq f_{\text{tor,noeud},d}$$

Avec :

T_l : épaisseur maximale des lamelles (l'épaisseur des couches extérieures est réduite de 20% conformément à l'article 8.1.11.2(2a)).

$f_{\text{tor,noeud},d}$: résistance en torsion de calcul de la zone de lamelles collées transversalement.

Torsion et torsion combinée au cisaillement

Ces contrôles sont effectués conformément à l'article 8.1.12.

Il est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un moment de torsion m_{xy} ou dans le cas ou de la présence d'un effort de cisaillement n_{xy} et d'un effort tranchant transversal v_x ou v_y .

La contrainte de cisaillement maximale due au moment de torsion est calculée comme suit :

$$\tau_{\text{tor},d} = \frac{m_{xy} \cdot t_{\text{CLT}}}{I_t}$$

Avec :

m_{xy} : moment de torsion de l'élément de maillage

t_{CLT} : épaisseur totale de la plaque CLT

I_t : moment d'inertie en torsion calculé conformément à l'EN 1995-1-1 : D.11 :

$$I_t = \frac{t_{\text{CLT}}^3 \cdot h_{\text{CLT}}}{3} \cdot \left(1 - 0,63 \cdot \frac{t_{\text{CLT}}}{h_{\text{CLT}}} \right)$$

h_{CLT} : largeur de la section équivalente (= 1000mm)

Dans le cas où aucun effort de cisaillement dans le plan n_{xy} ne serait présent, la formule 8.12 de l'article 8.1.12.1 est utilisée pour le calcul du taux de travail (contrôle unité).

Toutefois, l'article 8.1.11.2(3) de l'EN 1995-1-1 spécifie qu'une interaction linéaire des contraintes de cisaillement est nécessaire dans le cas de la présence d'un chargement dans le plan ou perpendiculaire au plan. C'est pourquoi dans le cas où une contrainte de cisaillement dans le plan est présente sur un élément de maillage ($n_{xy} \neq 0$), la formule 8.12 de l'article 8.1.12.1 est étendue à :

$$UC_{V,xz+M,xy} = \frac{|\tau_{tor,d}|}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} + \left(\frac{|\tau_{v,xz,d}|}{k_v \cdot f_{v,d}} \right)^2 + \text{MAX} \left(\frac{|\tau_{tor,noeud,x,d}|}{f_{tor,noeud,d}}; \frac{|\tau_{tor,noeud,y,d}|}{f_{tor,noeud,d}} \right)$$

Et :

$$UC_{V,yz+M,xy} = \frac{|\tau_{tor,d}|}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} + \left(\frac{|\tau_{v,yz,d}|}{k_v \cdot f_{v,d}} \right)^2 + \text{MAX} \left(\frac{|\tau_{tor,noeud,x,d}|}{f_{tor,noeud,d}}; \frac{|\tau_{tor,noeud,y,d}|}{f_{tor,noeud,d}} \right)$$

NB :

La formule 8.12 de l'article 8.1.12.1 est adaptée pour les éléments 1D ; dans le cas d'éléments 2D comme des panneaux CLT, le contrôle en torsion et cisaillement combinés est effectué par direction individuellement. Les coefficients k_{shape} et k_v pour les panneaux CLT sont définis à 1.

3.3.2. Contrôle en stabilité

Le contrôle au flambement flexionnel est effectué conformément à l'article 8.2.2.2.

Il est effectué uniquement dans le cas de la présence d'un effort normal de compression n_x ou n_y .

Le coefficient d'imperfection β_c utilisé dans l'équation 8.42 est définie sur la valeur de 0,1, comme décrit dans la publication « Cross-Laminated Timber – Structural Design, Wallner-Novak M., 2014 (article 5.10).

NB :

Les formules 8.39 et 8.40 de l'article 8.2.2.2(2) est adaptée pour les éléments 1D ; dans le cas d'éléments 2D comme des panneaux CLT, le contrôle au flambement flexionnel est effectué par direction individuellement.

Lorsque l'option « Flambement flexionnel pris en compte pour l'analyse au second ordre » est activée dans la « Configuration bois », la « Non-linéarité géométrique » est activée et le contrôle est effectué pour une combinaison non-linéaire, le flambement flexionnel est donc ignoré et une note est imprimée.

3.3.3. Erreurs et avertissements

Les erreurs et avertissements concernant le CLT sont décrites à ce lien :

https://help.scia.net/webhelplatest/en/#timber/setup_check_member_data/tb_timbercodecheck_clt/en/clt_ew_n.htm

3.3.4. Prérequis et fonctionnement du calcul de bois CLT dans SCIA Engineer

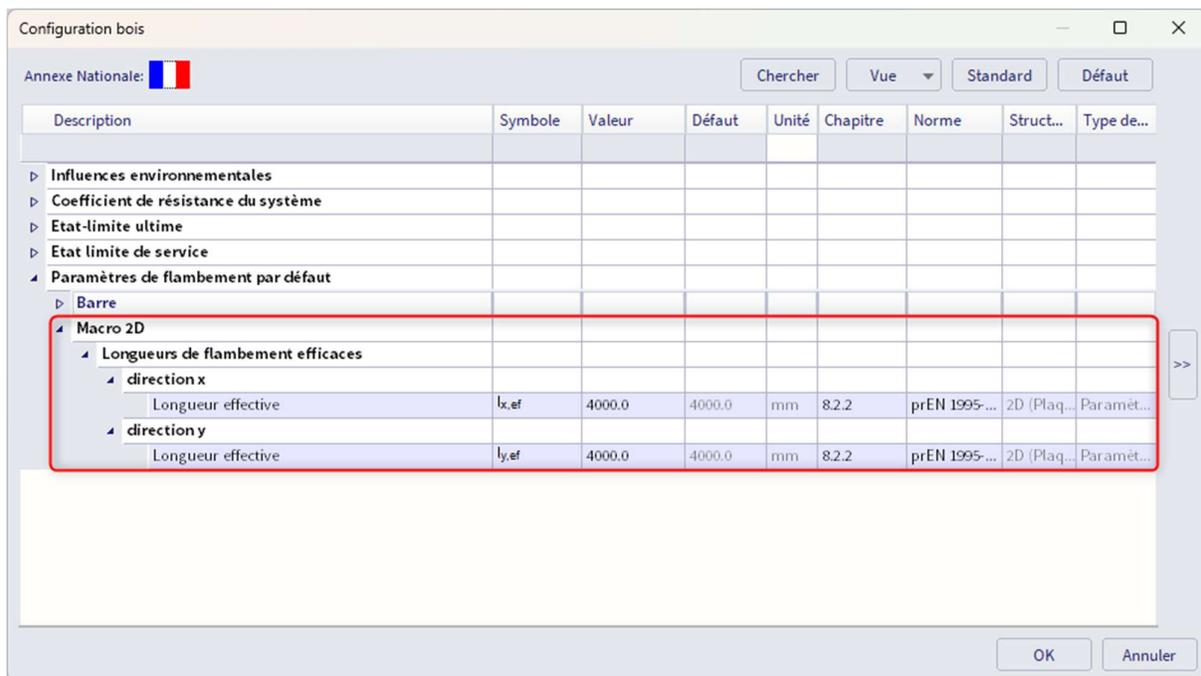
L'utilisateur doit au préalable :

- Définir un matériau CLT dans les « Paramètres du projet »
- Assigner un élément 2D en bois avec orthotropie CLT

Le calcul CLT à l'ELU se fait comme suit :

- L'orthotropie définit une « rigidité moyenne » utilisée dans le calcul,
- La rigidité est utilisée pour calculer les efforts internes,
- La répartition des contraintes est recalculée à partir des efforts internes et des propriétés de la section CLT,
- Les contraintes sont ensuite vérifiées selon la norme.

La longueur de flambement doit être saisie manuellement dans la « Configuration bois » :



Chapitre 4: Références

- [1] Eurocode 5
Design of timber structures
Part 1-1 : General – Common rules and rules for buildings
EN 1995-1-1:2004
- [2] Eurocode 5
Design of timber structures
Part 1-1 : General – Common rules and rules for buildings
EN 1995-1-1:2004/AC:2006 Corrigendum
- [3] Eurocode 5
Design of timber structures
Part 1-1 : General – Common rules and rules for buildings
EN 1995-1-1:2004/A1:2008 Addendum
- [4] EN 338:2009
Structural timber - Strength classes
- [5] EN 1194:1999
Timber structures
Glued laminated timber
Strength classes and determination of characteristic values
- [6] Handbook on structural timber design to Eurocode 5 (IS EN 1995-1-1) rules
including strength capacity tables for structural elements
J. Harrington , M. Jacob and C. Short
COFORD, 2006
- [7] STRUCTURAL TIMBER DESIGN to Eurocode 5
J. Porteous, A. Kermani
Blackwell Publishing Ltd, 2007
- [8] Eurocode 5
Design of timber structures
Part 1-1 : General – Common rules and rules for buildings
German National Annex – Nationally determined parameters
DIN EN 1995-1-1/NA:2010-12
- [9] Handleiding moduul STACO VGI
Staalbouwkundig Genootschap
Staalcentrum Nederland
5684/82
- [10] Newmark N.M. A simple approximate formula for effective end-fixity of columns
J.Aero.Sc. Vol.16 Feb.1949 pp.116
- [11] Stabiliteit voor de staalconstructeur
uitgave Staalbouwkundig Genootschap 32
- [12] Design and perpendicular to grain tensile stress in double-tapered glulam beams,
Henrik Danielsson
Wallin & Dalholm Digital AB, Lund, Sweden, May, 2010
- [13] Timber Engineering
Structural Timber Education Programme STEP 1
Centrum Hout, 1995