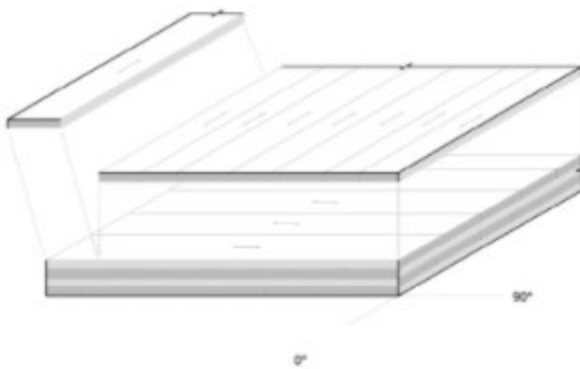


## Le bois lamellé-croisé (CLT) : la méthode de construction de l'avenir ?

Le bois lamellé-croisé (CLT) est un produit plat en bois massif qui peut être utilisé comme élément de structure. Grâce à ses propriétés environnementales, esthétiques et énergétiques favorables, il est parfois appelé le matériau de l'avenir.

Le produit innovant en forme de panneau est doté d'une structure stratifiée et de propriétés physico-mécaniques intéressantes. Il se compose d'au moins trois couches de panneau collées alternativement à 90 degrés les unes par rapport aux autres. Les panneaux individuels ont principalement une largeur de 40mm à 300mm et une épaisseur de 6mm à 45mm.

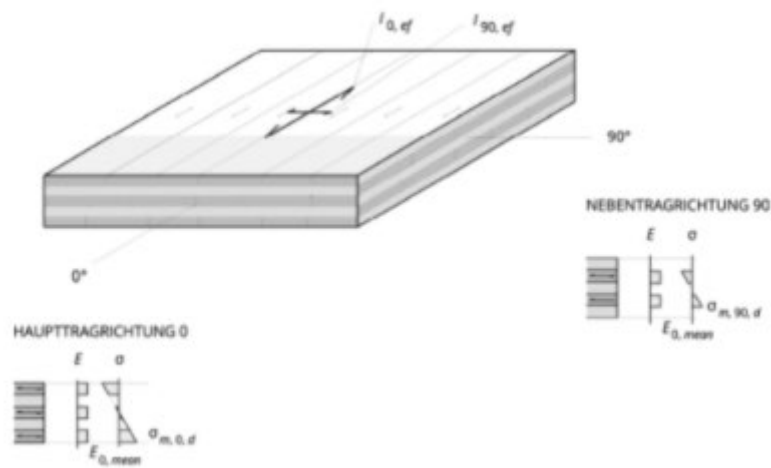


Les panneaux CLT ne sont pas nouveaux, ils sont produits depuis 1995 mais n'ont pas été inclus dans les normes jusqu'à présent. Leur utilisation dans le secteur de la construction a été réglementée par des directives techniques au niveau européen (ETA : European Technical Assessment). Avec la deuxième génération de l'Eurocode 5, le CLT fera immédiatement partie de cette même norme, de sorte que les ingénieurs structure disposent enfin d'un moyen de concevoir et de tester ces structures conformément à la norme. Dans la version préliminaire du nouvel Eurocode 5, attendue vers 2025, le CLT est intégré à chaque contrôle (le cas échéant) de la norme.

Les possibilités d'application des plaques CLT sont assez larges. Les propriétés porteuses peuvent être utilisées pour agir comme :

- Élément de plancher
- Élément de toiture
- Élément mural
- ...

Les panneaux CLT sont orthotropes car les propriétés de charge sont différentes dans les deux directions (0° et 90°). Ceci est une conséquence directe du nombre de plaques et du positionnement des éléments de la plaque dans une direction respective. La figure ci-dessous illustre l'orthotropie en utilisant les contraintes de flexion dans les deux directions (0° = direction porteuse principale, 90° direction porteuse secondaire) :



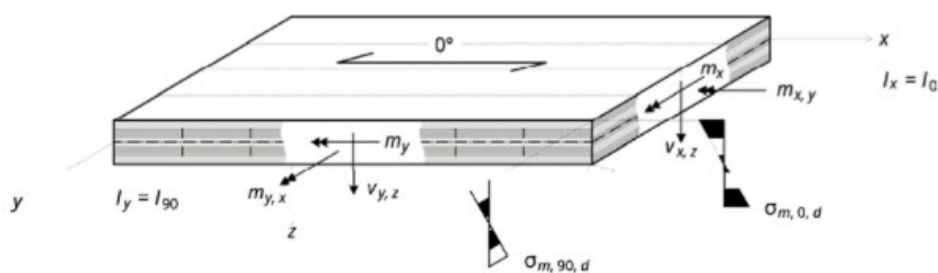
Pour les contraintes de flexion, seules les couches orientées dans la direction respective sont prises en compte. Les couches orientées dans l'autre sens jouent le rôle d'écarteurs et ne sont chargées en cisaillement que dans la direction principale de la charge.

## CLT dans SCIA Engineer

Jusqu'à présent, il n'y a pas de contrôle pour les panneaux CLT dans SCIA Engineer, en raison de l'absence de directives dans l'Eurocode 5 actuel. Ces panneaux peuvent être vérifiées (par exemple à l'aide de feuilles Excel) à partir des efforts internes disponibles après analyse.

Le calcul des paramètres orthotropes peut être effectué comme suit sur la base de la théorie des plaques de Mindlin qui prend en compte la déformation liée aux efforts transversaux via D44 & D55 :

## Paramètres de rigidité de la plaque (flexion et cisaillement)



- Rigidité en flexion dans la direction x :  $D_{11} = \frac{E_{0,mean} * I_{0,net}}{(1 - \nu_{x,y} * \nu_{y,y})}$

En pratique :  $D_{11} = \frac{E_{0,mean} * I_{0,net}}{(1 - \nu_{x,y} * \nu_{y,y})}$

- Rigidité en flexion dans la direction y :  $D_{22} = \frac{E_{0,mean} * I_{90,net}}{(1 - \nu_{x,y} * \nu_{y,y})}$

En pratique :  $D_{22} = \frac{E_{0,mean} * I_{90,net}}{(1 - \nu_{x,y} * \nu_{y,y})}$

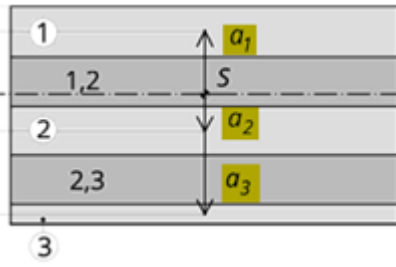
- Influence du moment de flexion sur la déformation transversale :

$$D_{12} = D_{21} = \sqrt{\nu_{x,y} * \nu_{y,y} * D_{11} * D_{22}}$$

En pratique (pas d'effets du coefficient de Poisson) :  $D_{12} = D_{21} = 0$

- Rigidité en torsion :  $D_{33} = k_{twist} * G_{0,mean} * \frac{b * d^3}{12}$
- Rigidité en cisaillement :  $D_{44} = \frac{1}{\kappa_{0,z}} * G_{0,mean} * A_{0,net}$
- Rigidité en cisaillement :  $D_{55} = \frac{1}{\kappa_{90,z}} * G_{0,mean} * A_{90,net}$

Avec :	
	$E_{0,mean}$ : module d'élasticité moyen dans la direction porteuse principale (0°).
	$G_{0,mean}$ : module G moyen dans la direction porteuse principale (0°)
	<p><math>\nu_{x,y}</math> &amp; <math>\nu_{y,y}</math> : coefficients de Poisson</p> <p>Dans la pratique, on ignore les effets des coefficients de Poisson, comme si des planches étaient "décollées" les unes des autres dans le même plan : <math>\rightarrow \nu_{x,y} = \nu_{y,y} = 0</math></p>
	<p><math>I_{0,net}</math> : moment d'inertie net dans la direction porteuse principale (0°), c'est-à-dire que seules les couches dans la direction porteuse principale doivent être prises en compte à l'aide de la formule ci-dessous :</p> $I_{0,net} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot \frac{b * d_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot b * d_i * a_i^2$ <p>Dans lequel :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>E_i</math> : module d'élasticité de la couche en question</li> <li>- <math>E_c</math> : module d'élasticité de référence (si toutes les couches ont le même module d'élasticité <math>\rightarrow \frac{E_i}{E_c} = 1</math>)</li> <li>- <math>b</math> : une largeur unitaire de 1m peut être utilisée</li> <li>- <math>d_j</math> : épaisseur de la couche en question</li> <li>- <math>a_j</math> : distance entre le centre de gravité de la plaque CLT dans son ensemble et le centre de gravité de la couche en question.</li> </ul>



$I_{90,net}$  : moment d'inertie net dans la direction porteuse secondaire (90°), c'est-à-dire que seules les couches dans la direction porteuse secondaire doivent être prises en compte à l'aide de la formule ci-dessous :

$$I_{90,net} = \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot \frac{b \cdot d_i^3}{12} + \sum_{i=1}^n \frac{E_i}{E_c} \cdot b \cdot d_i \cdot a_i^2$$

$k_{twist}$  : facteur de réduction de la rigidité en torsion  
 $k_{twist} \approx 0.65$

$d$  : épaisseur du panneau CLT (épaisseur totale)

$\kappa_{0,z}$  : coefficient de correction pour le cisaillement (hors plan) dans la direction porteuse principale (0°)

$$\kappa_{0,z} = \frac{\sum G \cdot A}{(E \cdot I_{0,net})^2} * \int_h \frac{[E(z) \cdot S(z)]^2}{G(z) \cdot b} dz$$

Valeurs indicatives pour les panneaux CLT avec des lamelles standard de différentes épaisseurs (20, 30, 40mm) pour  $\kappa_0 = \frac{1}{\kappa_{0,z}}$  :

Type 3s :  $0.15 \leq \kappa_0 \leq 0.18$

Type 5s :  $0.18 \leq \kappa_0 \leq 0.20$

Type 7s :  $0.25 \leq \kappa_0 \leq 0.29$

Type 9s :  $0.26 \leq \kappa_0 \leq 0.29$

Valeurs indicatives pour les panneaux CLT avec des lamelles standard d'épaisseur et de résistance égales et un ratio du module G de  $\frac{G_{90}}{G_0} = \frac{1}{10}$  :

Une couche :  $\kappa_0 = 0.83$

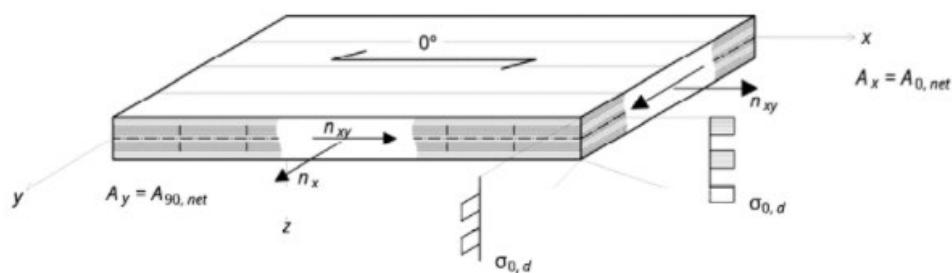
Trois couches :  $\kappa_0 = 0.21$

Cinq couches :  $\kappa_0 = 0.24$

Sept couches :  $\kappa_0 = 0.26$

	Neuf couches : $\kappa_0=0.27$
	<p><math>\kappa_{90,z}</math>: coefficient de correction pour le cisaillement (hors plan) dans la direction porteuse secondaire (90°)</p> $\kappa_{90,z} = \frac{\sum G * A}{(E * I_{90,net})^2} * \int_h \frac{[E(z) * S(z)]^2}{G(z) * b} dz$ <p>Les mêmes valeurs indicatives que ci-dessus d'appliquent également ici, mais pour :</p> $\kappa_{90} = \frac{1}{\kappa_{90,z}}$
	$A_{0,net}$ : surface nette dans la direction porteuse principale
	$A_{90,net}$ : surface nette dans la direction porteuse secondaire

### Paramètres de rigidité de la paroi (effort normal)

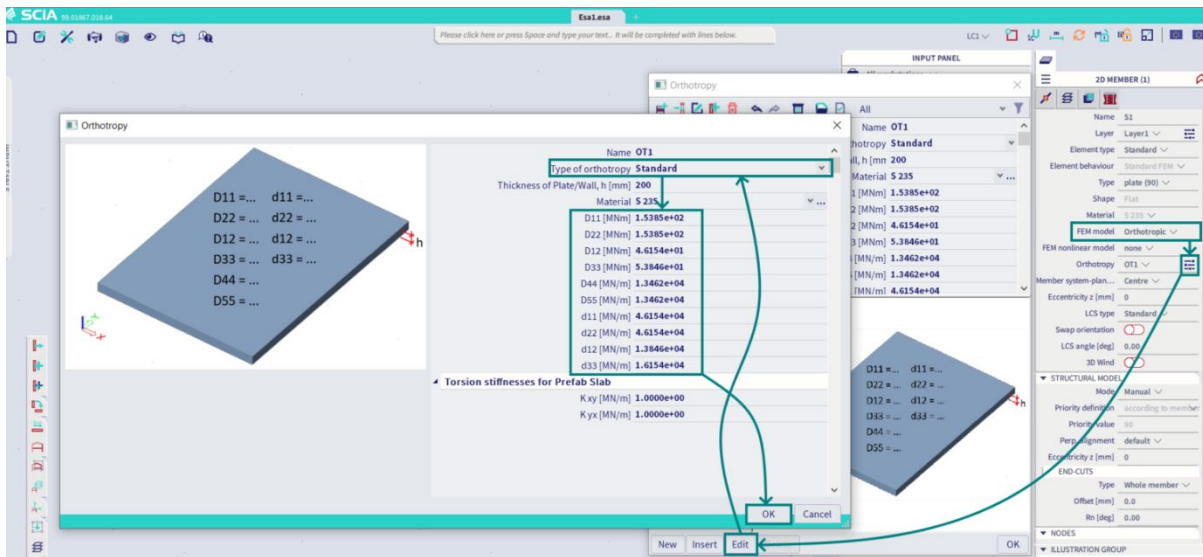


- Rigidité normale dans la direction x :  $d_{11} = E_{0,mean} * A_{0,net}$
- Influence de la déformation longitudinale sur la déformation transversale (effet du coefficient de Poisson) :  $d_{12} = \nu * d_{11}$   
En pratique :  $d_{12} = 0$
- Rigidité normale dans la direction y :  $d_{22} = E_{0,mean} * A_{90,net}$
- Rigidité en cisaillement :  $d_{33} = G_{s,mean} * A_{brutto} \approx 0.75 * G_{0,mean} * A_{brutto}$

### Saisie dans SCIA Engineer

Dès que les paramètres de rigidité sont calculés et connus, ils peuvent être saisis dans SCIA Engineer via l'orthotropie. Pour ce faire, il faut sélectionner l'élément plaque en question dans SCIA Engineer, puis modifier le modèle MEF en orthotrope dans les propriétés.

Ensuite, vous pouvez directement saisir les paramètres de rigidité dès que vous avez sélectionné le type d'orthotropie "standard". Voir la figure récapitulative ci-dessous :



Lors du calcul, les raideurs des panneaux CLT sont correctement prises en compte dans l'analyse. L'étape suivante consiste à évaluer les efforts internes qui en résultent au moyen de contrôles automatiques. Nous recommandons vivement la publication de proHolz (2014) : Cross-Laminated Timber Structural Design) dans lequel vous trouverez des méthodes pour vérifier un panneau CLT.

Sources :

proHolz Autriche (2014) : Conception des structures en bois lamellé-croisé

By Hamza Bachiri