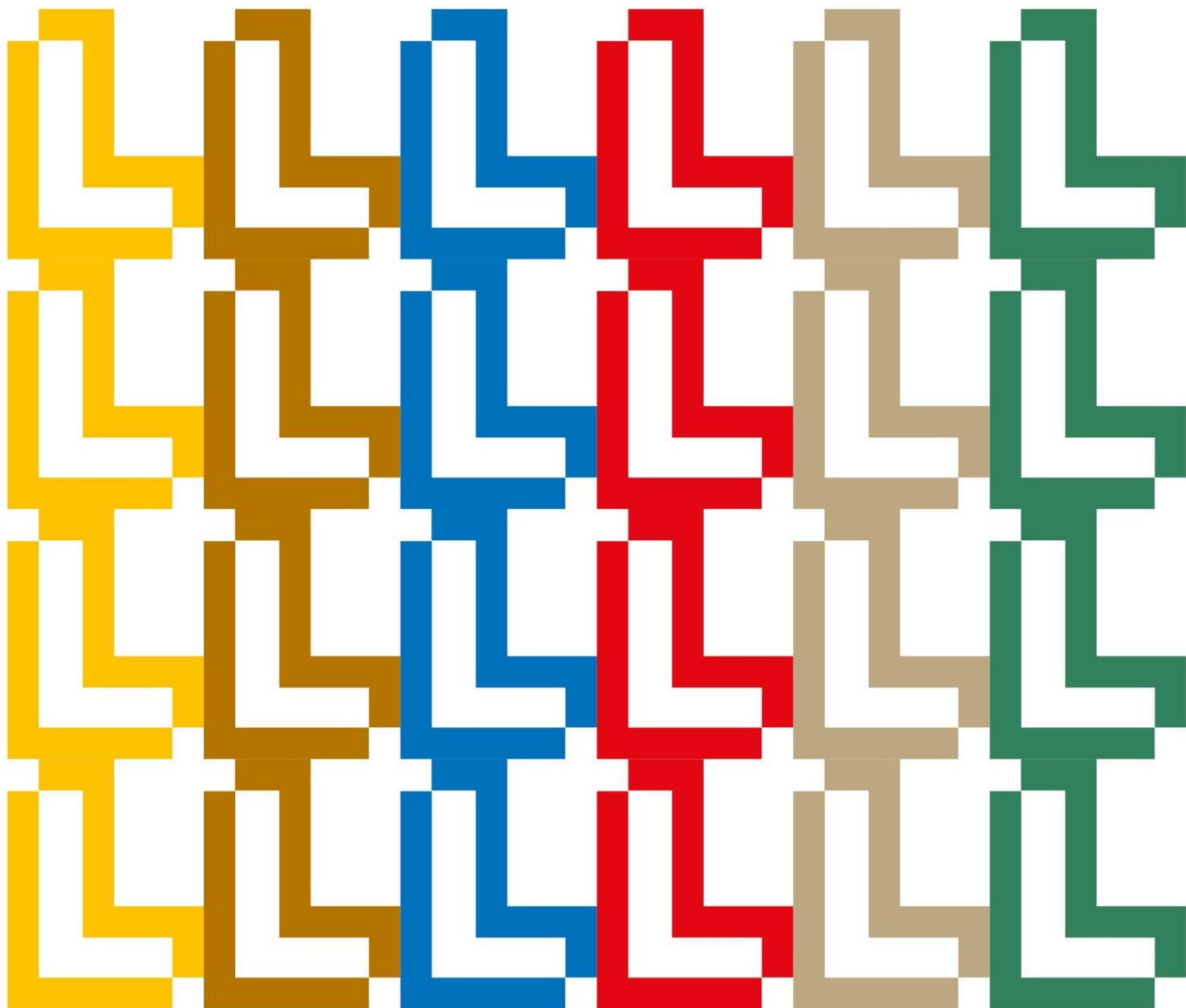




Guide et Validation

Solution techniques pour le renforcement structurel et la consolidation sismique

INDEX

1. GUIDE DE L'UTILISATEUR	3
1.1. INTRODUCTION	3
1.2. UTILISATION DU LOGICIEL	4
1.2.1. ECRAN PRINCIPAL	4
1.2.2. OPTIONS PERSONNALISEES	5
1.2.3. MATERIAUX	6
1.2.4. GEOMETRIE	9
1.2.5. FERRAILLAGE	11
1.2.6. CHARGES	13
1.2.7. VERIFIER	15
1.2.8. NOUVELLE SOLIVE	18
1.2.9. VERIFICATION DES NOUVELLES SOLIVES	21
2. RÉFÉRENCES DE CALCUL	22
2.1. NORME DE REFERENCE	22
2.2. CALCUL DE LA RESISTANCE A LA FLEXION DES ELU	22
2.3. CALCUL DE LA RESISTANCE AU CISAILLEMENT	23
2.4. VERIFICATION DU GLISSEMENT SUR LA SURFACE DE CONTACT AVEC LA NOUVELLE DALLE (CONNECTEUR CHIMIQUE CS)	25
2.5. ÉVALUATION DE LA RESISTANCE DE CALCUL DES CONNECTEURS MECANIQUES	27
2.5.1. LIMITES D'APPLICATION	27
2.5.2. RUPTURE DE L'ACIER DE L'ANCRAGE $V_{RD,S}$	28
2.5.3. RUPTURE POUR PRY-OUT DU BETON $V_{RD,CP}$	28
2.5.4. RUPTURE DU BORDURE DU BETON $V_{RD,C}$	31
2.6. CALCUL DU GLISSEMENT ET DE L'ADHERENCE A L'INTERFACE (CONNECTEURS MECANIQUES)	34
2.7. CALCUL DE LA DISTANCE ET DE LA DISTRIBUTION DES CONNECTEURS	37
2.7.1. ESPACEMENT VARIABLE	38
2.7.2. ESPACEMENT CONSTANT PAR TRAVÉE	39
3. VALIDATION DU CALCUL	40
3.1. CAS 1 – RENFORCEMENT DE PLANCHER AVEC NOUVELLE DALLE ET CONNECTEUR CHIMIQUE CS	40
3.2. CAS 2 – RENFORCEMENT DE PLANCHER AVEC NOUVELLE DALLE ET PANNEAU D'ALLEGEMENT ET CONNECTEUR CHIMIQUE CS	50
3.3. CAS 3 - NOUVELLE SOLIVE A L'INTERIEUR DU PLANCHER	58
3.4. CAS 4 - NOUVELLE SOLIVE AU-DESSUS DU PLANCHER	63
3.5. CAS 5 – RENFORCEMENT DE PLANCHER AVEC NOUVELLE DALLE ET CONNECTEUR BETON PLUS D12	69



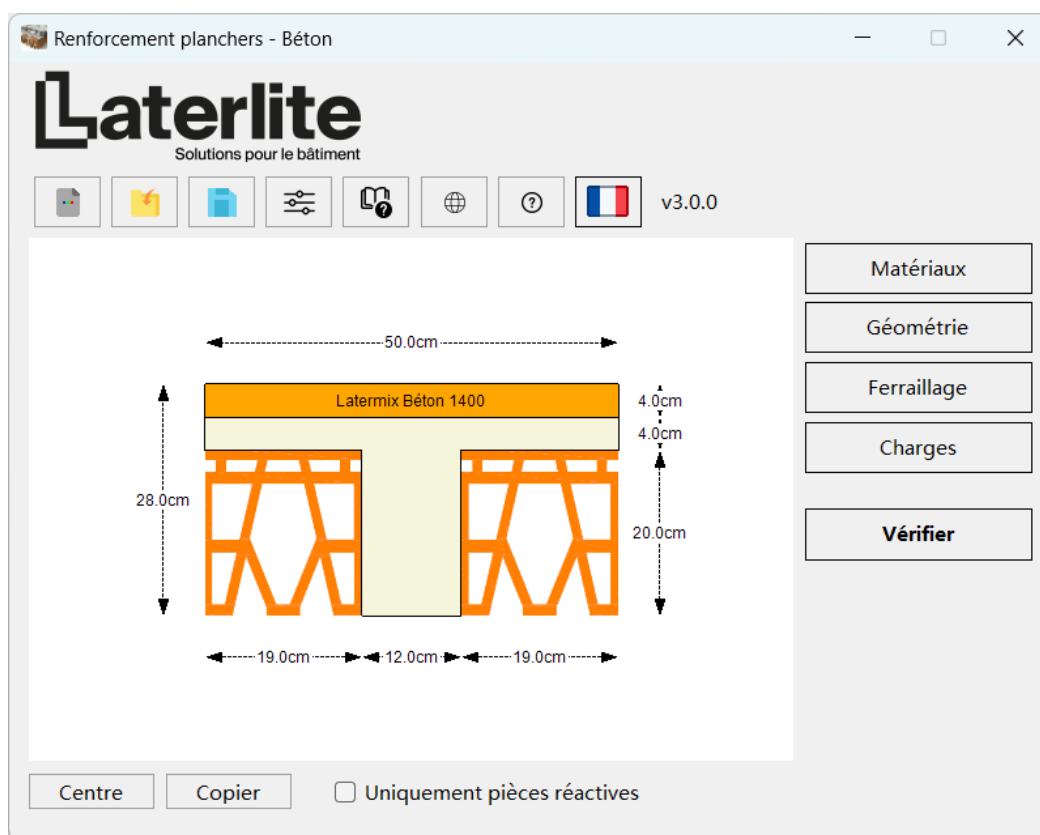
1. GUIDE DE L'UTILISATEUR

1.1. Introduction

Le logiciel **Dimensionnement de renforcement de planchers en BÉTONS avec connecteurs CentroStorico et bétons légers structuraux Laterlite** permet le calcul des planchers renforcés avec des bétons structuraux légers de Laterlite S.p.A. (nommés **Latermix Béton 1400**, **Latermix Béton 1600**, **Latermix Béton 1800** et **Béton CS**) et des connecteurs de Laterlite S.p.A. (nommés **Connecteur Chimique CS**, **Connecteur Béton Plus D12**, **Mini Connecteur Béton**).

Le logiciel effectue les vérifications suivantes :

- Vérifications positives et négatives de la flexion à l'état limite ultime (ELU) du plancher existant et renforcé ;
- Vérification du cisaillement à l'état limite ultime (ELU) pour les éléments sans ferrailage spécifique de cisaillement du plancher existant et du plancher renforcé ;
- Vérification du glissement sur la surface de contact avec la nouvelle dalle, s'il est prévu d'utiliser le **Connecteur Chimique CS** comme système de connexion entre le plancher existant et la nouvelle dalle ;
- Calcul de la résistance de calcul du **Mini Connecteur Béton** ou du **Connecteur Béton Plus D12** et calcul de la distance (variable ou constant par travée) des connecteurs, s'il est prévu d'utiliser le **Mini Connecteur Béton** ou le **Connecteur Béton Plus D12** comme système de connexion entre le plancher existant et la nouvelle dalle.

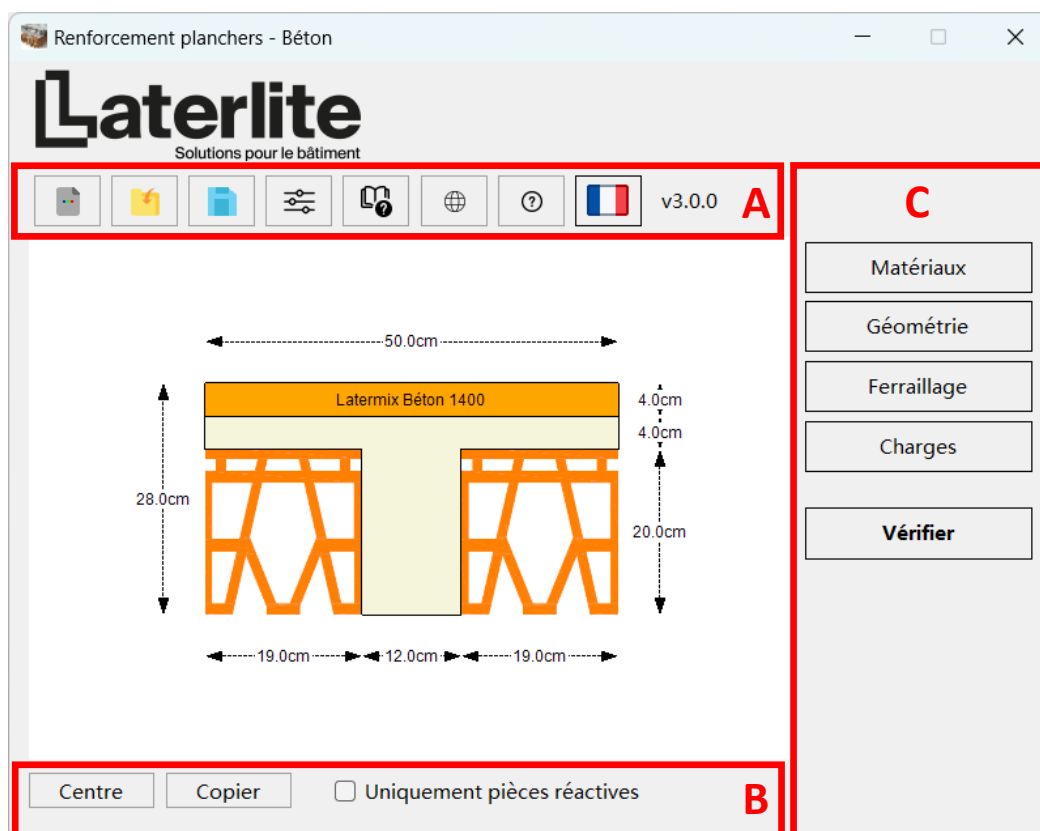


Dans le cas où l'on ne vérifie pas la dalle renforcée en utilisant uniquement la dalle en béton structural léger et le **Connecteur Chimique CS**, le logiciel permet de dimensionner et de vérifier une intervention de nouvelle solive sur le plancher existante (à l'intérieur du plancher ou au-dessus du plancher) en utilisant le béton structural léger Laterlite S.p.A. ; tandis que dans le cas où l'on ne vérifie pas le plancher renforcée en utilisant uniquement la dalle en béton structural léger et les connecteurs mécaniques, le logiciel propose de dimensionner les nouvelles solives, en prévoyant le **Connecteur Chimique CS**.

1.2. Utilisation du logiciel

L'interface et les commandes du logiciel sont décrites ci-dessous.

1.2.1. Ecran principal



L'écran principal du logiciel est divisé en 3 groupes de boutons (supérieur A, inférieur B et droit C) et le dessin de la section de la solive, dimensionnée en *cm*.

Pour le groupe A, les boutons (dans l'ordre de gauche à droite) :

- **Nouveau** permet la création d'un nouveau fichier ;
- **Ouvrir** permet d'ouvrir un fichier existant avec l'extension *.//1* ;
- **Enregistrer** permet d'enregistrer le fichier en cours avec l'extension *.//1* ;
- **Options personnalisées** permet la modification de certaines options de calcul prédéfinies ;
- **Guide** ouvre ce document de guide et de validation ;



- **Web** ouvre www.laterlite.fr ;
- **Info** ouvre l'écran d'information sur le logiciel et les licences ;
- **Langue** permet de sélectionner la langue du logiciel parmi l'anglais, le français, l'italien et l'espagnol. Il est nécessaire de redémarrer l'application pour changer de langue.

Pour les boutons du groupe B (dans l'ordre de gauche à droite) :

- **Centre** permet de centrer le dessin de la section du plancher dans l'écran dédié ;
- **Copier** permet de copier le dessin actuel sous forme d'image ;
- **Uniquement pièces réactives** affichent uniquement les parties réactives de la section si elles sont actives.

Les boutons du groupe C permettent de saisir les informations nécessaires au calcul, conformément à l'ordre suggéré pour travailler avec le logiciel. Veuillez-vous référer aux sections suivantes pour une description détaillée.

1.2.2. Options personnalisées

Options personnalisées	
Utiliser des paramètres ductiles?	Non
Hauteur de l'âme en béton [cm]	3
Longueur de l'âme en béton [cm]	8
Angle Θ pour vérification au cisaillement (0=recherche de rupture équilibrée) [°]	0
Points pour poutre	30

OK

La fenêtre permet de définir les options de calcul suivantes :

- **Utiliser des paramètres ductiles ?** permet de choisir d'utiliser les paramètres ductiles ou fragiles pour le béton et l'acier existants. Par défaut, les paramètres fragiles sont utilisés. Pour plus de détails, voir la section *Matériaux* ;
- **Hauteur de l'âme en béton** permet de définir l'épaisseur des panneaux d'allègement en *cm* ;
- **Longueur de l'âme en béton** permet de définir la largeur de la séparation entre deux panneaux d'allègement adjacents, c'est-à-dire la largeur de la connexion en béton structural léger à réaliser si les panneaux d'allègement sont présents, en *cm* ;
- **Angle Θ pour vérification au cisaillement** permet de spécifier un angle, en degrés, entre 21,8° et 45° pour la vérification au cisaillement des nouvelles solives. Si l'angle est de 0 (par défaut), le logiciel recherche automatiquement une rupture équilibrée ;
- **Points pour poutre** permet de choisir le nombre de points pour discrétiser chaque solive de plancher analysée (vous pouvez entrer un nombre entre 10 et 100).



1.2.3. Matériaux

La fenêtre **Matériaux** permet de saisir les caractéristiques mécaniques du béton et de l'acier existants, de définir les niveaux de connaissance et les facteurs de confiance correspondants, et de choisir le système de connexion et le béton léger structural à utiliser pour la construction de la nouvelle dalle collaborante.

Le cadre Béton permet de saisir les caractéristiques mécaniques du béton existant, en choisissant parmi les options suivantes :

- **Valeur de rapport** permet de choisir la classe de résistance parmi celles proposées dans le menu déroulant ;
- **Valeur d'essai** permet d'introduire la valeur moyenne de résistance f_{cm} obtenue à partir des essais effectués ;
- **Valeur personnalisée** permet la saisie directe personnalisée de la résistance de calcul f_{cd} .

Le cadre Acier de ferrailage permet de saisir les caractéristiques mécaniques de l'acier existant, en choisissant parmi les options suivantes :

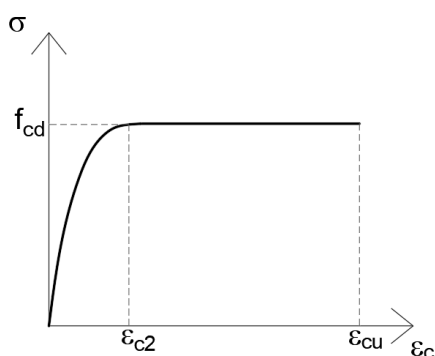
- **Valeur de rapport** permet de choisir la classe de résistance parmi celles proposées dans le menu déroulant ;
- **Valeur d'essai** permet de saisir la valeur moyenne de résistance f_{ym} obtenue à partir des essais réalisés ;
- **Valeur personnalisée** permet la saisie directe par la personne personnalisée de la résistance de calcul f_{yd} .



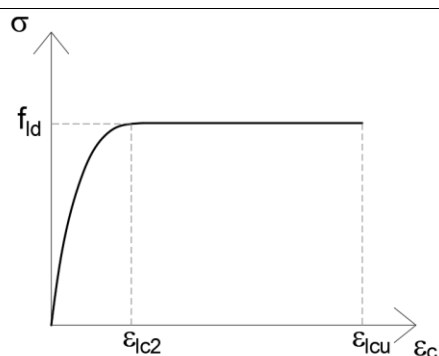
Pour chaque matériau existant, le cadre Niveau de connaissance permet de choisir, via un menu déroulant, le niveau de connaissance atteint et définit le facteur de confiance correspondant. Il est possible de choisir un niveau de connaissance "personnalisé" et de définir ensuite la valeur à attribuer au facteur de confiance.

Enfin, le cadre Solutions de renforcement permet de sélectionner le béton structurel léger de Laterlite S.p.A. à utiliser pour la réalisation du nouveau plancher collaborant parmi **Latermix Béton 1400**, **Latermix Béton 1600**, **Latermix Béton 1800** et **Béton CS** et de choisir le système de connexion plancher existant – nouvelle dalle parmi **Connecteur Chimique CS**, **Connecteur Béton Plus D12** et **Mini Connecteur Béton**.

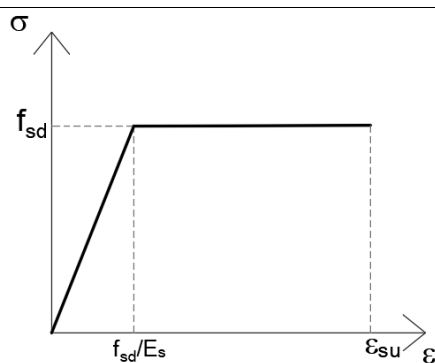
Les lois constitutives mis en œuvre au sein du logiciel sont les suivants :



Liaison constitutive du matériau béton existant

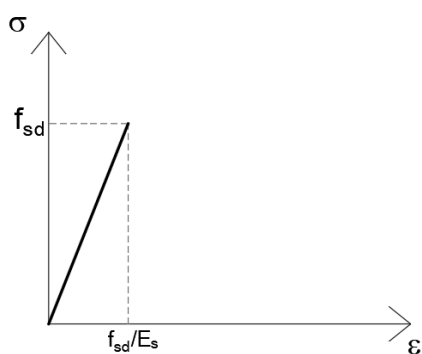


Liaison constitutive du matériau béton *Laterlite*



Liaison constitutive de l'acier B450C et de l'acier existant si elle n'a pas été limitée à la branche élastique





Liaison constitutive de l'acier existant s'il a été limité à la branche élastique

Les résistances de calcul des matériaux sont déterminées selon le tableau ci-dessous :

	COMPORTEMENT FRAGILE	COMPORTEMENT DUCTILE
VALEUR DE RAPPORT	$f_{cd} = \frac{0.85 f_{ck}}{\gamma_c FC}$	$f_{cd} = \frac{0.85 f_{ck}}{FC}$
VALEUR D'ESSAI	$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{\gamma_c FC}$	$f_{cd} = \frac{f_{cm}}{FC}$
VALEUR PERSONNALISÉE	\	\

L'option **Modifier autres paramètres** vous permet de modifier les coefficients partiels pour les matériaux existants et de choisir de limiter l'acier existant à la branche élastique.

Options des matériaux	
Coeff. partiel béton	1.5
Coeff. partiel acier	1.15
Limiter l'acier existant à la branche élastique ?	Non
OK	

Cliquer sur **Appliquer** pour enregistrer vos choix. Le bouton **Appliquer** est coloré en rouge pour indiquer la modification apportée aux paramètres dans la fenêtre et redevient noir après avoir été pressé.



1.2.4. Géométrie

La fenêtre **Géométrie** permet de définir les dimensions de le plancher existant et de la nouvelle dalle.

Géométrie

Épaisseur nouvelle dalle	4	cm
Épaisseur dalle existante	4	cm
Base solive	12	cm
Hauteur solive	20	cm
Entraxe solives	50	cm

☐ Prévoir le panneau d'allègement

Schéma statique du plancher

Nombre travées

1

n.	Longueur [cm]
1	500

Degré de rigidité aux extrémités $ql^2/$

Gauche Rigidité nulle 0.0

Droite Rigidité nulle 0.0

Appliquer

Plus précisément, les paramètres à saisir sont les suivants :

- l'épaisseur de la nouvelle dalle structurelle légère en béton (l'épaisseur minimale de la dalle est de 4 cm pour le **Connecteur Chimique CS** et le **Mini Connecteur Béton** et est de 5 cm pour le **Connecteur Béton Plus D12**) ;
- l'épaisseur de la dalle de béton existante (si présent) ;
- la base de la solive existant ;
- la hauteur de la solive existante ;
- l'entraxe des solives existantes.

L'option **Prévoir le panneau d'allègement**, si elle est activée, insère un panneau (polystyrène, EPS, ...) entre le plancher existant et la nouvelle dalle, créant ainsi une nouvelle section en T. La définition de l'épaisseur du panneau d'allègement et de la base de la connexion se fait avec le menu **Options Personnalisées** (voir section 1.2.2.), qui s'ouvre automatiquement lorsque l'option est cochée pour la première fois. L'option n'est pas présente si le **Mini Connecteur Béton** est utilisé.

Le cadre **Schéma statique du plancher** contient les paramètres relatifs au nombre et à la portée L des travées du plancher et au degré de rigidité à adopter aux extrémités gauche et droite.

Il est possible de calculer des planchers avec un maximum de quatre portées ; le nombre de portées est défini à l'aide du menu approprié, tandis que la portée de chaque travée en cm est introduite dans le tableau approprié.



Les options de rigidité aux extrémités sont les suivantes :

- **Rigidité nulle** (moment appliqué à l'extrémité égal à 0) ;
- **Très faible rigidité** (moment appliqué à l'extrémité égal à $-qL^2/48$, avec q charge par mètre linéaire en combinaison avec l'état limite ultime et L portée de la portée à laquelle la contrainte est appliquée) ;
- **Faible rigidité** (moment appliqué à l'extrémité considérée égal à $-qL^2/36$, avec q charge par mètre linéaire en combinaison avec l'état limite ultime et L portée de la portée à laquelle la contrainte est appliquée) ;
- **Semi-encastree** (moment appliqué à l'extrémité considéré comme égal à $-qL^2/24$, avec q charge par mètre linéaire en combinaison avec l'État Limite Ultime et L portée de la portée à laquelle la contrainte est appliquée) ;
- **Encastree** (moment appliqué à l'extrémité considérée égal à $-qL^2/12$, avec q charge par mètre linéaire en combinaison avec l'état limite ultime et L portée de la travée à laquelle la contrainte est appliquée)* ;
- **Extrême libre**
- **Rigidité personnalisée** (permet à l'utilisateur de définir le dénominateur X du moment à appliquer à l'extrême considéré égal à $-qL^2/X$, avec q charge par mètre linéaire en combinaison avec l'état limite ultime et L portée de la portée à laquelle la contrainte est appliquée) ;

*Uniquement dans le cas d'un plancher à travée unique, avec une " Extrême libre" sélectionnée à une extrémité, à l'autre extrémité il est nécessaire de sélectionner " Encastree " et un moment de $-qL^2/2$ est appliqué, afin d'assurer l'équilibre de la structure.

Appuyer sur **Appliquer** pour sauvegarder les choix effectués. Le bouton **Appliquer** est coloré en rouge pour indiquer la modification apportée aux paramètres de la fenêtre et redevient noir après avoir été pressé.



1.2.5. Ferrailage

La fenêtre de **Ferrailage** permet de saisir les ferrailages, existants et nouveaux (si présent), pour chaque travée.

Ferrailage

Travée n.

1

☐ Différents ferrailages aux appuis

Ferrailage

n.

0

φ

5

mm

n.

0

φ

5

mm

Surface

0.00

cm²

Entrer

Ferrailage	Surface [cm²]			d
travée 1	gauche	centre	droite	[cm]
Nouveau		0		2
Sup. existante		0		2
Inf. Existante		0		2
Longueur [cm]				
Longueur en bé...	0		0	

Plot

Homogène

Appliquer

Il est tout d'abord nécessaire de sélectionner le numéro de la travée pour laquelle le ferrailage doit être saisi via le menu **Travée n.** Ce choix permet d'afficher le tableau de saisie pour la travée considérée.

L'option **Différents ferrailages aux appuis** permet de définir des ferrailages différents entre la zone en travée (**centre**) et la zone aux appuis (**gauche** et **droite**) et de spécifier la **Longueur** à partir des extrémités, en **cm**, des zones à ferrailage différent :

Ferrailage	Surface [cm²]			d
travée 1	gauche	centre	droite	[cm]
Nouveau	0	0	0	2
Sup. existante	0	0	0	2
Inf. Existante	0	0	0	2
Longueur [cm]	0		0	
Longueur en bé...	0		0	

Pour chaque case à remplir, la surface en cm² de ferrailage peut être introduite :

- **Nouveau** pour le ferrailage éventuellement prévu dans la dalle ;
- **Sup. existante** pour le ferrailage supérieur de la solive existante (si présente) ;
- **Inf. existante** pour le ferrailage inférieur de la solive existante.



Le ferrailage peut être inséré en utilisant les commandes du cadre **Ferrailage**, en choisissant le nombre et le diamètre du ferrailage et en appuyant sur **Entrer**. La valeur indiquée dans le cadre **Surface** sera insérée dans la cellule sélectionnée. La commande n'est valable que pour les cellules actives qui peuvent contenir des zones de ferrailage.

La ligne **Longueur en béton plein** permet de spécifier l'étendue de toute le béton plein (p. ex. poutre de support de plancher) en béton présente aux extrémités de la portée considérée. Cette option influence la résistance au cisaillement de la section dans laquelle la longueur plein est présente puisqu'elle affecte la valeur de b_w utilisée dans la formule de résistance au cisaillement pour les éléments sans armature de cisaillement spécifique, ainsi que la résistance à la flexion puisqu'elle modifie la section résistante du béton. L'augmentation de poids causée par la zone solide est négligée.

La dernière colonne **d** indique l'enrobage du béton, défini comme indiqué dans la fenêtre, pour chaque niveau de ferrailage.

Enfin, le menu **Plot** permet de visualiser le ferrailage dans le dessin de la section en sélectionnant la partie appropriée.

Appuyer sur **Appliquer** pour enregistrer les choix effectués, lorsque vous avez fini de saisir les informations pour chaque travée avant de passer à la travée suivante. Le bouton **Appliquer** est coloré en rouge pour indiquer la modification apportée aux paramètres de la fenêtre et redevient noir après avoir été actionné.

La procédure décrite doit être répétée pour toutes les travées du plancher considéré.



1.2.6. Charges

Dans la fenêtre **Charges**, toutes les charges agissant sur le plancher sont définies :

Charges		
Poids du plancher existant	3.11	kN/m ²
Nouvelle dalle collaborante	0.62	kN/m ²
Chape	Latermix Facile	10 kN/m ³
épaisseur [cm]	4.0	0.40 kN/m ²
Ravaillage	Ravaillage CS	6.5 kN/m ³
épaisseur [cm]	5.0	0.33 kN/m ²
Autres permanentes	1.00	kN/m ²
Variables	A - Habitation et résidentiel: planch	2.00 kN/m ²
Charges ELU sur une seule solive	5.18	kN/m

[Modifier autres paramètres](#) **Appliquer**

Plus précisément, les informations suivantes sont présentes :

- **Poids de la dalle existante**, évalué automatiquement par le logiciel ;
- **Nouvelle dalle collaborante**, dont le poids est automatiquement évalué par le logiciel.

Il est possible d'agir sur les charges permanentes non structurales et les charges d'exploitation variables, comme suit :

- **Chape**, qui permet de sélectionner l'une des chapes Laterlite S.p.A. et d'insérer l'épaisseur prévue ; si elle n'est pas prévue, sélectionner "Pas présent" ;
- **Ravaillage**, qui permet de sélectionner l'un des ravalements de Laterlite S.p.A. et d'insérer l'épaisseur prévue ; si elle n'est pas prévue, sélectionner " Pas présent" ;
- **Autres permanentes**, qui permet à la personne de saisir la charge totale donnée par toute autre charge permanente (par exemple, cloisons, plancher) ;
- **Variables**, qui permet de sélectionner via le menu déroulant les charges d'exploitation variables prévues par la NTC2018 ou, en sélectionnant "Personnalisées", permet la saisie manuelle d'une valeur arbitraire.

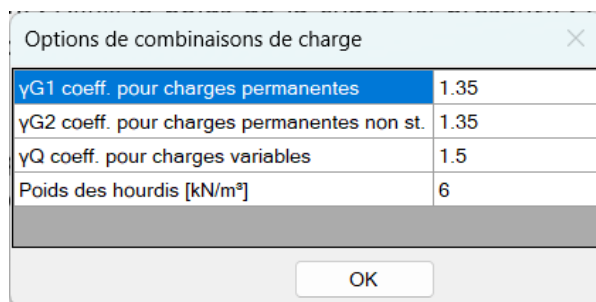
La combinaison de charges ELU est évaluée comme suit :

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{plancher} + P_{dalle} + P_{chape} + P_{ravaillage}) + \gamma_{G2} \cdot P_{autres} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$



i_{tr} la distance des solives, $P_{plancher}$ le poids de le plancher existante, P_{dalle} le poids de la nouvelle dalle structurelle légère en béton, P_{chape} le poids de la chape (si présent), $P_{ravoirage}$ le poids du ravoirage (si présent), P_{autres} le poids des autres charges permanentes et Q_{var} le poids des charges d'exploitation variables.

L'option **Modifier autres paramètres** permet de définir les coefficients de combinaison des charges permanentes, des charges permanentes non structurales et des charges variables, ainsi que de fixer le poids des hourdis.



Options de combinaisons de charge	
yG1 coeff. pour charges permanentes	1.35
yG2 coeff. pour charges permanentes non st.	1.35
yQ coeff. pour charges variables	1.5
Poids des hourdis [kN/m³]	6

OK

Appuyer sur **Appliquer** pour enregistrer les choix effectués. Le bouton **Appliquer** est coloré en rouge pour indiquer la modification apportée aux paramètres de la fenêtre et redevient noir après avoir été actionné. La charge sur chaque solive de la combinaison ELU est mise à jour en appuyant sur le bouton **Appliquer**.



1.2.7. Vérifier

La fenêtre de **Vérifier** montre, pour le point où la vérification est la plus sévère

- les contraintes de flexion et de cisaillement résultant du schéma statique défini ;
- les résistances à la flexion correspondantes (moment positif et moment négatif) ;
- le cisaillement résistant ;
- la contrainte tangentielle à l'interface entre le plancher existant et la nouvelle dalle, en la comparant à la valeur de la résistance de calcul du **Connecteur Chimique CS**, égale à 0,72 MPa, si ce connecteur a été sélectionné dans la fenêtre Matériaux.

Pour obtenir les résultats, il faut appuyer sur **Calculer**.

Résultats

Résultats du calcul

Msd+	5.42	kNm	vérifié
Mrd+	10.36	kNm	
Msd-	-10.83	kNm	vérifié
Mrd-	-21.79	kNm	
Vsd	13.00	kN	vérifié
Vrd	16.94	kN	
τ_{sd}	0.10	MPa	vérifié
τ_{rd}	0.72	MPa	

Calculer

Diagrammes M, V

Le bouton **Table de connexion** permet d'afficher le tableau contenant le nombre et la distance variable des **Mini Connecteur Béton** ou **Connecteur Béton Plus D12**, si l'un de ces connecteurs a été sélectionné dans la fenêtre Matériaux.



Résultats

Résultats du calcul

Msd+8.69kNm

Mrd+10.98kNm

Msd- -1.73kNm

Mrd- -2.12kNm

Vsd9.26kN

Vrd11.60kN

vérifié

vérifié

vérifié

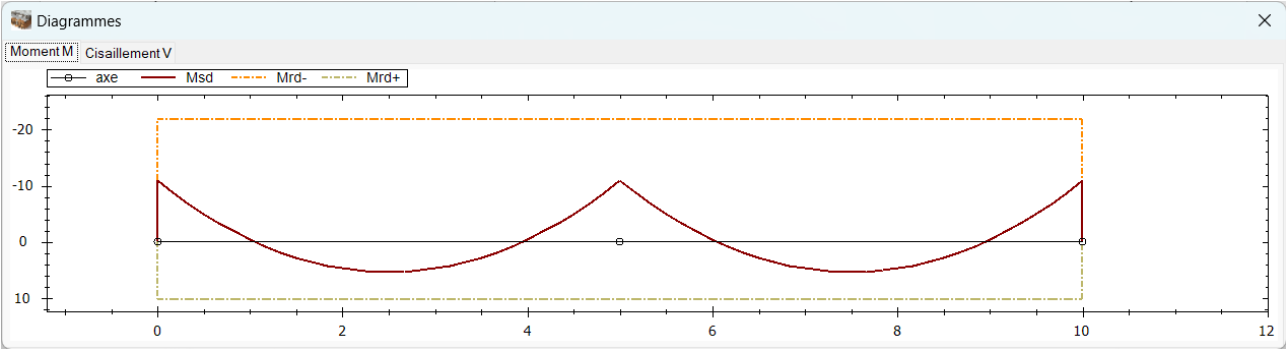
Calculer

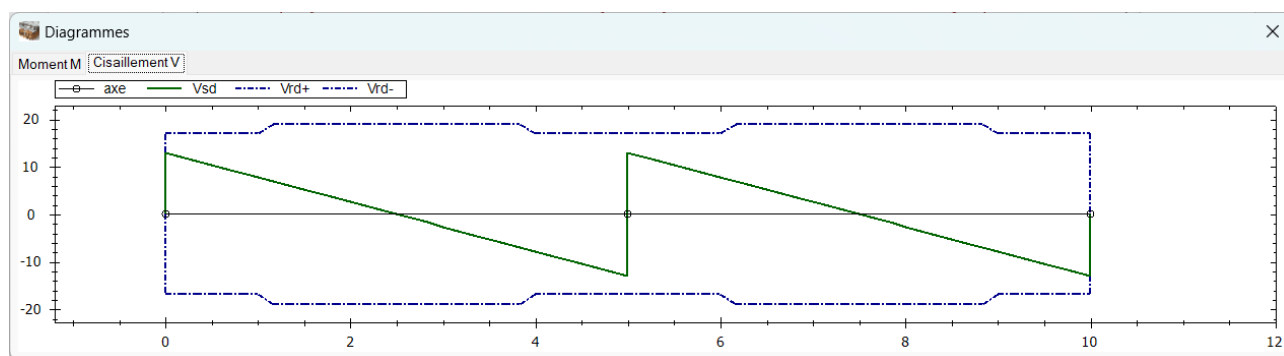
Diagrammes M, V

Table de connexion

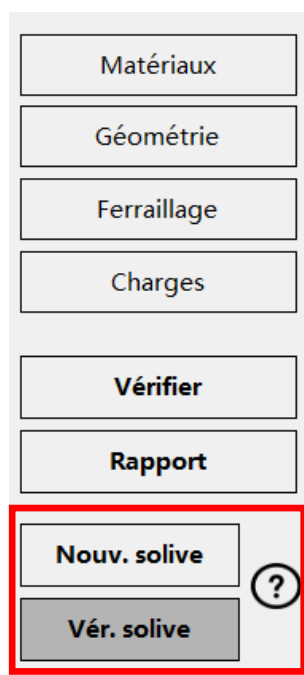
Table de connexion - Connecteur Béton Plus D12			
ESPACEMENT VARIABLE			
	Travée 1		
	L/4	L/2	L/4
Longueur [cm]	112.5	225.0	112.5
N° conn. [-]	6	6	6
Espacement [cm]	18.8	37.5	18.8
N° conn. pour m²	8.0		
N° conn. tot [-]	18		
-			

Le bouton **Diagrammes M, V** permet d'afficher les diagrammes de contraintes et de résistance du plancher analysé.





Une fois la vérification effectuée, le bouton **Rapport** apparaît et permet d'exporter le rapport de calcul au format DocX (Word®).



Dans le cas où au moins une vérification n'est pas satisfaite pour la dalle renforcée en utilisant uniquement la dalle en béton structurel léger, si le **Connecteur Chimique CS** a été sélectionné dans la fenêtre Matériaux, les boutons **Nouv. solive** et **Vér. solive** apparaissent, pour permettre à la personne de dimensionner et de vérifier une intervention de nouvelle solive de la dalle existante (à l'intérieur du plancher ou au-dessus du plancher) en utilisant le béton structurel léger de Laterlite S.p.A..

Le bouton ? ouvre le guide qui illustre les solutions de nouvelle solive à l'intérieur ou au-dessus du plancher et donne des indications utiles pour le dimensionnement de ces nouvelles solives.

En revanche, dans le cas où au moins une vérification n'est pas remplie pour le plancher renforcé en utilisant uniquement la dalle en béton structurel léger, si le **Mini Connecteur Béton** ou le **Connecteur Béton Plus D12** a été sélectionné dans la fenêtre Matériaux, une alerte apparaît sous les boutons Calcul / Diagrammes M, V / Tableau des connecteurs, suggérant qu'il faut prévoir des nouvelles solives, en utilisant le **Connecteur Chimique CS**. Pour pouvoir procéder au dimensionnement, il est nécessaire de changer le système de connexion dans **Matériaux**, de relancer **Calculer** et d'utiliser ensuite les boutons **Nouv. solive** et **Vér. solive**.

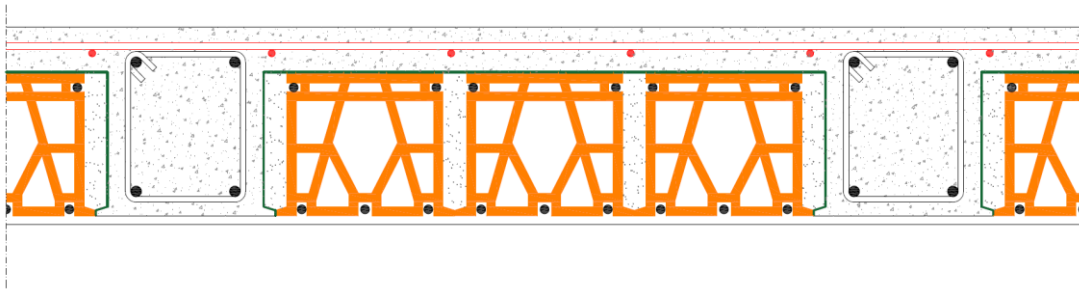


1.2.8. Nouvelle solive

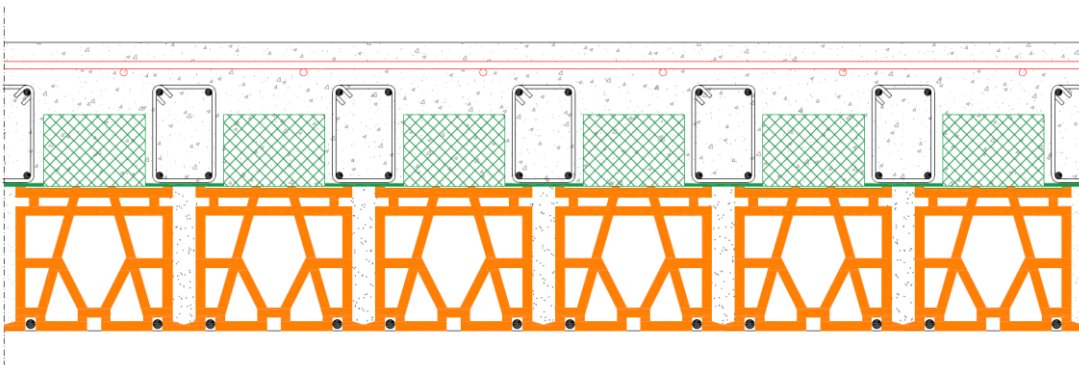
La fenêtre de nouvelle solive permet de saisir les dimensions de la nouvelle solive après avoir coché le cadre **Appliquer le nouvelle solive**.

Le menu déroulant à droite permet de choisir entre :

- **Nouvelle solive à l'intérieur du plancher**, qui consiste en la construction de nouvelles solives en T en béton léger structural et armé à réaliser à l'intérieur du plancher du plancher existant, afin de limiter l'épaisseur totale de l'intervention, à l'intérieur des vides spécialement créés par la suppression des rangées de hourdis du plancher existant à un espacement précis.



- **Nouvelle solive au-dessus du plancher**, qui consiste en la construction de nouvelles solives en T en béton léger structural et convenablement renforcées au-dessus du plancher existant, par l'installation de panneaux d'allègement appropriés.



Dans les deux cas, la géométrie de la nouvelle solive en T est requise, la section montrée est celle du nouvelle solive uniquement.



Nouv. solive

☒ Insérer nouvelle solive Intérieur du plancher ▾

Épaisseur nouvelle dalle	4	cm
Base nouvelle solive	20	cm
Hauteur nouvelle solive	24	cm
Entraxe nouvelles solives	150	cm

Ferraillage **Cadres**

n. ϕ mm

ϕ mm

Surface cm²

ci [cm] **Entrer**

Ferraillage	Surface [cm ²]	c [cm]
Intrados nouvelle solive	3.08	5
Extrados nouvelle solive	4.62	5

Travée n. **Appliquer**

En particulier, pour les **nouvelles solives à l'intérieur du plancher**

- la base de la solive ne peut être supérieure à la distance des solives existantes ;
- la hauteur de la solive ne peut être supérieure à l'épaisseur totale du plancher existant ;
- la distance des solives doit être un multiple de la distance du plancher existant.

En revanche, pour les **nouvelles solives au-dessus du plancher**

- la hauteur minimale des solives est fixée à 6 cm ;
- la hauteur minimale de la dalle est fixée à 5 cm ;
- la distance peut être 1 ou 2 fois la distance des solives existantes.

Pour plus d'informations, veuillez-vous référer au guide sur le dimensionnement des nouvelles solives.

Le ferraillage peut être inséré en utilisant les commandes la cadre **Ferraillage**, en choisissant le nombre et le diamètre des barres et en appuyant sur **Entrer**. La valeur dans la cadre **Surface** et l'enrobage **c** seront insérées dans la ligne sélectionnée.



Ferrailage

Cadres

n.

0

↑

↓

ϕ

5

▼

mm

0

↑

↓

5

▼

mm

Surface

0.00

cm²

ci [cm]

3

↑

↓

Entrer

Ferrailage	Surface [cm ²]	c [cm]
Intrados nouvelle solive	3.08	5
Extrados nouvelle solive	4.62	5

Dans le cadre **Cadres**, il est possible de saisir les cadres pour le nouvelle solive, en termes de nombre d'armature d'âme, de diamètre et d'entraxe. Appuyez sur **Modifier** pour enregistrer les valeurs saisies.

Ferrailage

Cadres

Arm. âme

2

↑

↓

ϕ

6

▼

mm

Entraxe

25.0

cm

2 Armature d'âme d6/25

Modifier

Les valeurs des ferrailages doivent être saisies pour chaque travée en la sélectionnant via le cadre **Travée n.** et en appuyant ensuite sur **Modifier**.



1.2.9. Vérification des nouvelles solives

La fenêtre de vérification des nouvelles solives montre les vérifications effectuées pour le nouvelle solive conçu, de manière similaire à ce qui a été vu dans la section 1.2.7.

Résultats nouvelle solive

Résultats du calcul - plancher avec nouvelle solive

Charges ELU sur une seule solive		16.83	kN/m
Msd+	17.53	kNm	vérifié
Mrd+	34.99	kNm	
Msd-	-35.05	kNm	vérifié
Mrd-	-36.80	kNm	
Vsd	42.07	kN	vérifié
Vrd	45.80	kN	
tsd	0.10	MPa	vérifié
trd	0.72	MPa	

Calculer nouvelle solive

Diagrammes M, V

Longueur de calcul pour le glissement [cm]

112.0

Il montre également la charge ELU combinée appliquée à la nouvelle solive, donnée par le poids propre de la nouvelle solive, le poids du plancher existant et les charges d'exploitation permanentes et variables imposées précédemment.

Appuyez sur **Calculer nouvelle solive** pour poursuivre le calcul.

Le bouton **Diagrammes M, V** permet d'afficher les diagrammes de contrainte et de résistance du plancher.

Dans le cas d'un nouvelle solive à l'intérieur du plancher, l'option en surbrillance relative à la **Longueur de calcul pour le glissement** à adopter apparaît. Par défaut, la valeur est égale à la différence entre la distance entre des nouvelles solives et la base de la nouvelle solive. En cas de modification personnalisée, il est nécessaire d'appuyer à nouveau sur **Calculer nouvelle solive** pour procéder au calcul. Dans le cas d'un nouvelle solive au-dessus du plancher, le logiciel détermine automatiquement la largeur d'interconnexion.



2. RÉFÉRENCES DE CALCUL

2.1. Norme de référence

- **EN 1992-1-1 :2015 « Eurocode 2 – Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments**
- **NF EN 1998-3 :2018 “Eurocode 8 – calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 3 : évaluation et renforcement des bâtiments ”**
- D.M. 17/01/2018 “Norme Tecnica per le costruzioni”
- CIRCOLARE 21/01/2019, n.7 C.S.LL.PP. Instructions pour l'application des “Norme tecnica per le costruzioni” en référence au D.M. 17/01/2018

2.2. Calcul de la résistance à la flexion des ELU

Le calcul des sections est effectué au moyen d'une procédure numérique de recherche de l'axe neutre plastique, qui suit les étapes suivantes

- chaque section est rendue intérieurement dans le logiciel par une série de points, à partir des surfaces, les moments statiques et les moments d'inertie sont évalués numériquement ;
- chaque figure de la section est associée à son propre matériau. A partir de ce même matériau, les valeurs FC (Facteur de Confiance) et γ_m du matériau sont prises, ainsi que les déformations et les résistances. Veuillez-vous référer au guide de l'utilisateur pour connaître les loi constitutives prises en compte lors du calcul ;
- les propriétés géométriques de chaque partie de la section sont calculées et le centre de gravité est dérivé ;
- la section est ensuite analysée en translatant l'axe neutre plastique le long de la hauteur et en vérifiant l'équilibre entre la tension et la compression. Pour le calcul de l'ELU, la déformation ultime compatible avec le matériau, la géométrie et le ferrailage est fixée et le plan représentant la déformation compatible en tous points de la section est calculé ;
- la recherche est effectuée à l'aide de la méthode de bisection et, lorsque la méthode converge, les moments résistants, la déformation maximale du béton et les déformations de l'acier sont fournis.

Veuillez-vous référer à la section sur la vérification du glissement pour la spécification du calcul de la section dans le domaine élastique et l'évaluation des propriétés géométriques.



2.3. Calcul de la résistance au cisaillement

La résistance au cisaillement est calculée à l'aide des relations suivantes, distinguées pour les éléments sans armature de cisaillement spécifique et pour les éléments avec armature transversale résistante au cisaillement.

Pour les éléments sans cisaillement spécifique (conformément aux §4.1.2.3.5.1 et §C4.1.12.1.3.2.1 des *Norme Tecnica delle Costruzioni*), la résistance au cisaillement est calculée à l'aide de la relation suivante

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot ds, (v_{\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot ds \right\}$$

avec :

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{ds}} \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{1.5} \cdot f_{ck}^{0.5}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

E ds hauteur utile de la section, A_{sl} surface du ferrailage longitudinal tendu, b_w base minimale de la section réactive .

Concrètement, en fonction du choix des caractéristiques mécaniques du béton existant entre "**Valeur de rapport**", "**Valeur d'essai**" et "**Valeur personnalisée**", le logiciel remplace le terme f_{ck} indiqué dans les formules précédentes par les formulations suivantes :

- Valeur de rapport : f_{ck}/FC
- Valeur d'essai : f_{cm}/FC
- Valeur personnalisée : f_{cd} .

Avec FC Facteur de confiance.

Dans le cas de $f_{ck,LATERMIX} < f_{ck}/FC$ ou $f_{ck,LATERMIX} < f_{cm}/FC$ ou $f_{ck,LATERMIX} < f_{cd}$ selon le choix fait sur le béton existant, la résistance du béton $f_{ck,LATERMIX}$ est supposée dans le calcul de la résistance au cisaillement (étant le minimum entre les résistances des deux bétons concernés) :

$$V_{rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.15}{\gamma_m} \cdot \eta_1 \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{lck,LATERMIX})^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot ds, (v_{l,\min} + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot ds \right\}$$

avec :

$$\eta_1 = 0.4 + 0.6 \cdot \frac{\rho}{2200}$$



$$v_{l,min} = 0.030 \cdot k^{1.5} \cdot f_{lck}^{0.5}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

E ρ valeur limite supérieure de la masse par unité de volume du béton structural léger, pour la classe de masse par unité de volume à laquelle il appartient, et avec les autres symboles utilisés précédemment.

Pour les éléments avec un ferrailage transversal résistant au cisaillement (les nouvelles solives conçus avec le logiciel), les formules suivantes sont utilisées conformément aux §4.1.2.3.5.2 et §C4.1.12.1.3.2.2 des *Norme Tecnica d'elle Costruzioni* :

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot 0.4 f_{lck} \cdot \frac{(\cot \alpha + \cot \theta)}{(1 + \cot^2 \theta)}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Avec A_{sw} surface du ferrailage transversal (cadres), s distance cadres, $\alpha = 90^\circ$ et $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

Par défaut, l'angle θ est automatiquement recherché pour la rupture au cisaillement équilibré, sauf si des modifications personnalisés sont effectués.



2.4. Vérification du glissement sur la surface de contact avec la nouvelle dalle (Connecteur Chimique CS)

Pour le calcul de l'adhérence parfaite entre la nouvelle dalle en béton structural léger et le plancher existant, la contrainte de cisaillement présente à l'interface dalle existante-dalle est comparée à la valeur de conception du Connecteur Chimique CS, nécessaire à la bonne coopération entre les deux parties.

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment positif :

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,LATERMIX}}{2}}$$

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment négatif :

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,existent}}{2}}$$

$$\tau_{interface} = \frac{V_{sd,max} \cdot S_{int}}{J_n \cdot b} < 0.72 \text{ MPa}$$

où 0,72 MPa représente la valeur de comparaison considérée pour le Connecteur Chimique CS, obtenue par des essais expérimentaux au Politecnico di Milano.

Les termes de la formule de *Jourawsky* indiquent:

- $V_{sd,max}$: valeur maximale de la force de cisaillement agissant en combinaison SLU;
- S_{int} : moment statique (section efficace) de la partie au-dessus de la corde contre laquelle la contrainte de cisaillement doit être calculée. La contribution du béton comprimé et/ou du ferrailage au-dessus de la corde est prise en compte;
- J_n : inertie de la section efficace par rapport à l'axe neutre;
- b : largeur de la corde à considérer, égale à la largeur minimale de contact entre la dalle existante et la nouvelle dalle.

Le programme renvoie les valeurs de contrainte et de résistance au rapport d'utilisation maximal c'est-à-dire où l'utilisation de la résistance est maximale.

La recherche de l'axe neutre élastique est effectuée comme suit :

- chaque section est rendue interne par le logiciel avec une série de points, à partir desquels les surfaces, les moments statiques et les moments d'inertie sont évalués numériquement ;
- chaque figure de section est associée à son propre matériau. Chaque figure de section est associée à son propre matériau. A partir de ce même matériau, les valeurs FC (Facteur de Confiance) et γ_m du matériau sont prises, ainsi que les déformations et les résistances ;
- les propriétés géométriques de chaque partie de la section sont calculées et le centre de gravité est dérivé ;



- la section est ensuite analysée en évaluant les déformations résultant de l'application du moment de contrainte. Les parties réactives sont alors identifiées en calculant les contraintes de chaque matériau présent (béton, ferraillages) ;
- la position de l'axe neutre est calculée.

En particulier, le calcul de la surface et du moment statique d'une section définie par N points x_i, y_i est décrit.

$$A = \frac{1}{2} \sum_i (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$

$$S_x = \frac{1}{6} \sum_i (x_{i+1} - x_i)(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2)$$

Il en est de même pour le moment d'inertie.

En particulier, pour le moment statique de la section partielle, la procédure suivante est suivie :

- la partie réactive de la section, c'est-à-dire la zone de béton comprimé et le ferraillage, est acquise ;
- l'axe horizontal de la section est déplacé vers l'axe neutre ;
- le moment statique de la section partielle est calculé en considérant uniquement les parties situées au-dessus de la membrure de vérification, positionnées entre la nouvelle dalle en béton structurel légère et le plancher existante dans le cas d'une renforce avec la seule dalle. Dans le cas d'un nouvelle solive à l'intérieur du plancher, la corde se trouve à l'interface entre la nouvelle solive et la dalle au-dessus, tandis que dans le cas d'un nouvelle solive au-dessus du plancher, la corde se trouve à la base de la nouvelle solive.

Il en est de même pour le moment d'inertie.

Enfin, le prochain chapitre est de validation. Il montre une illustration des formules analytiques dans les différents cas.



2.5. Évaluation de la résistance de calcul des connecteurs mécaniques

La résistance du connecteur est évaluée selon la norme EN 1992-4:2018 :

$$P_{Rd} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,cp}; V_{Rd,c})$$

où :

- $V_{Rd,s}$ est la résistance d'un ancrage pour les propriétés mécaniques de l'acier qui le compose ;
- $V_{Rd,cp}$ est la résistance d'un ancrage à la rupture pour pry-out du béton;
- $V_{Rd,c}$ est la résistance d'un ancrage à la rupture de la bordure de béton.

En outre, la résistance du système de connexion dépend fortement de l'état de contrainte du béton dans lequel il est inséré, c'est pourquoi deux valeurs différentes de P_{Rd} sont calculées :

- $P_{Rd,ck}$ la résistance de calcul à utiliser pour les calculs dans les parties du plancher où le béton existant est fissuré ;
- $P_{Rd,uck}$ la résistance de calcul à utiliser à des fins de calcul dans les parties du plancher où le béton existant n'est entraxe fissuré.

L'évaluation et les spécifications dans les paragraphes suivants se réfèrent à l'EN 1992-4:2018 avec des adaptations pour le cas des solives de plancher.

2.5.1. Limites d'application

Les limites d'application du **Mini Connecteur Béton** sont indiquées ci-dessous :

- Base de solive : $b_t \geq 7 \text{ cm}$ la limite d'application du Mini Connecteur Béton est fixée par la norme européenne ETA20/0830 (European Technical Product Standard Specification). Si la limite n'est pas respectée, le calcul n'est pas effectué par le logiciel et il est suggéré de passer au **Connecteur Chimique CS** ;
- Épaisseur du plancher (égale à la somme de la hauteur du solive h_t et de la dalle existante h_c , (si présente) : $h_t + h_c \geq 10 \text{ cm}$. Si la limite n'est pas respectée, le calcul n'est pas effectué par le logiciel et il est suggéré de passer au **Connecteur Chimique CS**;
- Nouvelle épaisseur de dalle suggérée : $4 \text{ cm} \leq s_n \leq 5 \text{ cm}$. si l'épaisseur de la dalle est inférieure à l'épaisseur minimale, le logiciel suggère de contacter le support technique de Laterlite, tandis que si l'épaisseur de la dalle est supérieure à 5 cm, le logiciel suggère de passer à **Connecteur Chimique CS** ou **Connecteur Béton Plus D12**, mais n'empêche pas le calcul de se poursuivre ;
- L'utilisation de panneaux d'allègement n'est pas prévue.

Les dimensions minimales du plancher pour la pose éventuelle du **Connecteur Béton Plus D12** sont :

- Base de solive : $b_t \geq 12 \text{ cm}$ la base de la solive indiquée dans la spécification technique européenne standard du produit (ETA20/0830). Si la base de la solive est $10 \text{ cm} \leq b_t < 12 \text{ cm}$, le logiciel se souvient qu'elle est inférieure au minimum indiqué dans l'ETA et propose de passer au **Connecteur**



Chimique CS ou au **Mini Connecteur Béton**, mais n'empêche pas la poursuite du calcul, alors que si la base de la solive est $b_t < 10 \text{ cm}$, le calcul n'est pas effectué ;

- Épaisseur du plancher (égale à la somme de la hauteur de la solive h_t et de la dalle en béton existante h_c , le cas échéant) : $h_t + h_c \geq 12 \text{ cm}$. Si la limite n'est pas respectée, le calcul n'est pas effectué par le logiciel et il est suggéré de passer au **Connecteur Chimique CS** ou au **Mini Connecteur Béton** ;
- Nouvelle épaisseur de la dalle : $s_n \geq 5 \text{ cm}$

2.5.2. Rupture de l'acier de l'ancrage $V_{Rd,s}$

La résistance caractéristique d'un ancrage à la rupture de l'acier qui le constitue est évaluée conformément au §7.2.2.1 EN 1992-4:2018 :

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}}$$

où :

- $V_{Rk,s}$ est la résistance d'un ancrage pour les propriétés mécaniques de l'acier qui le compose contre les charges de cisaillement et est rapportée dans la spécification technique européenne standard de produit (ETA20/0830) égale à 7,5 kN pour **Mini Connecteur Béton** et 25,6 kN pour **Connecteur Béton Plus D12** ;
- γ_{Ms} est le coefficient de sécurité partiel indiqué dans la spécification technique européenne (ETA20/0830), égal à 1,25.

2.5.3. Rupture pour pry-out du béton $V_{Rd,cp}$

La référence pour le calcul de $V_{Rd,cp}$ est le §7.2.2.4 EN 1992-4:2018. Pour dériver la résistance à la rupture pour pry-out du béton, il est nécessaire de connaître la résistance caractéristique d'un ancrage pour des contraintes de traction face à une rupture conique du béton. Ce mode de rupture dépend fortement de l'état de compression/tension du béton dans lequel le connecteur est inséré et, pour cette raison, deux valeurs de $N_{Rk,c}$ sont calculées (une pour l'état du béton fissuré et une pour l'état du béton non fissuré), conformément au §7.2.1.4 de la norme EN 1992-4:2018 :

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} \cdot \psi_{ec,N} \cdot \psi_{M,N}$$

$N_{Rk,c}^0$ est la résistance caractéristique de le single connecteur qui n'est pas affectée par les connecteurs adjacentes ou les bords du béton dans lequel elle est insérée, et est évaluée comme :

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5}$$

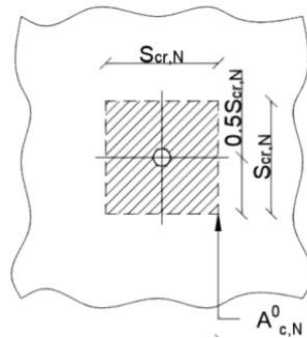
où :

- k_1 est égal à 7,7 pour le béton fissuré ($k_{1,cr}$) et égal à 11 pour le béton non fissuré ($k_{1,ucr}$) ;



- f_{ck} est la résistance caractéristique à la compression du béton (se référant au béton dans lequel le connecteur est inséré, c'est-à-dire le béton existant). Plus précisément, en fonction du choix des caractéristiques mécaniques du béton existant dans la fenêtre Matériaux, le logiciel utilise la valeur de f_{ck} si l'on sélectionne "**Valeur de rapport**", la valeur de f_{cm} si l'on sélectionne "**Valeur d'essai**" et la valeur de f_{cd} si l'on sélectionne "**Valeur personnalisée**";
- h_{ef} est la longueur d'ancrage effective et est une valeur donnée dans la spécification technique européenne de produit (ETA20/0830), égale à 42 mm pour **Mini Connecteur Béton** et 52 mm pour **Connecteur Béton Plus D12**.

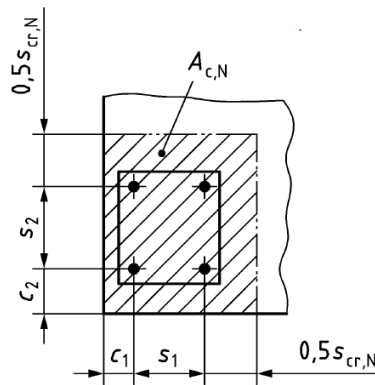
$A_{c,N}^0$ est la surface de projection de référence qui évalue l'influence de la position de l'installation de l'ancrage par rapport à la bordure du béton, et est évaluée comme suit :



$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N}$$

Où $s_{cr,N}$ est la distance critique vers le cône de rupture du béton et est une valeur donnée dans la spécification technique européenne des produits (ETA20/0830), égale à 126 mm pour le **Mini Connecteur Béton** et 156 mm pour le **Connecteur Béton Plus D12**.

$A_{c,N}$ est la surface de projection effective limitée par le chevauchement des cônes de rupture des ancrages adjacents et est évaluée comme suit :



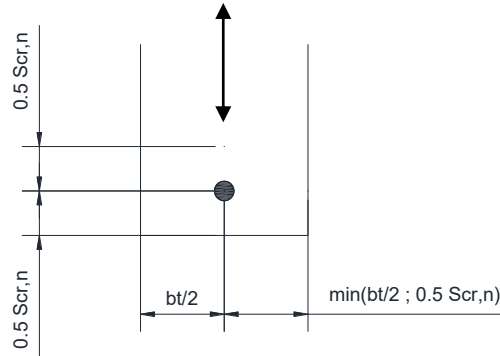
$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0.5s_{cr,N}) \cdot (c_2 + s_2 + 0.5s_{cr,N})$$

Dans le cas des planchers, si $h_{ef} \leq h_c$ (avec h_c épaisseur de dalle existante) ou si $s_{cr,N} \leq b_t$ (avec b_t base de solive), $A_{c,N} = A_{c,N}^0$, sinon on suit la formulation indiquée ci-dessous.



Dans le cas spécifique des planchers, on n'utilise pas d'ancrages de groupe ni d'ancrages à double rangée : cela signifie que s_1 et s_2 sont égaux à 0 ; c_1 est la distance du bord et est égale à $b_t/2$ et c_2 est la distance du bord dans le sens des solives, ce qui équivaut à $0,5 s_{cr,N}$ (avec $s_{cr,N} = 126 \text{ mm}$ pour **Mini Connecteur Béton** et $s_{cr,N} = 156 \text{ mm}$ pour **Connecteur Béton Plus D12**) étant donné l'extension des solives à l'intérieur de la maçonnerie.

En se référant à l'image précédente, dans la situation considérée, cela devient :



Par conséquent, la formule précédente devient :

$$A_{c,N} = \left(\frac{b_t}{2} + \min \left(\frac{b_t}{2} ; 0,5 s_{cr,N} \right) \right) \cdot s_{cr,N}$$

$\psi_{s,N}$ est le facteur réducteur qui prend en compte la distorsion de la distribution des contraintes dans le béton due à la proximité du bord de l'élément où le système de connexion est installé et est évalué comme :

$$\psi_{s,N} = 0,7 + 0,3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1$$

où :

- c est la distance effective de l'ancrage par rapport au bord (égale à $b_t/2$ puisque **Mini Connecteur Béton** et **Connecteur Béton Plus D12** sont installés au milieu de la solive) ;
- $c_{cr,N}$ est la distance critique du bord en ce qui concerne la rupture du cône de béton et est une valeur donnée dans la spécification technique européenne du produit (ETA20/0830), égale à 63 mm pour **Mini Connecteur Béton** et 78 mm pour **Connecteur Béton Plus D12**.

$\psi_{re,N}$ est le facteur d'écaillage qui évalue l'effet du ferrailage entre lequel le connecteur est installé lorsque $h_{ef} < 100 \text{ mm}$ et est évalué comme :

$$\psi_{re,N} = 0,5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1$$

Avec h_{ef} longueur d'ancrage effective et est une valeur donnée dans la spécification technique européenne (ETA20/0830), égale à 42 mm pour **Mini Connecteur Béton** et 52 mm pour **Connecteur Béton Plus D12**.



$\psi_{ec,N}$ et $\psi_{M,N}$ sont respectivement le coefficient qui prend en compte l'effet de groupe et le coefficient qui prend en compte l'effet d'une force de compression entre l'ancrage et le béton dans le cas de moments de flexion : ils ne sont pas à considérer dans ce cas spécifique car ils ne sont pas prévus par les applications du **Mini Connecteur Béton** et du **Connecteur Béton Plus D12**.

Il est donc possible de déterminer la résistance d'une ancrage aux contraintes de cisaillement dues à l'arrachement du béton du côté opposé à la direction du chargement. Cette résistance est évaluée comme suit

$$V_{Rd,cp} = \frac{k_8 \cdot N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$$

où :

- k_8 est le facteur spécifique de 1,0 et est donné dans la spécification européenne de norme de produit technique (ETA20/0830) ;
- $N_{Rk,c}$ est la résistance d'une ancrage soumise à un effort de traction en cas de rupture conique du béton calculée précédemment ;
- γ_{Mc} est le facteur de sécurité partiel donné dans la spécification technique européenne (ETA20/0830) égal à 1,50.

2.5.4. Rupture du bordure du béton $V_{Rd,c}$

La référence pour le calcul de $V_{Rd,c}$ est le §7.2.2.5 EN 1992-4:2018. Ce mode de rupture dépend fortement de l'état de compression/tension du béton dans lequel le connecteur est inséré et, pour cette raison, deux valeurs de $V_{Rk,c}$ sont calculées (une pour l'état du béton fissuré et une pour l'état du béton non fissuré). La résistance caractéristique d'un ancrage chargé vers le bord peut être évaluée comme suit :

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \cdot \psi_{s,V} \cdot \psi_{h,V} \cdot \psi_{ec,V} \cdot \psi_{\alpha,V} \cdot \psi_{re,V}$$

$V_{Rk,c}^0$ est la résistance caractéristique initiale de l'ancrage unique chargé perpendiculairement au bord et est évaluée comme :

$$V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1.5}$$

où :

- k_9 est égal à 1,7 pour le béton fissuré ($k_{9,cr}$) et égal à 2,4 pour le béton non fissuré ($k_{9,ucr}$) ;
- d_{nom} est le diamètre extérieur de l'ancrage et est indiqué dans la spécification technique européenne de produit pertinente (ETA20/0830). Il est égal à 7,5 mm pour le **Mini Connecteur Béton** et à 12,5 mm pour le **Connecteur Béton Plus D12** ;
- l_f (dans le cas de connecteurs à diamètre uniforme) est égal à h_{ef} qui est la longueur d'ancrage effective, une valeur donnée dans la spécification technique européenne des produits (ETA20/0830) égale à 42 mm pour le **Mini Connecteur Béton** et 52 mm pour le **Connecteur Béton Plus D12** ;
- f_{ck} est la résistance caractéristique à la compression du béton (se référant au béton dans lequel le connecteur est inséré, c'est-à-dire le béton existant). Plus précisément, en fonction du choix des



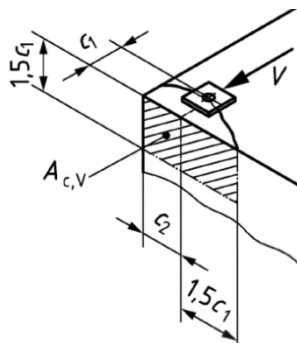
propriétés mécaniques du béton existant dans la fenêtre Matériaux, le logiciel utilise la valeur de f_{ck} si l'on sélectionne "**Valeur de rapport**", la valeur de f_{cm} si l'on sélectionne "**Valeur d'essai**" et la valeur de f_{cd} si l'on sélectionne "**Valeur personnalisée**";

- c_1 est la distance minimale du bord égale à $b_t/2$
- α et β sont des paramètres numériques sans dimension et sont évalués comme suit :

$$\alpha = 0.1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1} \right)^{0.5}$$

$$\beta = 0.1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1} \right)^{0.2}$$

$A_{c,v}$ est la surface du corps de rupture en béton idéalisé, limitée par le chevauchement des cônes de béton des ancrages adjacents, la proximité du bord et l'épaisseur de l'élément dans lequel il est installé :



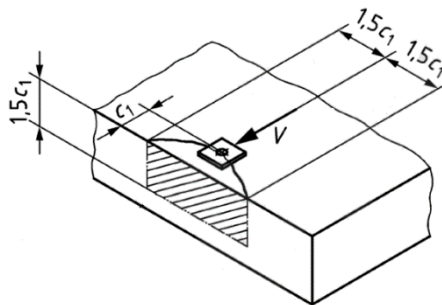
$$A_{c,v} = 1.5c_1 \cdot (c_2 + 1.5c_1)$$

Dans le cas spécifique des planchers, c_2 est égal à $b_t/2$ et c_1 est la distance du premier connecteur par rapport à l'affleurement du mur (30 mm pour **Mini Connecteur Béton** et 45 mm pour **Connecteur Béton Plus D12**), en négligeant par sécurité que la solive se poursuit à l'intérieur de la maçonnerie/du mur. Le site $A_{c,v}$ étant une surface effective, il convient de vérifier qu'il peut effectivement se développer dans la géométrie spécifique du plancher considéré. Par conséquent, la formule ci-dessus devient :

$$A_{c,v} = \min(h_t + h_c ; 1.5c_1) \cdot \min(3c_1 ; b_t)$$

Avec h_t hauteur de la solive, h_c épaisseur de la dalle existante (si présente), b_t base de la solive.

$A_{c,v}^0$ est la zone de projection de référence pour la plage de défaillance idéalisée d'une seule cheville :



$$A_{c,v}^0 = 1.5c_1 \cdot (1.5c_1 + 1.5c_1) = 4.5c_1^2$$

Dans le cas spécifique des planchers c_1 est la distance du premier connecteur par rapport à l'affleurement du mur (30 mm pour **Mini Connecteur Béton** et 45 mm pour **Connecteur Béton Plus D12**).

$\psi_{s,v}$ est le facteur de réduction qui prend en compte la distorsion de la distribution des contraintes dans le béton due aux autres bords de l'élément en béton sur la résistance au cisaillement et est évalué comme suit:

$$\psi_{s,v} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_2}{1.5c_1} \leq 1$$

Dans le cas spécifique de , $\psi_{s,v}c_1$ et c_2 sont équivalents puisque les connecteurs sont positionnés au centre de la solive et prennent donc tous deux la valeur de $b_t/2$.

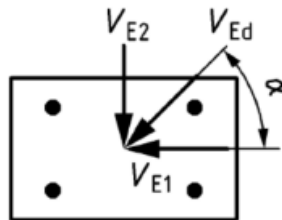
$\psi_{h,v}$ est le facteur qui tient compte du fait que la résistance de l'arête en béton ne diminue pas proportionnellement à l'épaisseur de l'élément supposé par le ratio $\frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0}$ et est évalué comme suit :

$$\psi_{h,v} = \left(\frac{1.5c_1}{h} \right)^{0.5} = \left(\frac{1.5 \cdot \frac{b_t}{2}}{h_t + h_c} \right)^{0.5} \geq 1$$

Où h représente la hauteur de l'élément dans lequel le système d'ancrage est installé et coïncide avec la hauteur de la solive si le plancher est sans dalle existante sinon avec la somme de la hauteur de la solive et de l'épaisseur de la dalle de béton existante, c_1 est égal à $b_t/2$

$\psi_{ec,v}$ est le coefficient qui prend en compte l'effet de groupe, il n'est pas pertinent pour les méthodes d'application de **Mini Connecteur Béton** et **Connecteur Béton Plus D12**.

$\psi_{\alpha,v}$ est le facteur qui prend en compte le fait que la résistance de l'arête en béton ne diminue pas proportionnellement à l'épaisseur de l'élément supposé par le ratio $\frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0}$ et est évalué comme :



$$\psi_{\alpha,v} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_v)^2 + (0.5 \sin \alpha_v)^2}} \geq 1$$

Où α_v est l'angle entre une charge de cisaillement de conception V_{ed} et une droite perpendiculaire au bord vérifié, dans le cas d'ancrages simples placés sur des planchers : $\alpha_v = 90^\circ$



$\psi_{re,V}$ est le facteur qui prend en compte l'effet du ferrailage situé le long du bord et est égal à 1,0 dans les conditions de béton fissuré et non fissuré.

Il est donc possible de déterminer la résistance d'un ancrage aux contraintes de cisaillement dues à la fissuration du bord en béton. Cette résistance est évaluée comme suit

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}}$$

où :

- $V_{Rk,c}$ est la résistance d'une ancrage à la rupture par cisaillement par rapport à l'arête de béton calculée précédemment ;
- γ_{Mc} est le facteur de sécurité partiel indiqué dans la spécification technique européenne (ETA20/0830), égal à 1,50.

2.6. Calcul du glissement et de l'adhérence à l'interface (connecteurs mécaniques)

Le nombre de connecteurs à utiliser est celui requis pour transmettre le glissement entre le plancher existant et la nouvelle dalle en béton structurel léger. Le glissement est calculé à l'aide de la formule de Jourawsky.

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment positif :

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,LATERMIX}}{2}}$$

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment négatif :

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,existant}}{2}}$$

$$\tau_{interface} \cdot b = \frac{V_{sd} \cdot S_{int}}{J_n}$$

Les termes de la formule de Jourawsky indiquent :

- V_{sd} : valeur de la force de cisaillement agissant en ELU combinée dans la section considérée;
- S_{int} : moment statique (section partielle) de la partie située au-dessus de la membrure par rapport à laquelle la contrainte de cisaillement doit être calculée. La contribution du béton comprimé et/ou du ferrailage au-dessus de la membrure est prise en compte ;
- J_n : inertie de la section partielle entière par rapport à l'axe neutre ;
- b : largeur de la membrure à considérer, égale à la largeur minimale de contact entre la dalle existante et la nouvelle dalle.

Ce glissement ($\tau_{interface} \cdot b$) est comparé à la résistance de calcul du connecteur P_{Rd} (dans la zone fissurée ou non fissurée selon la section considérée), comme illustré dans le paragraphe suivant. La contribution



offerte par l'adhésion au glissement v_{Rdi} , évaluée conformément au §6.2.5 EN 1992-1-1:2015, en utilisant les paramètres pour les surfaces lisses, est également prise en compte, avec la formule suivante

$$v_{Rdi} = \min(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n + \rho \cdot f_{yd} \cdot (\mu \cdot \sin \alpha + \cos \alpha); 0.5 \cdot v \cdot f'_{cd})$$

où :

- c et μ pour les surfaces lisses sont respectivement 0,2 et 0,6 ;
- f_{ctd} est la valeur de la résistance à la traction de conception (évaluée comme suit) ;
- σ_n est la contrainte de compression produite par la force externe minimale agissant à l'interface, qui peut agir simultanément avec l'effort de cisaillement (évaluée comme suit)
- ρ est le rapport entre la surface spécifique de ferrailage transversal à travers l'interface et la surface du joint (égale à 0 dans le cas présent) ;
- v est un coefficient de réduction de la résistance (évalué comme suit).

La résistance à la traction de conception f_{ctd} est évaluée comme le minimum entre la résistance à la traction du béton existant et celle du béton structurel léger :

$$f_{ctd} = \min(f_{ctd,existant} ; f_{lctd})$$

avec :

$$f_{ctd,existant} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} & \text{Valeur de rapport} \\ \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{cm}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} & \text{Valeur d'essai} \\ \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{cd}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} & \text{Valeur personnalisée} \end{array} \right\}$$

$$f_{lctd} = \frac{0.85 \cdot f_{lctk}}{\gamma_c}$$

$$f_{lctk} = 0.7 \cdot f_{lctm}$$

$$f_{lctm} = 0.3 \cdot f_{lck}^{2/3} \cdot \eta_1$$

$$\eta_1 = 0.4 + 0.6 \cdot \frac{\rho}{2200}$$

Où ρ est la valeur limite supérieure de la classe de masse par unité de volume du béton en kg/m³.

La contrainte de compression produite par la force externe minimale agissant à l'interface et pouvant agir simultanément avec l'effort de cisaillement est de

$$\sigma_n = \min(q_{slu}^* ; 0.6 f'_{cd})$$

avec :

$$q_{slu}^* = \gamma_{G1} \cdot [P_{dalle} + P_{chape} + P_{ravitement}] + \gamma_{G2} \cdot P_{autres} + \gamma_Q \cdot Q_{var}$$



$$f'_{cd} = \min(f_{cd, \text{existant}, \text{paramètres fragiles}}; f_{lcd})$$

Le coefficient ν résulte :

$$\nu = \min \left[0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck, \text{existant}}}{250} \right); 0.5 \cdot \left(1 - \frac{f_{lck}}{250} \right) \right]$$

où pour $f_{ck, \text{existant}}$, en fonction du choix des propriétés mécaniques du béton existant dans la fenêtre Matériaux, le logiciel utilise la valeur de f_{ck} si l'on sélectionne " **Valeur de rapport** ", la valeur de f_{cm} si l'on sélectionne " **Valeur d'essai** " et la valeur de f_{cd} si l'on sélectionne " **Valeur personnalisée** " ; et f_{lck} représente la résistance caractéristique à la compression du béton léger structural.

Le terme ν_{Rdi} est ensuite multiplié par le terme L pour obtenir une quantité comparable à $\tau_{interface} \cdot b$. Le terme L représente la largeur de la bande d'adhérence concernée, qui est égale à :

$$L = \begin{cases} b_t & \text{si } h_c < 20 \text{ mm e } h_p = 0 \text{ mm} \\ i_{tr} & \text{si } h_c \geq 20 \text{ mm e } h_p = 0 \text{ mm} \\ \min(b_t; b_r) & \text{si } h_c < 20 \text{ mm e } h_p > 0 \text{ mm} \\ b_r & \text{si } h_c \geq 20 \text{ mm e } h_p > 0 \text{ mm} \end{cases}$$

b_t base du solive, i_{tr} entraxe des solives, h_c épaisseur de la dalle en béton existante, h_p épaisseur du panneau d'allègement et b_r base du raccordement en béton (si le panneau d'allègement est présent).

La recherche de l'axe neutre élastique est effectuée comme suit :

- chaque section est rendue en interne dans le logiciel avec une série de points, à partir desquels les surfaces, les moments statiques et les moments d'inertie sont évalués numériquement ;
- chaque figure de section est associée à son propre matériau. Chaque figure de section est associée à son propre matériau. Les valeurs FC (Facteur de confiance) et γ_m du matériau sont extraites du même matériau, ainsi que les déformations et les résistances ;
- les propriétés géométriques de chaque partie de la section sont calculées et le centre de gravité est dérivé ;
- la section est ensuite analysée en évaluant les déformations résultant de l'application du moment de contrainte. Les parties réagissant sont alors identifiées en calculant les contraintes de chaque matériau présent (béton, ferrailages) ;
- la position de l'axe neutre est calculée.

En particulier, le calcul de la surface et du moment statique d'une section définie par N points x_i, y_i est décrit.

$$A = \frac{1}{2} \sum_i (x_i y_{i+1} - x_{i+1} y_i)$$



$$S_x = \frac{1}{6} \sum_i (x_{i+1} - x_i)(y_i^2 + y_i y_{i+1} + y_{i+1}^2)$$

Il en est de même pour le moment d'inertie.

En particulier, pour le moment statique de la section réactive, la procédure suivante est suivie :

- La partie de la section qui réagit est acquise ;
- l'axe horizontal de la section est déplacé vers l'axe neutre ;
- le moment statique de la section partialisée est calculé en considérant uniquement les parties au-dessus de la corde de vérification, positionnées à l'interface plancher existant - nouvelle dalle.

La même chose est faite pour le moment d'inertie.

2.7. Calcul de la distance et de la distribution des connecteurs

Pour calculer la distance et la répartition des connecteurs, il est nécessaire de connaître

- le glissement à l'interface $\tau_{interface} \cdot b$, avec b largeur de la membrure à considérer, égale à la largeur minimale de contact entre la dalle existante et la nouvelle dalle ;
- la résistance au glissement offerte par l'adhérence ; $v_{Rdi} \cdot L$
- la résistance au calcul du connecteur choisi dans la zone fissurée $P_{Rd,ck}$ et dans la zone non fissurée ; $P_{Rd,uck}$
- la direction du moment de contrainte dans l'état de pré fissuration, ci-après nommé ; $M_{sd,pre-int}$
- l'enfoncement de l'axe neutre au moment positif dans l'état de pré fissuration, ci-après nommé $A_{N,pre-int}^+$

Pour chaque point où le plancher analysé a été discrétisé, la distance (appelé PC = distance calculé) des connecteurs dans la coordonnée considérée est calculé comme suit :

$$PC [mm] = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{P_{Rd,ck}}{(\tau_{interface} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} & si \ M_{sd,pre-int} < 0 \\ \frac{P_{Rd,ck}}{(\tau_{interface} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} & si \ M_{sd,pre-int} \geq 0 \ e \ A_{N,pre-int}^+ < 0.9h_{ef} \\ \frac{P_{Rd,uck}}{(\tau_{interface} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} & si \ M_{sd,pre-int} \geq 0 \ e \ A_{N,pre-int}^+ \geq 0.9h_{ef} \end{array} \right\}$$

Pour chaque coordonnée, si la distance calculé PC est inférieur ou égal à zéro ou supérieur à la distance maximal, la distance maximal de 500 mm est imposé, ce qui permet d'obtenir la distance calculé correct : PCC



$$PCC [mm] = \begin{cases} s_{max} = 500 \text{ mm} & \text{si } PC \leq 0 \text{ o } PC > s_{max} \\ PC & \text{si } 0 < PC \leq s_{max} \end{cases}$$

Le logiciel calcule toujours la pose avec un espacement variable et la pose avec un espacement constant par travée, en montrant les deux options de pose dans le rapport et seulement l'option de pose avec un espacement variable en cliquant sur le bouton **Table de connexion** dans l'interface du logiciel.

2.7.1. Espacement variable

Pour chaque travée, le logiciel identifie les points de discrétisation du plancher appartenant à $L/4$ à gauche, à $L/4$ à droite et à $L/2$ au centre et détermine la distance théorique de la pose dans la section considérée comme suit :

$$distance \text{ théorique} = \begin{cases} \min(PCC) \text{ en } \frac{L}{4} \text{ à gauche} \\ \min(PCC) \text{ en } \frac{L}{2} \text{ centrales} \\ \min(PCC) \text{ en } \frac{L}{4} \text{ à droite} \end{cases}$$

Connaissant la distance théorique, il est possible de calculer le nombre théorique de connecteurs pour le tronçon considéré :

$$N. \text{ conn théorique} = \frac{L_i}{distance \text{ théorique}}$$

Avec L_i égal à la longueur du tronçon considéré.

$N. \text{ conn théorique}$ si le nombre théorique de connecteurs s'avère être un nombre non entier, on procède alors à l'arrondi du nombre théorique de connecteurs, ce qui permet de trouver $N. \text{ connecteurs}$ et donc la distance réel auquel les connecteurs seront posés dans le tronçon considéré :

$$distance = \frac{L_i}{N. \text{ connecteurs}}$$

Plus précisément, l'arrondi est effectué comme suit :

- à l'entier suivant pour le **Mini Connecteur Béton** tant dans $L/4$ que dans $L/2$
- à l'entier suivant pour **Connecteur Béton Plus D12** dans $L/4$
- jusqu'à l'entier pair suivant pour **Connecteur Béton Plus D12** dans $L/2$

Si dans l'une des sections $distance$ est inférieur à la distance critique $s_{cr,N}$ (égal à 126 mm pour **Mini Connecteur Béton** et $s_{cr,N} = 156 \text{ mm}$ pour **Connecteur Béton Plus D12**), le logiciel signalera par une alerte spéciale que la distance calculé est inférieur à la distance critique selon l'ETA.

Le nombre de connecteurs à m^2 est obtenu en additionnant $N. \text{ connecteurs}$ sur les différentes sections et en divisant le total par la somme des portées des travées et de la distance.



Si l'extrémité libre est présente dans une travée, le logiciel restitue la pose à espacement constant dans cette travée (calculée comme indiqué dans le paragraphe suivant), tout en maintenant la pose à espacement variable dans les autres travées du plancher (si présentes).

2.7.2. Espacement constant par travée

Pour chaque travée, le logiciel détermine la distance de pose théorique de la manière suivante :

$$distance\ théorique = \min(PCC)$$

Une fois la distance théorique connu, il est possible de calculer le nombre théorique de connecteurs pour la travée considérée :

$$N.\text{conn théorique} = \frac{L_i}{distance\ théorique}$$

avec L_i égal à la longueur de la travée considérée.

$N.\text{conn théorique}$ si le nombre théorique de connecteurs s'avère être un nombre non entier, on procède alors à l'arrondi du nombre théorique de connecteurs, ce qui permet de trouver $N.\text{connecteurs}$ et donc la distance réel auquel les connecteurs doivent être posés :

$$distance = \frac{L_i}{N.\text{connecteurs}}$$

Plus précisément, l'arrondi est effectué comme suit :

- à l'entier suivant pour le **Mini Connecteur Béton** ;
- à l'entier pair suivant pour **Connecteur Béton Plus D12** dans les travées sans extrémité libre ;
- à l'entier pair suivant pour **Connecteur Béton Plus D12** dans les travées avec extrémité libre.

Si dans l'une des travées $distance$ est plus petit que la distance critique $s_{cr,N}$ (égal à 126 mm pour **Mini Connecteur Béton** et $s_{cr,N} = 156\text{ mm}$ pour **Connecteur Béton Plus D12**), le logiciel indique avec une alerte spéciale que la distance calculé est plus petit que la distance critique selon l'ETA.

Le nombre de connecteurs à m^2 est obtenu en additionnant $N.\text{connecteurs}$ sur les différentes portées et en divisant le total par la somme des portées des travées et de la distance.



3. VALIDATION DU CALCUL

Dans ce chapitre, des exemples de calcul sont donnés pour valider les procédures de calcul adoptées dans le logiciel.

3.1. Cas 1 – Renforcement de plancher avec nouvelle dalle et connecteur chimique CS

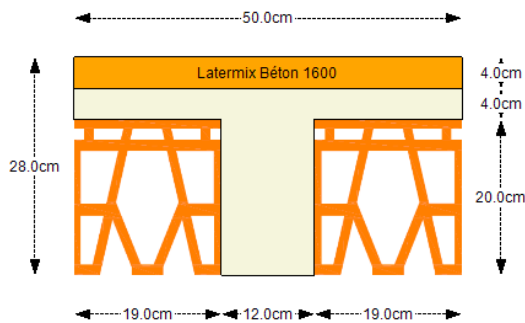
On analyse une dalle existante, avec les caractéristiques décrites ci-dessous, renforcée au moyen d'une nouvelle dalle en béton léger structural **Latermix Béton 1600**, interconnectée à la dalle existante au moyen du **Connecteur Chimique CS**.

Les matériaux existants suivants sont utilisés

- pour le béton existant, sélectionner "**Valeur du rapport**" la classe C20/25 et un niveau de connaissance LC2 correspondant à un facteur de confiance de 1,20;
- pour l'acier existant, sélectionner "**Valeur du rapport**" la classe FeB44k et un niveau de connaissance LC1 correspondant à un facteur de confiance de 1,35.

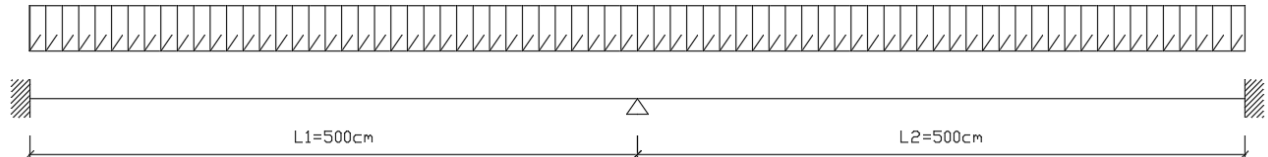
Le calcul est effectué en supposant un comportement fragile des matériaux existants.

La géométrie suivante est adoptée :



GÉOMÉTRIE		
Épaisseur nouvelle dalle	4.0	cm
Épaisseur dalle existante	4.0	cm
Base solive	12.0	cm
Hauteur solive	20.0	cm
Entraxe solives	50.0	cm
Longueur travée 1	500.0	cm
Longueur travée 2	500.0	cm

Le schéma statique du plancher est constitué de 2 travées de 500 cm les extrémités encastrees:



La charge à l'état limite ultime est déterminée comme suit :

Coefficients de sécurité	Charges structurelles permanentes	γ_{G1}	1.3 -
	Autres charges permanentes non structurelles	γ_{G2}	1.5 -
	Charges variables	γ_Q	1.5 -
Poids propre	Planchers existants	G_1	3.11 kN/m ²
	Dalle collaborante (4 cm)		0.70 kN/m ²
Permanent	Latermix Facile (4,00 cm)	G_2	0.40 kN/m ²
	Ravaillage CS (5,00 cm)		0.33 kN/m ²
	Autres permanents		1.00 kN/m ²
Variables		Q	2.00 kN/m ²

La combinaison de charges ELU considérée est :

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{plancher} + P_{dalle} + P_{chape} + P_{ravaillage}) + \gamma_{G2} \cdot P_{autres} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

où le poids propre de la dalle est évalué en considérant une densité du béton des solives existantes de 25 kN/m³ et des hourdis de 6 kN/m³, le poids de la dalle est évalué en considérant la classe de masse volumique à laquelle appartient le béton léger structural et la valeur de masse par unité de volume correspondante conformément au Tab. C4.1.VI (béton non armé).

La charge par solive est donc de :

$$q = 0.5 \cdot [1.3 \cdot (3.11 + 0.7 + 0.4 + 0.325) + 1.5 \cdot 1 + 1.5 \cdot 2] = 5.2 \frac{kN}{m}$$

Les contraintes de la poutre continue ainsi formée sont calculées :

$$V_{max} = \frac{qL}{2} = 13.00 \text{ kN}$$

$$M_{max} = \frac{qL^2}{24} = 5.42 \text{ kNm}$$

$$M_{min} = \frac{-qL^2}{12} = -10.83 \text{ kNm}$$



Le ferraillage en section est défini comme suit :

	$A_{s1} = 2.26 \text{ cm}^2 \quad d_1 = 3 \text{ cm (B450C)}$ $A_{s2} = 0.50 \text{ cm}^2 \quad d_2 = 3 \text{ cm (FeB44k)}$ $A_{s3} = 1.13 \text{ cm}^2 \quad d_3 = 3 \text{ cm (FeB44k)}$ <p>Pour B450C :</p> $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} = \frac{450}{1.15} = 391.30 \text{ MPa}$ <p>Pour FeB44k :</p> $f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_m^{FC}} = \frac{430}{1.15 \cdot 1.35} = 276.97 \text{ MPa}$
--	--

Vérification de la flexion

On procède ensuite au calcul de la résistance à la flexion positive et négative à ELU du plancher renforcé au moyen de la nouvelle dalle **Latermix Béton 1600**, interconnectée au plancher existant au moyen du **Connecteur Chimique CS**.

Les distances par rapport à l'extrados des ferraillages de la section sont :

$$c_1 = 3 \text{ cm}$$

$$c_2 = 7 \text{ cm}$$

$$c_3 = 25 \text{ cm}$$

Dans ce qui suit, dans le seul but de simplifier l'exécution manuelle des calculs de validation, une loi constitutive de type bloc de contrainte est utilisée pour le béton léger structural. Il convient toutefois de noter que la loi constitutive de type parabole-rectangle a été utilisée dans le logiciel, conformément aux indications de la norme.

Afin de déterminer la position de l'axe neutre, on suppose que le ferraillage présent dans la solive existante est tendu et en phase élastique, tandis que le ferraillage présent dans la nouvelle dalle collaborante est tendu et en phase élastique (déformation inférieure à la limite d'élasticité évaluée comme le rapport entre la contrainte de calcul et le module d'élasticité E_s de l'acier fixé à 210000 MPa), que l'axe neutre tombe dans la nouvelle dalle en **Latermix Béton 1600** et que la rupture est atteinte au niveau du volet comprimé extrême (déformation ultime $\varepsilon_{lcu} = 3 \text{ ‰}$). Ces hypothèses doivent ensuite être vérifiées.

Il en résulte l'équation d'équilibre en translation :

$$-0.8 \cdot f_{cd} \cdot i_{tr} \cdot x + A_{s1} \cdot E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu}}{x} \cdot (c_1 - x) + A_{s2} \cdot f_{sd} + A_{s3} \cdot f_{sd} = 0$$

La déformation du ferraillage de la dalle s'exprime au moyen de la similitude des triangles.



En résolvant l'équation du second degré qui en résulte et en écartant la solution non admissible, on obtient un axe neutre égal à :

$$x = 1.86 \text{ cm}$$

On vérifie maintenant que les déformations dans les trois niveaux de ferrailage sont compatibles avec les hypothèses définies :

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{lcu}}{x} (c_1 - x) = 1.84 \text{ ‰} < 1.86 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{lcu}}{x} (c_2 - x) = 8.30 \text{ ‰} > 1.32 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{\varepsilon_{lcu}}{x} (c_3 - x) = 37.4 \text{ ‰} > 1.32 \text{ ‰}$$

Les hypothèses sont vérifiées et nous procédons donc à l'évaluation du moment résistant en écrivant l'équation d'équilibre en rotation :

$$M_{rdp} = \varepsilon_{s1} E_s A_{s1} (c_1 - 0.4x) + f_{sd} A_{s2} (c_2 - 0.4x) + f_{sd} A_{s3} (c_3 - 0.4x) = 10.43 \text{ kNm}$$

Les petites différences en termes d'axe neutre et de moment résistant sont dues aux différents lois constitutifs implémentés dans le logiciel et utilisés dans les calculs manuels.

La vérification de la flexion positive est donc satisfaite :

$$M_{max} = \frac{qL^2}{24} = 5.42 \text{ kNm} < M_{rdp} = 10.43 \text{ kNm}$$

La résistance à la flexion négative est évaluée.

Les distances par rapport à l'intrados du ferrailage dans la section résultent :

$$e_1 = 25 \text{ cm}$$

$$e_2 = 21 \text{ cm}$$

$$e_3 = 3 \text{ cm}$$

Dans ce qui suit, dans le seul but de simplifier l'exécution manuelle des calculs de validation, une loi constitutive de type bloc de contrainte est utilisée pour le béton existant. Il convient toutefois de noter que la loi constitutive de type parabole-rectangle a été utilisée dans le logiciel. Les petites différences en termes d'axe neutre et de moment résistant sont dues aux différents lois constitutifs implémentés dans le logiciel et utilisés dans les calculs manuels.

Pour déterminer la position de l'axe neutre, on suppose que toutes les armatures présentes sont cédées, que le ferrailage A_{s3} est en compression alors que A_{s1} et A_{s2} sont en traction, que l'axe neutre se situe à l'intérieur de la solive existante et entre les deux niveaux de ferrailage présents dans la solive, et que la rupture est



atteinte à l'extrémité comprimée (déformation ultime $\varepsilon_{cu} = 3.50 \text{ ‰}$). Comme précédemment, ces hypothèses doivent ensuite être vérifiées.

Il en résulte l'équation d'équilibre en translation :

$$-f_{yd} \cdot A_{s1} - f_{sd} \cdot A_{s2} + f_{sd} \cdot A_{s3} + f_{cd} \cdot b \cdot 0.8 \cdot x1 = 0$$

En résolvant l'équation, on obtient un axe neutre égal à :

$$x1 = 7.83 \text{ cm}$$

On vérifie maintenant que les déformations dans les trois niveaux de ferrailage sont cohérentes avec les hypothèses définies :

$$\varepsilon_{s1} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x1} (e_1 - x1) = 7.68 \text{ ‰} > 1.86 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x1} (e_2 - x1) = 5.89 \text{ ‰} > 1.32 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{\varepsilon_{cu}}{x1} (e_3 - x1) = -2.16 \text{ ‰} < -1.32 \text{ ‰}$$

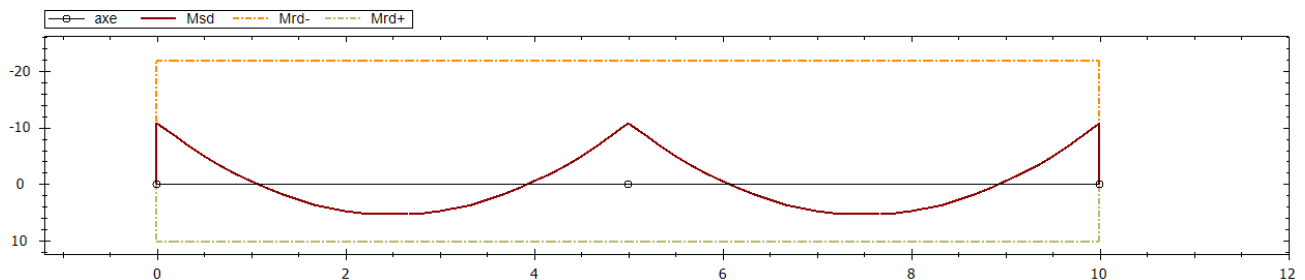
Les hypothèses sont vérifiées et nous procédons donc à l'évaluation du moment résistant, en écrivant l'équation d'équilibre en rotation :

$$M_{rdn} = f_{yd} A_{s1} (e_1 - 0.4x1) + f_{sd} A_{s2} (e_2 - 0.4x1) - f_{sd} A_{s3} (e_3 - 0.4x1) = 21.85 \text{ kNm}$$

La vérification de la flexion négative est donc satisfaite :

$$M_{min} = \frac{-qL^2}{12} = -10.83 \text{ kNm} < M_{rdn} = -21.85 \text{ kNm}$$

Le graphique produit par le logiciel est représenté :



Vérification du cisaillement

La résistance au cisaillement est évaluée au niveau des appuis où la contrainte de cisaillement est maximale. Dans cette zone, les ferrailages tendus sont A_{s1} et A_{s2}



Depuis $f_{ck,LATERMIX} > f_{ck}/FC$, nous procédons à la **vérification du cisaillement à ELU**, pour les éléments sans ferrailage de cisaillement spécifique, conformément au paragraphe §4.1.2.3.5.1 des *Norme Tecniche delle Costruzioni*, selon la relation suivante

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds, (v_{\min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds \right\} = \max (V_{r1}; V_{r2})$$

avec :

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{ds}} = 1.89 \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035 k^{1.5} \left(\frac{f_{ck}}{FC} \right)^{0.5} = 0.373$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} = \frac{A_{s1} + A_{s2}}{b_w \cdot ds} = 0.0092 \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

E ds hauteur utile de la section égale à 25 cm, A_{sl} surface du ferrailage longitudinal tendu (somme de A_{s1} et A_{s2}), b_w base minimale de la section réagissant égale à 12 cm et γ_m égale à 1,5.

Il en résulte donc :

$$V_{r1} = \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds = 16.94 \text{ kN}$$

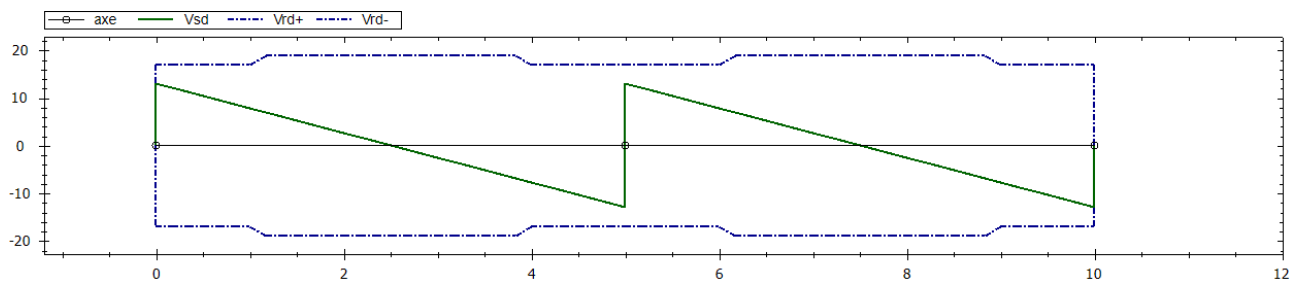
$$V_{r2} = (v_{\min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds = 11.18 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \max(V_{r1}; V_{r2}) = 16.94 \text{ kN}$$

La vérification du cisaillement est donc satisfaite :

$$V_{\max} = \frac{qL}{2} = 13.00 \text{ kN} < V_{Rd} = 16.94 \text{ kN}$$

Le graphique produit par le logiciel est représenté :



Vérification du glissement sur la surface de contact avec La nouvelle dalle

Afin de calculer la parfaite adhérence entre la nouvelle dalle en béton **Latermix Béton 1600** et le plancher existant, la contrainte de cisaillement présente à l'interface dalle existante-dalle (évaluée à l'aide de la formule de Jourawsky) est comparée à la valeur de conception du **Connecteur Chimique CS** égale à 0,72 MPa, nécessaire à la bonne collaboration entre les deux parties.

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment positif :

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,LATERMIX}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{20000 \text{ MPa}}{2}\right)} = 21.0$$

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment négatif :

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,existante}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{29962 \text{ MPa}}{2}\right)} = 14.02$$

Dans ce cas spécifique, le cisaillement de contrainte maximal de 13 kN se produit dans une zone soumise à un moment négatif, par conséquent, les évaluations ultérieures sont effectuées à l'aide de n^-

Nous évaluons d'abord la position de l'axe neutre à partir du calcul élastique de la section, en imposant que le moment statique de toute la section partialisée par rapport à l'axe neutre soit nul (hypothèse de l'axe neutre dans la solive existante) :

$$bx_n \frac{x_n}{2} + n^- [A_{s1}(x_n - e_1) + A_{s2}(x_n - e_2) + A_{s3}(x_n - e_3)] = 0$$

d'où l'on déduit $x_n = 9.06 \text{ cm}$. L'hypothèse est vérifiée.

On évalue ensuite le moment statique de la partie au-dessus de la corde b considérée située à l'interface entre la dalle existante et la nouvelle dalle :

$$S_{int} = A_{s1}n^-(e_1 - x_n) = 504.95 \text{ cm}^3$$

Le moment d'inertie de la section entière partialisée par rapport à l'axe neutre est évalué comme suit :

$$J_n = \frac{A_{c1} \cdot x_n^2}{12} + A_{c1} \cdot \left(\frac{x_n}{2}\right)^2 + n^- \cdot (A_{s1} \cdot (e_1 - x_n)^2 + A_{s2} \cdot (e_2 - x_n)^2 + A_{s3} \cdot (e_3 - x_n)^2)$$

$$J_n = 12605.03 \text{ cm}^4$$

Avec $A_{c1} = x_n b$ l'aire de la section de béton comprimée.

Enfin, la tension tangentielle à l'interface est calculée à l'aide de la formule de Jourawsky :

$$\tau_{interface} = \frac{V_{sd,max} \cdot S_{int}}{J_n \cdot b} = 0.10 \text{ MPa} < 0.72 \text{ MPa}$$



Avec $V_{sd,max} = V_{max} = 13 \text{ kN}$ et $b = 50 \text{ cm}$

La vérification est remplie puisque la tension est inférieure à la tension de conception du Connecteur Chimique CS.

Les résultats obtenus dans le logiciel sont présentés ci-dessous :

Résultats

Résultats du calcul

Msd+	5.42	kNm	vérifié
Mrd+	10.36	kNm	
Msd-	-10.83	kNm	vérifié
Mrd-	-21.79	kNm	
Vsd	13.00	kN	vérifié
Vrd	16.94	kN	
τ_{sd}	0.10	MPa	vérifié
τ_{rd}	0.72	MPa	

Calculer

Diagrammes M, V

Vérification pré-intervention à ELU

La combinaison de charges ELU pour la pré-intervention considérée est :

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{plancher} + P_{chape} + P_{ravitement}) + \gamma_{G2} \cdot P_{autres} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

où le poids propre du plancher est évalué en considérant une densité de béton du soliveau existant de 25 kN/m^3 et des hourdis de 6 kN/m^3 .

La charge par solive résulte donc :

$$q = 0.5 \cdot [1.3 \cdot (3.11 + 0.4 + 0.325) + 1.5 \cdot 1 + 1.5 \cdot 2] = 4.74 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Les contraintes de la poutre continue ainsi formée sont calculées :

$$V_{max} = \frac{qL}{2} = 11.86 \text{ kN}$$



$$M_{max} = \frac{qL^2}{24} = 4.94 \text{ kNm}$$

$$M_{min} = \frac{-qL^2}{12} = -9.88 \text{ kNm}$$

De façon similaire à ce qui précède, la position de l'axe neutre au moment positif est obtenue en écrivant l'équation d'équilibre en translation (en supposant que les ferraillements sont tous deux non liés et que l'axe neutre tombe dans la dalle existante) :

$$x = \frac{f_{sd}(A_{s2} + A_{s3})}{0.8f_{cd}i_{tr}} = 1.20 \text{ cm}$$

Le moment résistant positif résulte :

$$M_{rdp} = f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot (c_2 - 0.4 \cdot x) + f_{sd} \cdot A_{s3} \cdot (c_3 - 0.4 \cdot x) = 6.77 \text{ kNm}$$

où les valeurs de c_2 et c_3 sont affectées aux hauteurs utiles du ferraillement mesurées à partir de l'extrados du plancher existant.

La position de l'axe neutre au moment négatif est dérivée en écrivant l'équation d'équilibre en translation (en supposant que le ferraillement A_{s2} est cédé et que le ferraillement A_{s3} est élastique) :

$$-f_{sd} \cdot A_{s2} + \frac{E_s \cdot \varepsilon_{cu} \cdot (x1 - e_3)}{x1} \cdot A_{s3} + f_{cd} \cdot b \cdot 0.8 \cdot x1 = 0$$

$$x1 = 2.67 \text{ cm}$$

Le moment résistant négatif en résulte :

$$M_{rdn} = f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot (e_2 - 0.4 \cdot x1) - \varepsilon_{s3} \cdot E_s \cdot A_{s3} \cdot (e_3 - 0.4 \cdot x1) = 2.96 \text{ kNm}$$

où les valeurs de e_2 et e_3 sont affectées aux hauteurs utiles du ferraillement mesurées à partir du intrados du plancher existant.

Pour la vérification du cisaillement (au niveau des appuis), la formulation pour les éléments de cisaillement non renforcés est appliquée, de manière similaire à ce qui a été fait précédemment :

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15\sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds, (v_{\min} + 0.15\sigma_{cp}) b_w \cdot ds \right\} = \max(V_{r1}; V_{r2})$$

avec :

$$ds = h + s_e - c_2 = 21 \text{ cm}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} = \frac{A_{s2} + A_{s3}}{b_w \cdot ds} = 0.00647 \leq 0.02$$



$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{ds}} = 1.98 \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035k^{1.5} \left(\frac{f_{ck}}{FC} \right)^{0.5} = 0.397$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

Et ds hauteur utile de la section égale à 21 cm, A_{sl} surface du ferrailage longitudinal tendu (somme de A_{s2} et A_{s3}), b_w base minimale de la section réactive égale à 12 cm et γ_m égale à 1,5.

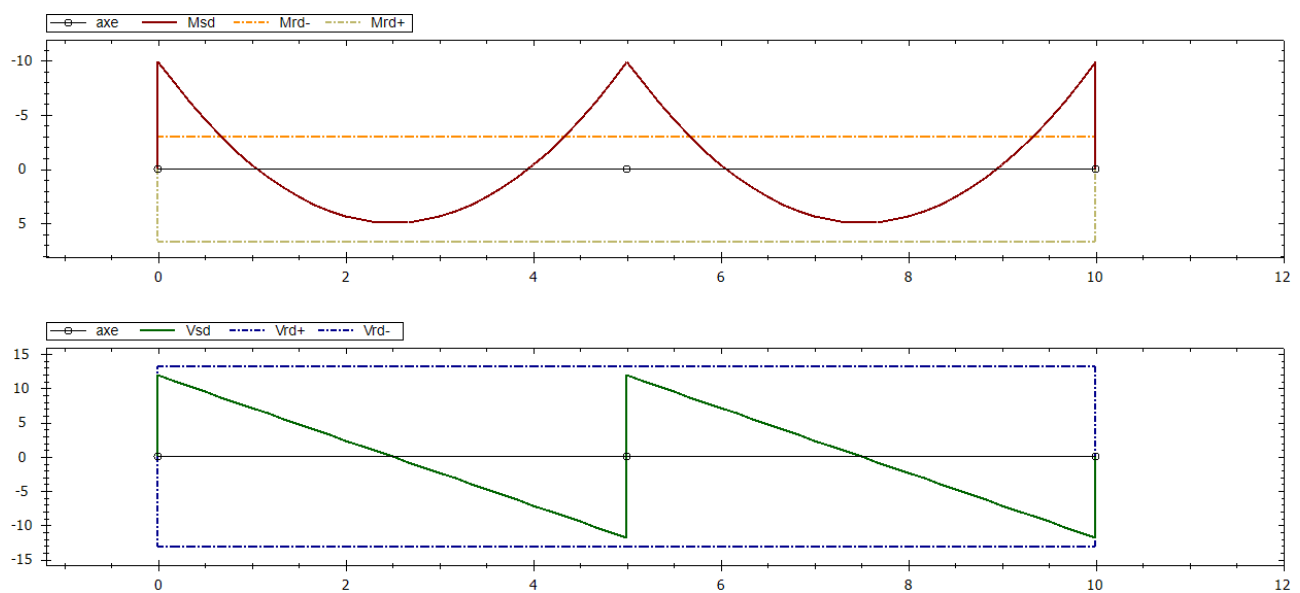
Il en résulte que :

$$V_{r1} = \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15\sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds = 13.20 \text{ kN}$$

$$V_{r2} = (v_{\min} + 0.15\sigma_{cp}) b_w \cdot ds = 10.00 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \max(V_{r1}; V_{r2}) = 13.20 \text{ kN}$$

Les graphiques produits par le logiciel sont illustrés :



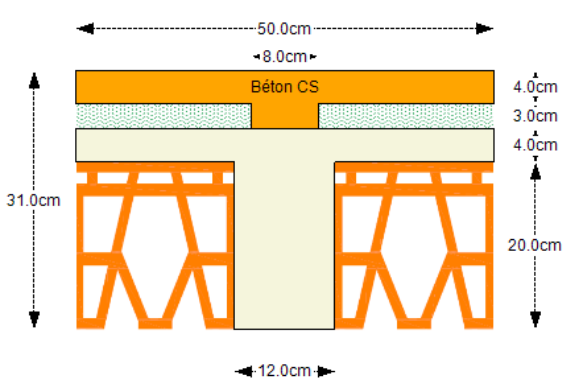
3.2. Cas 2 – Renforcement de plancher avec nouvelle dalle et panneau d'allègement et Connecteur Chimique CS

On analyse une dalle existante, avec les caractéristiques décrites ci-dessous, renforcée au moyen de la construction d'une nouvelle dalle en béton structural léger **Béton CS**, connectée à la dalle existante au moyen du **Connecteur Chimique CS**. L'installation de panneaux d'allègement est également prévue, comme détaillé ci-dessous.

Les matériaux existants suivants sont utilisés

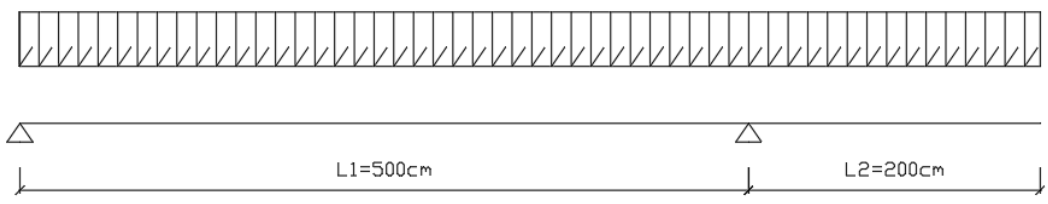
- pour le béton existant, sélectionner "**Valeur personnalisée**" et entrez la valeur de conception de la résistance à la compression de 20 MPa;
- pour l'acier existant, sélectionner "**Valeur personnalisée**" et entrez la valeur de calcul de la limite d'élasticité de 450 MPa.

La géométrie suivante est adoptée :



GÉOMÉTRIE		
Épaisseur nouvelle dalle	4.0	cm
Épaisseur dalle existante	4.0	cm
Base solive	12.0	cm
Hauteur solive	20.0	cm
Espacement solives	50.0	cm
Longueur de l'âme en béton	8.0	cm
Hauteur de l'âme en béton	3.0	cm
Longueur travée 1	500.0	cm
Longueur travée 2	200.0	cm

Le schéma statique du plancher se compose de deux travées, la première de 500 cm et la seconde de 200 cm, avec un appui à l'extrémité gauche tandis que l'autre extrémité libre :



Il y a également une longueur de béton pleine au niveau de l'appui central avec une extension de 60 cm pour la travée gauche et de 40 cm pour la travée droite.



La charge à l'état limite ultime est déterminée comme suit :

Facteurs de sécurité	Charges structurelles permanentes	γ_{G1}	1.3 -
	Autres charges permanentes non structurelles	γ_{G2}	1.5 -
	Charges d'exploitation	γ_Q	1.5 -
Poids propre	Planchers existants	G_1	3.11 kN/m ²
	Dalle collaborante (4 cm)		0.74 kN/m ²
Permanent	-	G_2	0.00 kN/m ²
	-		0.00 kN/m ²
	Autres permanents		1.50 kN/m ²
Variables		Q	2.00 kN/m ²

La combinaison de charges ELU considérée est :

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{plancher} + P_{dalle}) + \gamma_{G2} \cdot P_{autres} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

où le poids propre de la dalle est évalué en considérant une densité du béton des solives existantes de 25 kN/m³ et des hourdis de 6 kN/m³, le poids de la dalle est évalué en considérant la classe de masse volumique à laquelle appartient le béton léger structural et la valeur de masse par unité de volume correspondante conformément au Tab. C4.1.VI (béton non armé).

La charge par solive est donc de :

$$q = 0.5 \cdot [1.3 \cdot (3.11 + 0.74) + 1.5 \cdot 1.5 + 1.5 \cdot 2] = 5.13 \frac{kN}{m}$$

Les contraintes de la poutre continue ainsi formée sont calculées :

$$V_A = \frac{q \cdot (L1^2 - L2^2)}{2 \cdot L1} = 10.77 \text{ kN}$$

$$V_{B1} = -\left(\frac{q}{2 \cdot L1} \cdot (L1 + L2)^2 - q \cdot L2\right) = -14.87 \text{ kN}$$

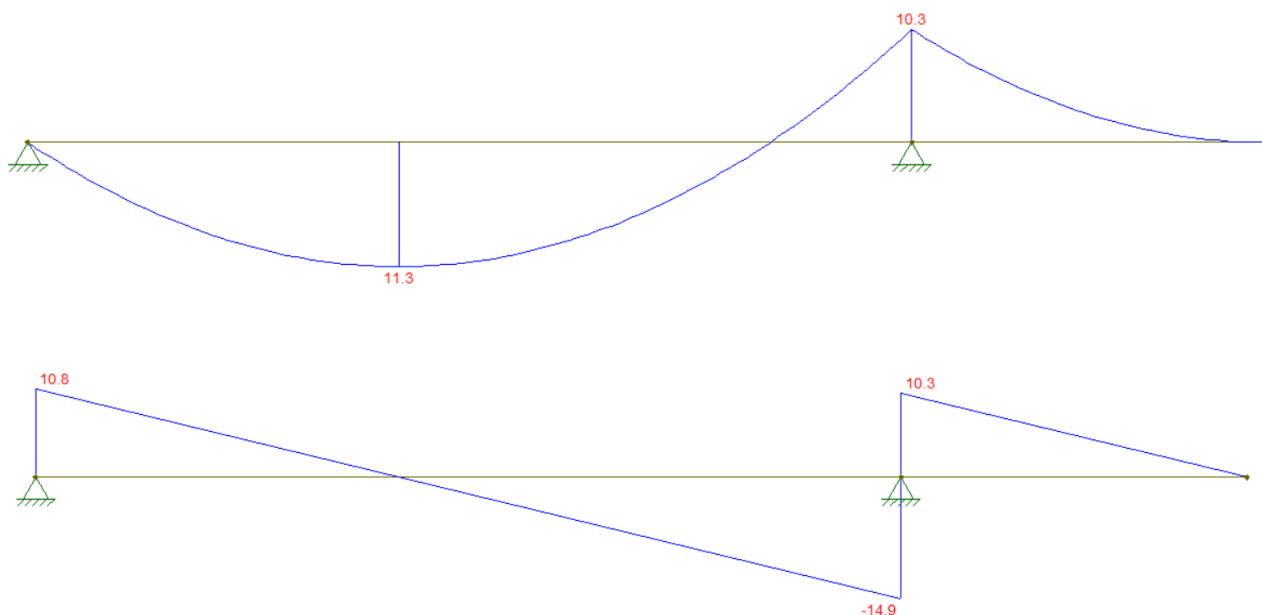
$$V_{B2} = q \cdot L2 = 10.26 \text{ kN}$$

$$x_0 = \frac{L1^2 - L2^2}{2 \cdot L1} = 2.1 \text{ m}$$

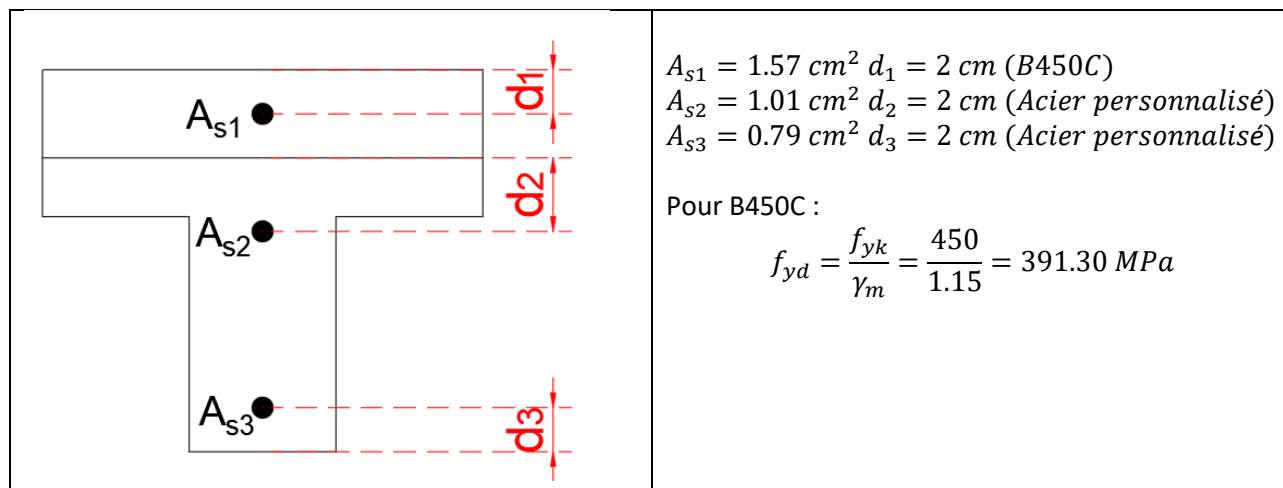
$$M_{max} = \frac{q}{2 \cdot L1} \cdot (L1^2 - L2^2) \cdot x_0 - \frac{q \cdot x_0^2}{2} = 11.3 \text{ kNm}$$

$$M_{min} = \frac{-q \cdot L2^2}{2} = -10.26 \text{ kNm}$$





Le ferrailage en section est défini comme suit :



Vérification de la flexion

On procède ensuite au calcul de la résistance à la flexion positive et négative à ELU du plancher renforcé au moyen de la nouvelle dalle en **Béton CS**, connectée au plancher existant au moyen du **Connecteur Chimique CS**, et avec l'interposition du panneau d'allègement.

Les distances par rapport à l'extrados du ferrailage dans la section sont :

$$c_1 = 2 \text{ cm}$$

$$c_2 = 9 \text{ cm}$$

$$c_3 = 29 \text{ cm}$$



Dans ce qui suit, dans le seul but de simplifier l'exécution manuelle des calculs de validation, une loi constitutive de type bloc de contrainte est utilisée pour le béton léger structural. Il convient toutefois de noter que la loi constitutive de type parabole-rectangle a été utilisée dans le logiciel, conformément aux indications de la norme.

La position de l'axe neutre est obtenue en imposant l'équilibre en translation, en faisant une hypothèse sur l'état de déformation de la section à vérifier ultérieurement :

$$\frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (c_1 - x)}{x} \cdot E_s \cdot A_{s1} + f_{sd} \cdot (A_{s2} + A_{s3}) - f_{Ld} \cdot i_{tr} \cdot 0.8 \cdot x = 0$$

Où ε_{lcu} est la déformation ultime du béton léger structural évaluée conformément à la NTC18 et à sa circulaire.

En résolvant l'équation du second degré qui en résulte et en écartant la solution non admissible, nous obtenons un axe neutre (flexion positive) égal à :

$$x = 1.71 \text{ cm}$$

Les hypothèses de départ sont vérifiées et le moment résistant est donc évalué en écrivant l'équation d'équilibre en rotation :

$$M_{rdp} = \varepsilon_{s1} \cdot E_s \cdot A_{s1} \cdot (c_1 - 0.4 \cdot x) + f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot (c_2 - 0.4 \cdot x) + f_{sd} \cdot A_{s3} \cdot (c_3 - 0.4 \cdot x) = 14.06 \text{ kNm}$$

Les petites différences en termes d'axe neutre et de moment résistant sont dues aux différents lois constitutives implémentés dans le logiciel et utilisés dans les calculs manuels.

La vérification de la flexion positive est donc satisfaite.

L'évaluation de la résistance à la flexion négative au niveau de la zone en béton pleine est poursuivie.

Les distances par rapport à l'intrados du ferrailage dans la section résultent :

$$e_1 = 29 \text{ cm}$$

$$e_2 = 22 \text{ cm}$$

$$e_3 = 2 \text{ cm}$$

Dans ce qui suit, dans le seul but de simplifier l'exécution manuelle des calculs de validation, une loi constitutive de type bloc de contrainte est utilisée pour le béton existant. Il convient toutefois de noter que la loi constitutive de type parabole-rectangle a été utilisée dans le logiciel. Les petites différences en termes d'axe neutre et de moment résistant sont dues aux différents lois constitutifs implémentés dans le logiciel et utilisés dans les calculs manuels.

La position de l'axe neutre est dérivée en imposant l'équilibre en translation, en faisant une hypothèse sur l'état de déformation de la section à vérifier ultérieurement :



$$-f_{yd} \cdot A_{s1} - f_{sd} \cdot A_{s2} - \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (e_3 - x1)}{x1} \cdot E_s \cdot A_{s3} + f_{cd} \cdot i_{tr} \cdot 0.8 \cdot x1 = 0$$

La profondeur de l'axe neutre au moment négatif est égale à :

$$x1 = 1.55 \text{ cm}$$

Les hypothèses de départ sont vérifiées et le moment résistant est ensuite évalué en écrivant l'équation d'équilibre en rotation :

$$M_{rdn} = f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (e_1 - 0.4 \cdot x1) + f_{sd} \cdot A_{s2} \cdot (e_2 - 0.4 \cdot x1) + \sigma_{s3} \cdot A_{s3} \cdot (e_3 - 0.4 \cdot x1) = 27.39 \text{ kNm}$$

avec :

$$\sigma_{s3} = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot (e_3 - x1)}{x1} \cdot E_s$$

La vérification de la flexion négative est donc satisfaite.

Vérification du cisaillement

La résistance au cisaillement est évaluée à la coordonnée $x=5$ m dans la première travée, où la contrainte de cisaillement est maximale. Dans cette zone, tous les ferraillages sont tendus.

Depuis $f_{ck,LATERMIX} > f_{cd}$, la **vérification du cisaillement à ELU** est effectuée, pour les éléments sans ferraillage spécifique, conformément au paragraphe §4.1.2.3.5.1 des *Norme Tecniche delle Costruzioni*, selon la relation suivante

$$V_{Rd} = \max \left\{ \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{cd})^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds, (v_{\min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds \right\} = \max (V_{r1}; V_{r2})$$

avec :

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{ds}} = 1.83 \leq 2$$

$$v_{\min} = 0.035 k^{1.5} (f_{cd})^{0.5} = 0.388$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot ds} = \frac{A_{s1} + A_{s2} + A_{s3}}{b_w \cdot ds} = 0.0145 \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = 0$$

E ds hauteur utile de la section égale à 29 cm, A_{sl} surface du ferraillage longitudinal tendu, b_w base minimale de la section réagissant égale à 8 cm et γ_m égale à 1,5.



Il en résulte ce qui suit :

$$V_{r1} = \left[\frac{0.18}{\gamma_m} \cdot k \cdot \left(100 \cdot \rho_l \cdot \frac{f_{ck}}{FC} \right)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \sigma_{cp} \right] b_w \cdot ds = 15.67 \text{ kN}$$

$$V_{r2} = (v_{\min} + 0.15 \sigma_{cp}) b_w \cdot ds = 8.99 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = \max(V_{r1}; V_{r2}) = 15.67 \text{ kN}$$

La vérification du cisaillement est donc satisfaite.

Vérification du fluage sur la surface de contact avec la nouvelle coque

Pour le calcul de la parfaite adhérence entre la nouvelle dalle en **Béton CS** et le plancher existant, la contrainte de cisaillement présente à l'interface dalle existante-dalle (évaluée à l'aide de la formule de Jourawski) est comparée à la valeur de conception du **Connecteur Chimique CS** égale à 0,72 MPa, nécessaire à la bonne collaboration entre les deux parties.

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment positif :

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,LATERMIX}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{17000 \text{ MPa}}{2} \right)} = 24.71$$

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment négatif :

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,existant}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{27085 \text{ MPa}}{2} \right)} = 15.51$$

A titre d'exemple pour les zones soumises à un moment positif, on évalue la position de l'axe neutre à partir du calcul élastique de la section, en imposant que le moment statique de toute la section partialisée par rapport à l'axe neutre soit nul (hypothèse de l'axe neutre dans la nouvelle coulée de béton structural et en particulier à l'intérieur du noyau du béton T) :

$$h_s i_{tr} \left(x_p - \frac{h_s}{2} \right) + \frac{b_r (x_p - h_s)(x - h_s)}{2} + n^+ [A_{s1}(x_p - c_1) + A_{s2}(x_p - c_2) + A_{s3}(x_p - c_3)] = 0$$

d'où l'on déduit $x_p = 4.47 \text{ cm}$. L'hypothèse est vérifiée. Dans l'équation ci-dessus, h_s est l'épaisseur de la nouvelle dalle (4 cm), b_r est la largeur de la connexion en béton (8 cm).

On évalue ensuite le moment statique de la partie au-dessus de la corde considérée b située à l'interface entre le plancher existant et le nouveau plancher, ce qui implique dans ce cas le ferrailage de la dalle et la partie comprimée du béton :

$$S_{int} = h_s i_{tr} \left(x_p - \frac{h_s}{2} \right) + \frac{b_r (x_p - h_s)(x - h_s)}{2} + n^+ A_{s1}(x_p - c_1) = 591.63 \text{ cm}^3$$



Le moment d'inertie de la section entière partialisée par rapport à l'axe neutre est évalué comme suit :

$$J_n = \frac{i_{tr} \cdot h_s^3}{12} + h_s i_{tr} \cdot \left(x_p - \frac{h_s}{2}\right)^2 + b_r \frac{(x_p - h_s)^3}{12} + b_r (x_p - h_s) \left(\frac{x_p - h_s}{2}\right)^2 + n^+ \cdot \left(A_{s1} \cdot (x_p - c_1)^2 + A_{s2} \cdot (x_p - c_2)^2 + A_{s3} \cdot (x_p - c_3)^2\right)$$

$$J_n = 13979.99 \text{ cm}^4$$

Enfin, la tension tangentielle à l'interface est calculée à l'aide de la formule de Jourawsky dans l'appui gauche, où le cisaillement maximal pour les zones de moment positif est donné :

$$\tau_{interface} = \frac{V_A \cdot S_{int}}{J_n \cdot b} = 0.57 \text{ MPa} < 0.72 \text{ MPa}$$

avec $b = b_r = 8 \text{ cm}$

La vérification est satisfaite puisque la tension est inférieure à la tension de conception du Connecteur Chimique CS.

Les résultats obtenus dans le logiciel sont présentés ci-dessous :

Résultats				
Résultats du calcul				
Msd+	11.30	kNm		
Mrd+	14.01	kNm		vérifié
Msd-	-10.26	kNm		
Mrd-	-27.37	kNm		vérifié
Vsd	14.87	kN		
Vrd	15.67	kN		vérifié
τsd	0.57	MPa		
τrd	0.72	MPa		vérifié
<div> <div>Calculer</div> <div>Diagrammes M, V</div> </div>				

Les diagrammes de moment et de cisaillement sont représentés, y compris les valeurs résistantes.



Diagramme de moment :

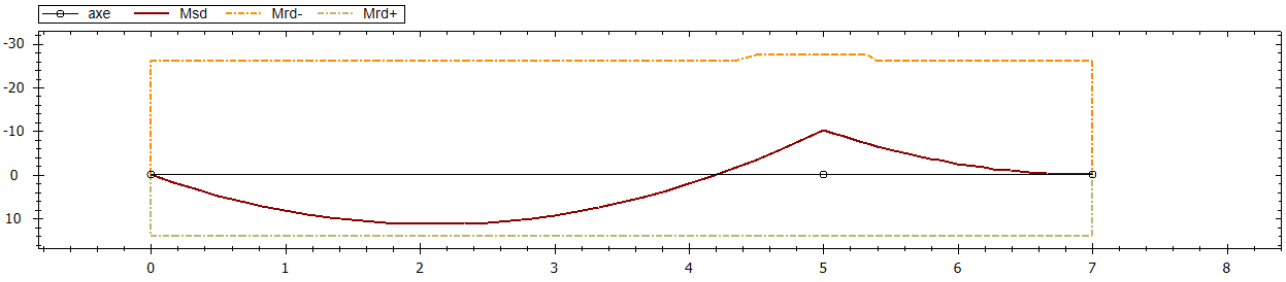
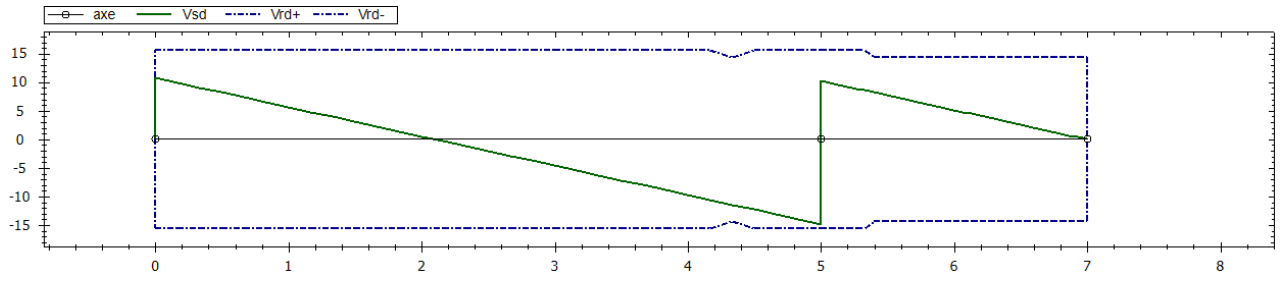


Diagramme de cisaillement :

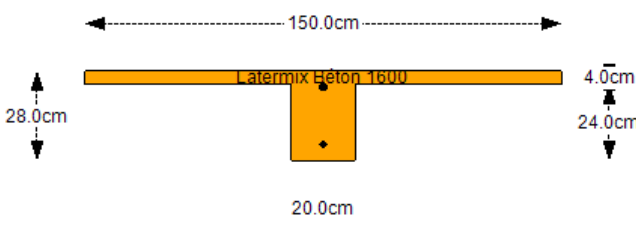


3.3. Cas 3 - Nouvelle solive à l'intérieur du plancher

Dans l'hypothèse où le renfort du plancher existant par la seule construction d'une nouvelle dalle structurale légère en béton, réalisée en collaboration avec le Connecteur Chimique CentroStorico, ne permet pas de satisfaire toutes les vérifications de l'état limite ultime, le logiciel permet de dimensionner des nouvelles solives dans le plancher existant.

Dans ce cas spécifique, un nouvelle solive à l'intérieur du plancher est analysé. Veuillez-vous référer à la section suivante pour le dimensionnement du nouvelle solive au-dessus du plancher.

On conserve le même schéma statique, la même géométrie du plancher existant et les mêmes charges que dans le cas 1. On suppose une variation du ferrailage existant, fixée à 0,5 cm² pour les niveaux de ferrailage. Avec la variation du ferrailage, le plancher n'est plus vérifié avec seulement la réalisation de la dalle collaborante.



GÉOMÉTRIE	Type	à l'intérieur
Epaisseur nouvelle dalle	4.0	cm
Base nouvelle solive	20.0	cm
Hauteur nouvelle solive	24.0	cm
Entraxe nouvelles solives	150.0	cm
Longueur travée 1	500.0	cm
Longueur travée 2	500.0	cm

Portée	As [cm2]	c [cm2]	As' [cm2]	c' [cm2]	Cadres et dist.
1	3.08	5.0	4.62	5.0	2φ6/25
2	3.08	5.0	4.62	5.0	2φ6/25

Pour le calcul de la charge, en combinaison avec l'état limite ultime, sur la nouvelle solive unique en béton structural léger, la masse par unité de volume du béton armé est utilisée pour la classe de béton conformément au tableau C4.1.VI de la circulaire. Plus précisément, en utilisant le **Latermix Béton 1600**, la valeur utilisée est de 18,5 kN/m³(classe D1.7).

La charge ELU combinée sur la solive unique est de 16,83 kN/m.

Les propriétés mécaniques de l'acier neuf et du béton léger structural **Latermix Béton 1600** sont rappelées :

- **Latermix Béton 1600** :

$$f_{ick} = 31.5 \text{ MPa}$$

$$f_{lca} = \frac{0.85 f_{ick}}{1.5} = 18.85 \text{ MPa}$$

$$E = 20000 \text{ MPa}$$



- **Acier B450C :**

$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = 391.3 \text{ MPa}$$

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

Les diagrammes de contraintes sont représentés.

Diagramme de moment

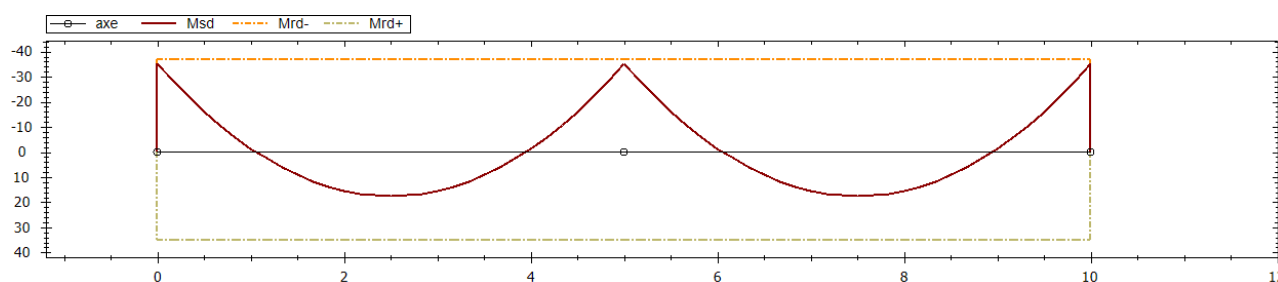
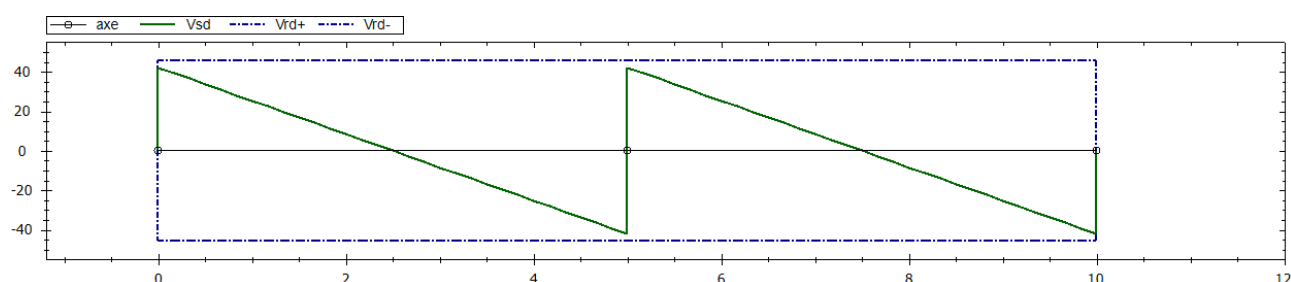


Diagramme de cisaillement



Vérification de la flexion

Le moment résistant positif est d'abord évalué. Les distances par rapport à l'extrados du ferrailage dans la section sont indiquées :

$$c_1 = 5 \text{ cm}$$

$$c_2 = 23 \text{ cm}$$

Dans ce qui suit, dans le seul but de simplifier l'exécution manuelle des calculs de validation, une loi constitutive de type bloc de contrainte est utilisée pour le béton léger structural. Il convient toutefois de noter que la loi constitutive de type parabole-rectangle a été utilisée dans le logiciel, conformément aux indications de la norme.

La position de l'axe neutre, obtenue en écrivant l'équation d'équilibre à la translation en supposant qu'il tombe dans la dalle et que les deux niveaux de ferrailage sont au limite élastique et tendus, en résulte :



$$x_p = \frac{f_{yd} \cdot A_{s1} + f_{yd} \cdot A_{s2}}{f_{Ld} \cdot i_{tr} \cdot 0.8} = \frac{391.3 \text{ MPa} \cdot 4.62 \text{ cm}^2 + 391.3 \text{ MPa} \cdot 3.08 \text{ cm}^2}{17.85 \text{ MPa} \cdot 100 \text{ cm} \cdot 0.8} = 1.41 \text{ cm}$$

Les hypothèses sont vérifiées et le moment résistant positif est donc évalué en écrivant l'équation d'équilibre en rotation :

$$M_{rdp} = f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (c_1 - 0.4 \cdot x_p) + f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (c_2 - 0.4 \cdot x_p) = 35.06 \text{ kNm}$$

Les petites différences en termes d'axe neutre et de moment résistant sont dues aux différents lois constitutifs implémentés dans le logiciel et utilisés dans les calculs manuels.

Nous procédons à l'évaluation du moment résistant négatif. Les distances à partir du soffit du ferrailage dans le résultat de la section :

$$e_1 = 23 \text{ cm}$$

$$e_2 = 5 \text{ cm}$$

Dans ce qui suit, dans le seul but de simplifier l'exécution manuelle des calculs de validation, une loi constitutive de type bloc de contrainte est utilisée pour le béton léger structural. Il convient toutefois de noter que la loi constitutive de type parabole-rectangle a été utilisée dans le logiciel, conformément aux indications de la norme.

On obtient l'équation d'équilibre à la translation, en supposant que le ferrailage à l'intrados est en compression et en phase élastique et que le ferrailage à l'extrados est tendu et non contraint :

$$f_{yd} \cdot A_{s1} - E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (x_n - e_2)}{x_n} \cdot A_{s2} - f_{lcd} \cdot b_{tr} \cdot 0.8 \cdot x_n = 0$$

En résolvant l'équation, on obtient un axe neutre égal à :

$$x_n = 5.60 \text{ cm}$$

Les hypothèses sont vérifiées et nous procédons donc à l'évaluation du moment résistant négatif en écrivant l'équation d'équilibre en rotation :

$$M_{rdn} = f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (e_1 - 0.4 \cdot x_n) + E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (x_n - e_2)}{x_n} \cdot A_{s2} \cdot (e_2 - 0.4 \cdot x_n) = 38.10 \text{ kNm}$$

Les différences en termes d'axe neutre et de moment résistant sont dues aux différents modèles constitutifs implémentés dans le logiciel et utilisés dans les calculs manuels.

Vérification du cisaillement

La résistance au cisaillement est évaluée pour les éléments avec un ferrailage résistant au cisaillement conformément aux §4.1.2.3.5.2 et §C4.1.12.1.3.2.2 des Norme Tecnica delle Costruzioni :

$$V_{Rsd} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \cdot \sin \alpha$$



$$V_{Rcd} = 0.9d \cdot b_w \cdot 0.4f_{lcd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Avec A_{sw} surface du ferrailage transversal (cadres), s distance entre cadres, $\alpha = 90^\circ$ et $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

Plus précisément, les résultats de A_{sw} :

$$A_{sw} = \frac{n_b \cdot \pi \cdot \phi_{st}^2}{4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (6 \text{ mm})^2}{4} = 56.55 \text{ mm}^2$$

On recherche s'il existe un angle θ pour une rupture en cisaillement équilibré en imposant l'égalité entre V_{Rcd} et V_{Rsd} . Cette équation donne un angle de $12,87^\circ$, qui n'entre pas dans la fourchette prévue par la norme. Par conséquent, une valeur de $21,8^\circ$ est supposée dans les calculs suivants.

La résistance de l'acier et du béton est ensuite évaluée :

$$V_{Rsd} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha = 45.80 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 0.9d \cdot b_w \cdot 0.4f_{lcd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)} = 101.93 \text{ kN}$$

Avec b_w égal à 20 cm et d égal à 23 cm.

On obtient ainsi la résistance au cisaillement du nouvelle solive :

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) = 45.80 \text{ kN}$$

Vérification de glissement à l'interface

Le glissement est évalué à l'interface entre la dalle supérieure de la nouvelle solive, la dalle existante et l'âme de la nouvelle solive au niveau de la zone de moment positif. Dans l'évaluation de la contrainte tangentielle, le plancher existant est négligé.

Coefficient d'homogénéisation :

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E}{2}} = 21$$

L'axe neutre élastique est évalué en imposant que le moment statique de toute la section partielle soit nul :

$$S = i_{tr} \cdot x \cdot \left(x - \frac{x}{2}\right) + n^+ \cdot A_{s1} \cdot (x - c_1) + n^+ \cdot A_{s2} \cdot (x - c_2) = 0$$

En résolvant l'équation, on obtient :



$$x = 4.16 \text{ cm}$$

On procède ensuite à l'évaluation des termes nécessaires au calcul de le glissement à l'interface :

$$\tau_{interface} = \frac{V_{sd} \cdot S_{int}}{J_n \cdot b}$$

Le moment statique (section réactive) de la partie située au-dessus de la corde S_{int} s'applique :

$$S_{int} = x \cdot i_{tr} \cdot \frac{x}{2} = 1298.98 \text{ cm}^3$$

L'inertie de l'ensemble de la section partialisée par rapport à l'axe neutre J_n vaut :

$$J_n = \frac{A_c \cdot x^2}{12} + A_c \cdot \left(\frac{x}{2}\right)^2 + n^+ \cdot (A_{s1} \cdot (c_1 - x)^2 + A_{s2} \cdot (c_2 - x)^2) = 26625.65 \text{ cm}^4$$

La largeur de la membrure à considérer est fixée de manière conservatrice à 112 cm, soit la différence entre la distance du nouvelle solive et la largeur de l'hourdis partiellement remplie par la nouvelle solive.

La contrainte de cisaillement maximale dans la combinaison ELU dans les zones soumises à un moment positif est de 22,44 kN.

Les résultats du logiciel sont présentés ci-dessous :

Résultats nouvelle solive

Résultats du calcul - plancher avec nouvelle solive

Charges ELU sur une seule solive		16.83	kN/m
Msd+	17.53	kNm	vérifié
Mrd+	34.99	kNm	
Msd-	-35.05	kNm	vérifié
Mrd-	-36.80	kNm	
Vsd	42.07	kN	vérifié
Vrd	45.80	kN	
τsd	0.10	MPa	vérifié
τrd	0.72	MPa	

Calculer nouvelle solive

Diagrammes M, V

Longueur de calcul pour le glissement [cm]

112.0



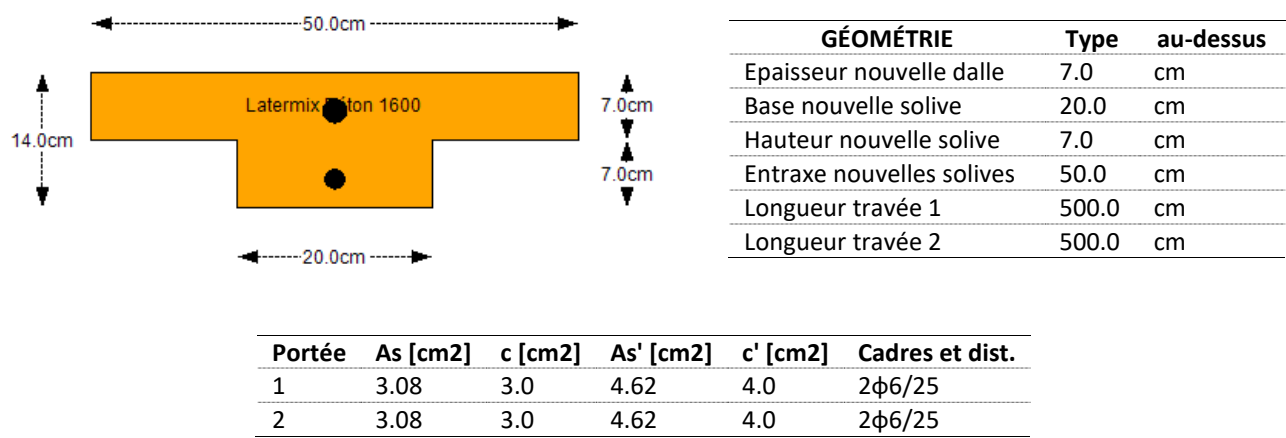
3.4. Cas 4 - Nouvelle solive au-dessus du plancher

Dans l'hypothèse où le renfort du plancher existant par la seule construction d'une nouvelle dalle en béton structural légère, réalisée avec le Connecteur Chimique CS, ne permet pas de satisfaire toutes les vérifications de l'état limite ultime, le logiciel permet le dimensionnement des nouvelles solives dans le plancher existant.

Dans ce cas précis, un nouvelle solive de plancher au-dessus du plancher est analysé.

Le même schéma statique, la même géométrie du plancher existant et les mêmes charges que dans le cas 1 sont maintenus. Une variation du ferrailage actuel, fixée à 0,5 cm²pour le ferrailage inférieur dans la solive existante, et l'absence de ferrailage supérieur existant sont supposées.

Avec la variation du ferrailage, le plancher n'est plus vérifié avec seulement la construction de la dalle collaborante.



Pour le calcul de la charge, en combinaison avec l'état limite ultime, sur la nouvelle solive en béton structural léger, la masse par unité de volume du béton armé est utilisée pour la classe de béton conformément au tableau C4.1.VI de la circulaire. Plus précisément, en utilisant le **Latermix Béton 1600**, la valeur utilisée est de 18,5 kN/m³(classe D1.7).

La charge ELU combinée sur la solive unique est de 5,92 kN/m.

Les propriétés mécaniques de l'acier neuf et du béton structural léger **Latermix Béton 1600** sont rappelées :

- **Latermix Béton 1600** :

$$f_{lck} = 31.5 \text{ MPa}$$
$$f_{lca} = \frac{0.85 f_{lck}}{1.5} = 18.85 \text{ MPa}$$
$$E = 20000 \text{ MPa}$$



- **Acier B450C :**

$$f_{yk} = 450 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = 391.3 \text{ MPa}$$

$$E_s = 210000 \text{ MPa}$$

Les diagrammes de contraintes sont représentés.

Diagramme de moment

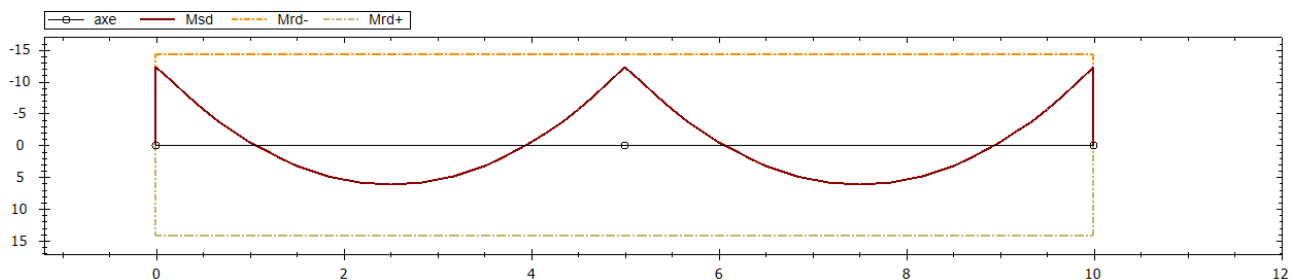
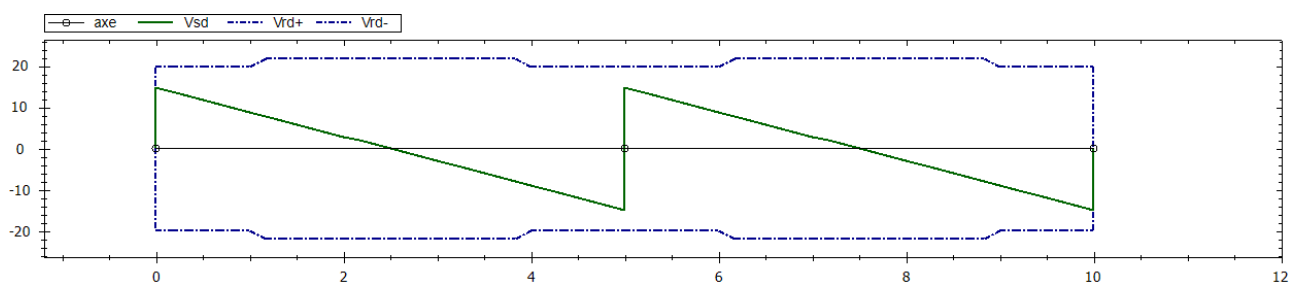


Diagramme de cisaillement



Vérification de la flexion

Le moment résistant positif est d'abord évalué. Les distances par rapport à l'extrados du ferrailage dans la section du nouvelle solive sont calculées :

$$c_1 = 4 \text{ cm}$$

$$c_2 = 11 \text{ cm}$$

Dans ce qui suit, dans le seul but de simplifier l'exécution manuelle des calculs de validation, une loi constitutive de type bloc de contrainte est utilisée pour le béton léger structural. Il convient toutefois de noter que la loi constitutive de type parabole-rectangle a été utilisée dans le logiciel, conformément aux indications de la norme.

On obtient l'équation d'équilibre à la translation, en supposant que le ferrailage à l'intrados est tendu et passé la limite élastique et que le ferrailage à l'extrados est tendu et élastique :



$$f_{yd} \cdot A_{s2} + E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (c_1 - x_p)}{x_p} \cdot A_{s1} - f_{lcd} \cdot i_{tr} \cdot 0.8 \cdot x_p = 0$$

En résolvant l'équation, on obtient un axe neutre égal à :

$$x_p = 3.02 \text{ cm}$$

Les hypothèses sont vérifiées et nous procédons donc à l'évaluation du moment résistant positif en écrivant l'équation d'équilibre à la rotation :

$$M_{rdp} = E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (c_1 - x_p)}{x_p} \cdot A_{s1} \cdot (c_1 - 0.4 \cdot x_p) + f_{yd} \cdot A_{s2} \cdot (c_2 - 0.4 \cdot x_p) = 14.45 \text{ kNm}$$

Les petites différences en termes d'axe neutre et de moment résistant sont dues aux différents lois constitutifs implémentés dans le logiciel et utilisés dans les calculs manuels.

Nous procédons à l'évaluation du moment résistant négatif. Les distances à partir du intrados du ferrailage dans le résultat de la section :

$$e_1 = 10 \text{ cm}$$

$$e_2 = 3 \text{ cm}$$

Dans ce qui suit, dans le seul but de simplifier l'exécution manuelle des calculs de validation, une loi constitutive de type bloc de contrainte est utilisée pour le béton léger structural. Il convient toutefois de noter que la loi constitutive de type parabole-rectangle a été utilisée dans le logiciel, conformément aux indications de la norme.

On obtient l'équation d'équilibre à la translation, en supposant que les armatures à l'intrados sont en compression et en phase élastique et que les armatures à l'extrados sont tendues et à la limite élastique :

$$f_{yd} \cdot A_{s1} - E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (x_n - e_2)}{x_n} \cdot A_{s2} - f_{lcd} \cdot b_{tr} \cdot 0.8 \cdot x_n = 0$$

La résolution de l'équation donne un axe neutre égal à :

$$x_n = 4.29 \text{ cm}$$

Les hypothèses sont vérifiées et le moment résistant négatif est donc évalué en écrivant l'équation d'équilibre pour la rotation :

$$M_{rdn} = f_{yd} \cdot A_{s1} \cdot (e_1 - 0.4 \cdot x_n) + E_s \cdot \frac{\varepsilon_{lcu} \cdot (x_n - e_2)}{x_n} \cdot A_{s2} \cdot (e_2 - 0.4 \cdot x_n) = 14.23 \text{ kNm}$$

Les petites différences en termes d'axe neutre et de moment résistant sont dues aux différents lois constitutifs implémentés dans le logiciel et utilisés dans les calculs manuels.



Vérification au cisaillement

La résistance au cisaillement est évaluée pour les éléments avec un ferrailage transversal résistant au cisaillement conformément aux §4.1.2.3.5.2 et §C4.1.12.1.3.2.2 des Norme Tecniche delle Costruzioni :

$$V_{Rsd} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha$$

$$V_{Rcd} = 0.9d \cdot b_w \cdot 0.4f_{lcd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)}$$

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd})$$

Avec A_{sw} surface du ferrailage transversal (cadres), s distance entre cadres, $\alpha = 90^\circ$ et $21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$

Plus précisément, les résultats de A_{sw} :

$$A_{sw} = \frac{n_b \cdot \pi \cdot \phi_{st}^2}{4} = \frac{2 \cdot \pi \cdot (6 \text{ mm})^2}{4} = 56.55 \text{ mm}^2$$

On recherche s'il existe un angle θ pour une rupture en cisaillement équilibré en imposant l'égalité entre V_{Rcd} et V_{Rsd} . Cette équation donne un angle de $14,42^\circ$, qui n'entre pas dans celles prévue par la norme. Par conséquent, une valeur de $21,8^\circ$ est supposée dans les calculs suivants.

La résistance de l'acier et du béton est ensuite évaluée :

$$V_{Rsd} = 0.9d \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \sin\alpha = 19.91 \text{ kN}$$

$$V_{Rcd} = 0.9d \cdot b_w \cdot 0.4f_{lcd} \cdot \frac{(\cot\alpha + \cot\theta)}{(1 + \cot^2\theta)} = 44.32 \text{ kN}$$

Avec b_w égal à 20 cm et d égal à 10 cm.

La résistance au cisaillement du nouvelle solive est ensuite calculée :

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}; V_{Rcd}) = 19.91 \text{ kN}$$

L'évaluation a été effectuée dans les zones soumises à un moment négatif, de même, en utilisant la hauteur correcte, l'évaluation est effectuée dans les zones soumises à un moment positif.

Vérification de glissement à l'interface

Le glissement est évalué à l'interface entre la nouvelle solive et le plancher existant dans la zone de moment positif.

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment positif :



$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E}{2}} = 21$$

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment négatif :

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,es}}{2}} = 14.02$$

Dans ce qui suit, l'axe neutre élastique, le moment statique de la partie située au-dessus de la corde considérée et le moment d'inertie de la section entière partialisée par rapport à l'axe neutre sont évalués pour les zones de moment positif et pour les zones de moment négatif. En ce qui concerne le cisaillement de contrainte à considérer pour l'évaluation du glissement à l'interface, il est nécessaire de considérer la valeur du cisaillement dans la section exacte dans laquelle la vérification est effectuée.

La largeur de la membrure à considérer est égale à la base de la nouvelle solive de nouvelle solive.

Zones de moment positif :

L'axe neutre élastique est évalué en imposant que le moment statique de toute la section partielle soit nul :

$$S = i_{tr} \cdot x_{p1} \cdot \left(x_{p1} - \frac{x_{p1}}{2}\right) + n^+ \cdot A_{s1} \cdot (x_{p1} - c_1) + n^+ \cdot A_{s2} \cdot (x_{p1} - c_2) + n^+ \cdot A_{se3} \cdot (x_{p1} - c_{e3}) = 0$$

Avec A_{se3} un ferrailage dans la solive existante égal à 0,50 cm² et placé à 3 cm de l'intrados du plancher existant et c_{e3} hauteur utile de ce ferrailage mesurée à partir de l'extrados du plancher renforcé (35 cm).

En résolvant l'équation, on obtient

$$x_{p1} = 4.96 \text{ cm}$$

Le moment statique (section réactive) de la partie située au-dessus de la corde S_{int} est maintenu :

$$S_{int} = i_{tr} \cdot x_{p1} \cdot \left(x_{p1} - \frac{x_{p1}}{2}\right) + n^+ \cdot A_{s1} \cdot (x_{p1} - c_1) + n^+ \cdot A_{s2} \cdot (x_{p1} - c_2) = 315.47 \text{ cm}^3$$

L'inertie de toute la section partialisée par rapport à l'axe neutre J_n tient :

$$J_n = \frac{i_{tr} \cdot x_{p1}^3}{12} + i_{tr} \cdot x_{p1} \cdot \left(x_{p1} - \frac{x_{p1}}{2}\right)^2 + n^+ \left(A_{s1} \cdot (c_1 - x_{p1})^2 + A_{s2} \cdot (c_2 - x_{p1})^2 + A_{se3} \cdot (c_{e3} - x_{p1})^2 \right)$$

$$J_n = 13958 \text{ cm}^4$$

Les zones de moment négatif :

L'axe neutre élastique est évalué en imposant que le moment statique de l'ensemble de la section partialisée soit nul :

$$S = b \cdot x_{n1} \cdot \left(x_{n1} - \frac{x_{n1}}{2}\right) + n^- \cdot A_{s1} \cdot (x_{n1} - cn_1) + n^- \cdot A_{s2} \cdot (x_{n1} - cn_2) + n^- \cdot A_{se3} \cdot (x_{n1} - e_{e3}) = 0$$



Avec b base de la solive existante (12 cm), cn_1 hauteur utile du ferrailage A_{s1} mesurée à partir de l'intrados du plancher renforcé (34 cm), cn_2 hauteur utile du ferrailage A_{s2} mesurée à partir de l'intrados du plancher renforcé (27 cm) et e_{e3} hauteur utile du ferrailage A_{se3} mesurée à partir de l'intrados du plancher renforcé (3 cm).

En résolvant l'équation, on obtient

$$x_{n1} = 16.04 \text{ cm}$$

Le moment statique (section réactive) de la partie située au-dessus de la corde S_{int} tient :

$$S_{int} = n^- \cdot A_{s1} \cdot (x_{n1} - cn_1) + n^- \cdot A_{s2} \cdot (x_{n1} - cn_2) = 1635.89 \text{ cm}^3$$

La valeur ci-dessus est donnée en valeur absolue.

L'inertie de toute la section partielle par rapport à l'axe neutre J_n vaut :

$$J_n = \frac{b \cdot x_{n1}^3}{12} + b \cdot x_{n1} \cdot \left(x_{n1} - \frac{x_{n1}}{2}\right)^2 + n^- \cdot (A_{s1} \cdot (cn_1 - x_{n1})^2 + A_{s2} \cdot (cn_2 - x_{n1})^2 + A_{se3} \cdot (e_{e3} - x_{n1})^2)$$

$$J_n = 43774.9 \text{ cm}^4$$

Les résultats du logiciel sont présentés ci-dessous :

Résultats nouvelle solive				
Résultats du calcul - plancher avec nouvelle solive				
Charges ELU sur une seule solive	5.92	kN/m		
Msd+	6.17	kNm		
Mrd+	14.29	kNm		vérifié
Msd-	-12.33	kNm		
Mrd-	-14.15	kNm		vérifié
Vsd	14.80	kN		
Vrd	19.91	kN		vérifié
τ_{sd}	0.28	MPa		
τ_{rd}	0.72	MPa		vérifié
Calculer nouvelle solive			Diagrammes M, V	



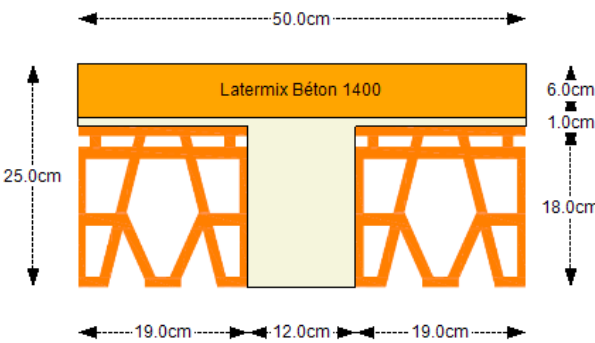
3.5. Cas 5 – Renforcement de plancher avec nouvelle dalle et Connecteur Béton Plus D12

On analyse un plancher existant, avec les caractéristiques décrites ci-dessous, renforcé par la construction d'un nouveau plancher en béton structural léger **Latermix Béton 1400**, connecté au plancher existant au moyen du **Connecteur Béton Plus D12**.

Les matériaux existants suivants, dont les paramètres sont fragiles, sont adoptés

- pour le béton existant, sélectionner "**Valeur du rapport**" la classe C20/25 et un niveau de connaissance LC1 correspondant à un facteur de confiance de 1,35;
- pour l'acier existant, sélectionner "**Valeur du rapport**" la classe FeB44k et un niveau de connaissance LC1 correspondant à un facteur de confiance de 1,35.

La géométrie suivante est adoptée :



GÉOMÉTRIE		
Épaisseur nouvelle dalle	6.0	cm
Épaisseur dalle existante	1.0	cm
Base solive	12.0	cm
Hauteur solive	18.0	cm
Espacement solives	50.0	cm
Longueur travée 1	450.0	cm

Le degré de rigidité est très faible aux deux extrémités.

La charge d'ultime limite est déterminée comme suit :

Coefficients de sécurité	Charges structurales permanentes	γ_{G1}	1.3 -
	Autres charges permanentes non structurales	γ_{G2}	1.5 -
	Charges Variables	γ_Q	1.5 -
Poids propre	Planchers existants	G_1	2.15 kN/m ²
	Dalle collaborante (6 cm)		0.93 kN/m ²
Permanent	Latermix Facile (6,00 cm)	G_2	0.60 kN/m ²
	Autres permanents		0.30 kN/m ²
Variables		Q	2.00 kN/m ²

La combinaison de charges ELU considérée est :

$$q = i_{tr} \cdot [\gamma_{G1} \cdot (P_{plancher} + P_{dalle} + P_{chape}) + \gamma_{G2} \cdot P_{autres} + \gamma_Q \cdot Q_{var}]$$

où le poids propre de la dalle est évalué en considérant une densité du béton des solives existantes de 25 kN/m³) et des hourdis de 6 kN/m³, le poids de la dalle est évalué en considérant la classe de masse volumique



à laquelle appartient le béton léger structural et la valeur de masse par unité de volume correspondante conformément au Tab. C4.1.VI (béton non armé).

La charge par solive est donc de

$$q = 50 \text{ cm} \cdot [1.3 \cdot (2.15 + 0.93 + 0.60) + 1.5 \cdot 0.30 + 1.5 \cdot 2.00] = 4.12 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Pour calculer la distance des connecteurs, il est nécessaire de connaître la direction du moment de contrainte pré-intervention et plus précisément la tendance est déterminée par l'expression suivante :

$$M_{sd,pre-int}(x) = q_{pre-int} \cdot \frac{L}{2} \cdot x - q_{pre-int} \cdot \frac{x^2}{2} - q_{pre-int} \cdot \frac{L^2}{48}$$

Le moment s'annule aux coordonnées :

$$x = 4.30 \text{ m}$$

$$x = 0.20 \text{ m}$$

Par conséquent, dans le cas considéré, pour $x < 0.20 \text{ m}$ et $x > 4.30 \text{ m}$, le moment est négatif, tandis que pour $0.20 \text{ m} \leq x \leq 4.30 \text{ m}$, il est positif.

Pour calculer la distance des connecteurs, il est également nécessaire de connaître l'évolution du cisaillement après de l'intervention :

$$V(x) = q \cdot \left(\frac{L}{2} - x \right)$$

La valeur maximale du cisaillement se produit au niveau des appuis et est de 9,26 kN.

Le ferrailage de section est défini comme suit :

	$A_{s2} = 0.50 \text{ cm}^2 \quad d_2 = 3 \text{ cm (FeB44k)}$ $A_{s3} = 1.57 \text{ cm}^2 \quad d_3 = 2 \text{ cm (FeB44k)}$ <p>Pour FeB44k - paramètres fragiles :</p> $f_{sd} = \frac{f_{sk}}{FC \cdot \gamma_{ac,es}} = \frac{430}{1.35 \cdot 1.15} = 276.97 \text{ MPa}$ <p>Pour C20/25 - paramètres fragiles :</p> $f_{cd} = \frac{0.85 \cdot f_{ck}}{FC \cdot \gamma_{c,es}} = \frac{0.85 \cdot 20}{1.35 \cdot 1.50} = 8.40 \text{ MPa}$
--	---



Calcul axe neutre en cas de moment positif pré-intervention

Les distances par rapport à l'extrados du ferrailage de la section existant sont les suivantes :

$$c_2 = 3 \text{ cm}$$

$$c_3 = 17 \text{ cm}$$

La position de l'axe neutre est obtenue en imposant l'équilibre à la translation, en supposant que la rupture est atteinte en atteignant la déformation maximale à l'extrême bord comprimé du béton, que l'axe neutre tombe dans le solive existant, que le ferrailage supérieur est tendu et élastique et que le ferrailage inférieur est tendu et au limite élastique (ces hypothèses doivent être vérifiées). De manière simplifiée, une loi constitutive de type bloc de contrainte est utilisée pour le béton existant (dans le logiciel, la loi mise en œuvre est la parabole-rectangle) :

$$i_{tr} \cdot f_{cd} \cdot h_{s,es} + b \cdot f_{cd} \cdot (0.8x - h_{s,es}) - A_{s3} \cdot f_{sd} - A_{s2} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s2} = 0$$

Où $h_{s,es}$ est l'épaisseur de la dalle existante, E_s égal à 210000 MPa et ε_{s2} est la déformation du ferrailage supérieur que l'on peut obtenir en utilisant la similitude entre triangles dans le diagramme linéaire des déformations en section :

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu}(c_2 - x)}{x}$$

La résolution de l'équation donne un axe neutre (flexion positive) égal à :

$$x = 2.46 \text{ cm}$$

Les petites différences en termes d'axe neutre sont dues aux différents modèles constitutifs implémentés dans le logiciel et utilisés dans les calculs manuels.

Les hypothèses formulées sont respectées.

Calcul du glissement à l'interface

Le nombre de connecteurs à utiliser est celui nécessaire pour transmettre le glissement entre le plancher existant et la nouvelle dalle en béton léger structural. Le glissement est calculé à l'aide de la formule de Jourawsky.

Il est évalué pour les deux zones des moments positifs et négatifs.

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment positif :

$$n^+ = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,LATERMIX}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{15000 \text{ MPa}}{2}\right)} = 28.0$$



La position de l'axe neutre à partir du calcul élastique de la section est évaluée, en imposant que le moment statique de la section entière partialisée par rapport à l'axe neutre soit nul (hypothèse de l'axe neutre dans la dalle en **Latermix Béton 1400**) :

$$i_{tr} \cdot x_p \cdot \left(x_p - \frac{x_p}{2}\right) + n^+ \cdot \left(A_{s2} \cdot (x_p - c_2) + A_{s3} \cdot (x_p - c_3)\right) = 0$$

Où i_{tr} est l'entraxe de la dalle.

On en déduit que :

$$x_p = 5.68 \text{ cm}$$

On évalue ensuite le moment statique de la partie située au-dessus de la corde considérée, à l'interface entre le plancher existant et la nouvelle dalle, ce qui implique dans ce cas la partie comprimée de la dalle structurelle en béton léger :

$$S_{int} = i_{tr} \cdot x_p \cdot \left(x_p - \frac{x_p}{2}\right) = 807.64 \text{ cm}^3$$

Le moment d'inertie de la section réactive par rapport à l'axe neutre est évalué comme suit :

$$J_n = \frac{i_{tr} \cdot x_p^3}{12} + i_{tr} \cdot x_p \cdot \left(x_p - \frac{x_p}{2}\right)^2 + n^+ \cdot \left(A_{s2} \cdot (x_p - c_2)^2 + A_{s3} \cdot (x_p - c_3)^2\right) = 16395.68 \text{ cm}^4$$

Coefficient d'homogénéisation pour les zones de moment négatif :

$$n^- = \frac{E_s}{\frac{E_{cls,existante}}{2}} = \frac{210000 \text{ MPa}}{\left(\frac{29962 \text{ MPa}}{2}\right)} = 14.0$$

La position de l'axe neutre issue du calcul élastique de la section est évaluée, en supposant que le moment statique de toute la section réactive par rapport à l'axe neutre est nul (hypothèse de l'axe neutre dans la solive existante) :

$$b_t \cdot x_n \cdot \left(x_n - \frac{x_n}{2}\right) + n^- \cdot (A_{s2} \cdot (x_n - e_2)^2 + A_{s3} \cdot (x_n - e_3)^2) = 0$$

Où b_t est la base de la solive et e_2 et e_3 sont les distances du ferrailage par rapport au intrados, c'est-à-dire:

$$e_2 = 16 \text{ cm}$$

$$e_3 = 2 \text{ cm}$$

On en déduit :

$$x_n = 3.23 \text{ cm}$$

Le moment statique de la partie au-dessus de la corde considérée située à l'interface entre le plancher existant et la nouvelle dalle est donc nul :



$$S_{int} = 0 \text{ cm}^3$$

Le moment d'inertie de la section réactive par rapport à l'axe neutre est évalué comme suit :

$$J_n = \frac{b_t \cdot x_n^3}{12} + b_t \cdot x_n \cdot \left(x_n - \frac{x_n}{2}\right)^2 + n^- \cdot (A_{s2} \cdot (x_n - e_2)^2 + A_{s3} \cdot (x_n - e_3)^2) = 1311.05 \text{ cm}^4$$

Il est alors possible de calculer, pour chaque point où le plancher a été discrétisé, la contrainte tangentielle à l'interface :

$$\tau_{interface} \cdot b = \frac{V_{sd} \cdot S_{int}}{J_n}$$

Le cisaillement et la valeur correspondante de $\tau_{interface} \cdot b$ aux points de discrétisation du plancher sont indiqués dans le tableau suivant :

Travée	Coord. [m]	V _{sd} [kN].	S _{int} [cm ³]	J _n [cm ⁴].	τ _{sd} b [N/mm]
1	0.00	9.26	0.00	1311.05	0.00
1	0.15	8.65	0.00	1311.05	0.00
1	0.30	8.03	807.64	16395.68	39.55
1	0.45	7.41	807.64	16395.68	36.51
1	0.60	6.79	807.64	16395.68	33.47
1	0.75	6.18	807.64	16395.68	30.42
1	0.90	5.56	807.64	16395.68	27.38
1	1.05	4.94	807.64	16395.68	24.34
1	1.20	4.32	807.64	16395.68	21.30
1	1.35	3.71	807.64	16395.68	18.25
1	1.50	3.09	807.64	16395.68	15.21
1	1.65	2.47	807.64	16395.68	12.17
1	1.80	1.85	807.64	16395.68	9.13
1	1.95	1.24	807.64	16395.68	6.08
1	2.10	0.62	807.64	16395.68	3.04
1	2.25	0	807.64	16395.68	0.00
1	2.40	-0.62	807.64	16395.68	3.04
1	2.55	-1.24	807.64	16395.68	6.08
1	2.70	-1.85	807.64	16395.68	9.13
1	2.85	-2.47	807.64	16395.68	12.17
1	3.00	-3.09	807.64	16395.68	15.21
1	3.15	-3.71	807.64	16395.68	18.25
1	3.30	-4.32	807.64	16395.68	21.30
1	3.45	-4.94	807.64	16395.68	24.34
1	3.60	-5.56	807.64	16395.68	27.38
1	3.75	-6.18	807.64	16395.68	30.42
1	3.90	-6.79	807.64	16395.68	33.47
1	4.05	-7.41	807.64	16395.68	36.51
1	4.20	-8.03	807.64	16395.68	39.55
1	4.35	-8.65	0.00	1311.05	0.00
1	4.50	-9.26	0.00	1311.05	0.00



Calcul de l'adhérence à l'interface

La contribution de l'adhérence au glissement est évaluée v_{Rdi} , conformément au §6.2.5 EN 1992-1-1:2015, en utilisant les paramètres pour les surfaces lisses, avec la formule suivante

$$v_{Rdi} = \min(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n; 0.5 \cdot v \cdot f'_{cd})$$

Où :

$$c = 0.2$$

$$\mu = 0.6$$

$$f_{ctd,existante} = \frac{0.7 \cdot 0.3 f_{ck}^{2/3}}{FC \cdot \gamma_c} = 0.76 \text{ MPa}$$

$$\eta_1 = 0.4 + 0.6 \cdot \frac{\rho}{2200} = 0.809$$

$$f_{lctm} = 0.3 \cdot f_{lck}^{\frac{2}{3}} \cdot \eta_1 = 1.93 \text{ MPa}$$

$$f_{lctk} = 0.7 \cdot f_{lctm} = 1.35 \text{ MPa}$$

$$f_{lctd} = \frac{0.85 \cdot f_{lctk}}{\gamma_c} = 0.77 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \min(f_{ctd,existante}; f_{lctd}) = 0.76 \text{ MPa}$$

$$f'_{cd} = \min(f_{cd,existante,paramètres fragiles}; f_{lcd}) = 8.40 \text{ MPa}$$

$$v = \min\left[0.6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck,existante}}{250}\right); 0.5 \cdot \left(1 - \frac{f_{lck}}{250}\right)\right] = 0.455$$

$$q_{slu}^* = \gamma_{G1} \cdot [P_{dalle} + P_{chape}] + \gamma_{G2} \cdot P_{autres} + \gamma_Q \cdot Q_{var} = 0.005 \text{ MPa}$$

$$\sigma_n = \min(q_{slu}^*; 0.6 f'_{cd}) = 0.005 \text{ MPa}$$

Où ρ est la valeur limite supérieure de la masse par unité de volume du béton, pour la classe de masse par unité de volume à laquelle il appartient en kg/m³, soit 1500 dans le cas présent.

Il en résulte donc :

$$v_{Rdi} = \min(c \cdot f_{ctd} + \mu \cdot \sigma_n; 0.5 \cdot v \cdot f'_{cd}) = \min(0.16 \text{ MPa}; 1.91 \text{ MPa}) = 0.16 \text{ MPa}$$

Le terme v_{Rdi} est ensuite multiplié par le terme L afin d'obtenir une grandeur comparable à $\tau_{interface} \cdot b$. Le terme L est égal à la base de la solive $L = b_t = 120 \text{ mm}$



Il en résulte donc :

$$v_{Rdi} \cdot L = 18.72 \frac{N}{mm}$$

Évaluation de la résistance de calcul du Connecteur Béton Plus D12

Nous procédons au calcul des termes qui contribuent à déterminer la résistance de calcul du connecteur à utiliser à des fins de calcul dans les parties du plancher où le béton existant est fissuré ($P_{Rd,ck}$) et où le béton existant n'est pas fissuré ($P_{Rd,ucl}$).

Rupture de l'acier d'ancrage :

La résistance caractéristique à la rupture de l'acier d'ancrage, commune au cas fissuré et au cas non fissuré, se traduit par :

$$V_{Rd,s} = \frac{V_{Rk,s}}{\gamma_{Ms}} = \frac{25.6 \text{ kN}}{1.25} = 20.48 \text{ kN}$$

la rupture par pry-out du béton :

Ce mode de défaillance dépend fortement de l'état de compression/traction du béton dans lequel le connecteur est inséré et, pour cette raison, deux valeurs de $N_{Rk,c}^0$ et donc $N_{Rk,c}$ sont calculées (une pour la condition de béton fissuré et une pour la condition de béton non fissuré).

$$N_{Rk,c}^0 = k_1 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot h_{ef}^{1.5} = \begin{cases} 7.7 \cdot \sqrt{20} \cdot 52^{1.5} = 12912.51 \text{ N (ck)} \\ 11 \cdot \sqrt{20} \cdot 52^{1.5} = 18446.45 \text{ N (ucl)} \end{cases}$$

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N} \cdot s_{cr,N} = 156 \cdot 156 = 24336 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,N} = \left(\frac{b_t}{2} + \min \left(\frac{b_t}{2}; 0.5 s_{cr,N} \right) \right) \cdot s_{cr,N} = \left(\frac{120}{2} + \min \left(\frac{120}{2}; 0.5 \cdot 156 \right) \right) \cdot 156 = 18720 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c}{c_{cr,N}} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{60}{78} = 0.931 \leq 1$$

$$\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} = 0.5 + \frac{52}{200} = 0.76 \leq 1$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \cdot \psi_{s,N} \cdot \psi_{re,N} = \begin{cases} 12912.51 \cdot \frac{18720}{24336} \cdot 0.931 \cdot 0.76 = 7026.24 \text{ N (ck)} \\ 18446.45 \cdot \frac{18720}{24336} \cdot 0.931 \cdot 0.76 = 10037.49 \text{ N (ucl)} \end{cases}$$

$$V_{Rd,cp} = \frac{k_8 \cdot N_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \begin{cases} \frac{1 \cdot 7026.24}{1.5} = 4684.16 \text{ N (ck)} \\ \frac{1 \cdot 10037.49}{1.5} = 6691.66 \text{ N (ucl)} \end{cases}$$



Rupture du bord du béton :

Ce mode de défaillance dépend fortement de l'état de compression/traction du béton dans lequel le connecteur est inséré et, pour cette raison, deux valeurs de $V_{Rk,c}^0$ et donc $V_{Rk,c}$ sont calculées (une pour l'état du béton fissuré et une pour l'état du béton non fissuré).

$$\alpha = 0.1 \cdot \left(\frac{l_f}{c_1}\right)^{0.5} = 0.1 \cdot \left(\frac{52}{60}\right)^{0.5} = 0.093$$

$$\beta = 0.1 \cdot \left(\frac{d_{nom}}{c_1}\right)^{0.2} = 0.1 \cdot \left(\frac{12.5}{60}\right)^{0.2} = 0.073$$

$$V_{Rk,c}^0 = k_9 \cdot d_{nom}^\alpha \cdot l_f^\beta \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot c_1^{1.5} = \begin{cases} 1.7 \cdot 12.5^{0.093} \cdot 52^{0.073} \cdot \sqrt{20} \cdot 60^{1.5} = 5966.22 \text{ N (ck)} \\ 2.4 \cdot 12.5^{0.093} \cdot 52^{0.073} \cdot \sqrt{20} \cdot 60^{1.5} = 8422.90 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

$$A_{c,v}^0 = 1.5c_1 \cdot (1.5c_1 + 1.5c_1) = 4.5c_1^2 = 4.5 \cdot 45^2 = 9112.5 \text{ mm}^2$$

$$A_{c,v} = \min(h_t + h_c; 1.5c_1) \cdot \min(3c_1; b_t) = \min(190; 67.5) \cdot \min(135; 120) = 8100 \text{ mm}^2$$

$$\psi_{s,v} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{c_2}{1.5c_1} = 0.7 + 0.3 \cdot \frac{60}{1.5 \cdot 60} = 0.90 \leq 1$$

$$\psi_{h,v} = \left(\frac{1.5c_1}{h}\right)^{0.5} = \left(\frac{1.5 \cdot \frac{b_t}{2}}{h_t + h_c}\right)^{0.5} = \left(\frac{1.5 \cdot 60}{190}\right)^{0.5} = 0.69 < 1 \rightarrow \psi_{h,v} = 1$$

$$\psi_{\alpha,v} = \sqrt{\frac{1}{(\cos \alpha_v)^2 + (0.5 \sin \alpha_v)^2}} = \sqrt{\frac{1}{(\cos 90^\circ)^2 + (0.5 \sin 90^\circ)^2}} = 2 \geq 1$$

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \cdot \frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0} \cdot \psi_{s,v} \cdot \psi_{h,v} \cdot \psi_{\alpha,v} = \begin{cases} 5966.22 \cdot \frac{8100}{9112.5} \cdot 0.90 \cdot 1 \cdot 2 = 9545.96 \text{ N (ck)} \\ 8422.90 \cdot \frac{8100}{9112.5} \cdot 0.90 \cdot 1 \cdot 2 = 13476.65 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{V_{Rk,c}}{\gamma_{Mc}} = \begin{cases} \frac{9545.96}{1.5} = 6363.97 \text{ N (ck)} \\ \frac{13476.65}{1.5} = 8984.43 \text{ N (uck)} \end{cases}$$

La résistance de calcul du connecteur peut alors être évaluée :

$$P_{Rd,ck} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,cp}; V_{Rd,c}) = \min(20480 \text{ N}; 4684.16 \text{ N}; 6363.97 \text{ N}) = 4.68 \text{ kN}$$

$$P_{Rd,uck} = \min(V_{Rd,s}; V_{Rd,cp}; V_{Rd,c}) = \min(20480 \text{ N}; 6691.66 \text{ N}; 8984.43 \text{ N}) = 6.69 \text{ kN}$$



Calcul de la distance et de la distribution des connecteurs

Pour chaque point où le plancher analysé a été discrétisé, la distance (appelé PC = distance calculé) des connecteurs dans la coordonnée considérée est calculé. La valeur de calcul du **Connecteur Béton Plus D12** est $P_{Rd,ck}$ dans chaque coordonnée, c'est-à-dire à la fois dans les zones de moment négatif et dans les zones de moment positif, puisque l'axe neutre, dans ces dernières zones, respecte la condition suivante :

$$A_{N,pre-int}^+ = 2.46 \text{ cm} < 0.9h_{ef} = 4.68 \text{ cm}$$

A titre d'exemple, le calcul du PC au point où le glissement est maximal est illustré :

$$PC (x = 0.30 \text{ m}) = \frac{P_{Rd}}{(\tau_{interface} \cdot b) - (v_{Rdi} \cdot L)} = 225 \text{ mm}$$

Pour chaque coordonnée, si la distance calculé PC est inférieur ou égal à zéro ou supérieur à la distance maximal, la distance maximal de 500 mm est imposé, ce qui donne la distance calculé correct PCC

Le tableau suivant montre les distances calculés et les distances calculés corrigés pour chaque point de discrétisation du plancher :

Travée	Coord. [m]	PC [cm]	PCC [cm]
1	0.00	-25.01	50.00
1	0.15	-25.01	50.00
1	0.30	22.50	22.50
1	0.45	26.35	26.35
1	0.60	31.79	31.79
1	0.75	40.06	40.06
1	0.90	54.14	50.00
1	1.05	83.51	50.00
1	1.20	182.49	50.00
1	1.35	-985.04	50.00
1	1.50	-133.15	50.00
1	1.65	-71.40	50.00
1	1.80	-48.78	50.00
1	1.95	-37.04	50.00
1	2.10	-29.86	50.00
1	2.25	-25.01	50.00
1	2.40	-29.86	50.00
1	2.55	-37.04	50.00
1	2.70	-48.78	50.00
1	2.85	-71.40	50.00
1	3.00	-133.15	50.00
1	3.15	-985.04	50.00
1	3.30	182.49	50.00
1	3.45	83.51	50.00
1	3.60	54.14	50.00
1	3.75	40.06	40.06
1	3.90	31.79	31.79
1	4.05	26.35	26.35
1	4.20	22.50	22.50
1	4.35	-25.01	50.00
1	4.50	-25.01	50.00



La disposition des connecteurs est ensuite déterminée, en supposant un espacement constant par travée et un espacement variable.

Espacement constant par travée

La distance théorique est le minimum des pas calculés corrects :

$$\text{distance théorique} = \min(PCC) = 22.50 \text{ cm}$$

Une fois la distance théorique connue, le nombre théorique de connecteurs pour la portée considérée peut être calculé :

$$N.\text{conn théorique} = \frac{L_i}{\text{distance théorique}} = \frac{450}{22.50} = 20.02$$

Le $N.\text{conn théorique}$ est arrondi à l'entier pair suivant, ce qui permet d'obtenir le $N.\text{connecteurs}$ (égal à 22) et donc la distance réelle avec lequel les connecteurs doivent être posés :

$$\text{distance} = \frac{L_i}{N.\text{connecteurs}} = \frac{450}{22} = 20.5 \text{ cm}$$

Enfin, on détermine le nombre de connecteurs par mètre carré en divisant le nombre total de connecteurs par la portée totale et la distance des solives.

$$N.\text{conn. par m}^2 = \frac{N.\text{connecteurs}}{L_i \cdot i_{tr}} = \frac{22}{4.5 \cdot 0.50} = 9.8$$

Le résultat est le suivant :

Portée 1	
	L
Longueur [cm]	450.0
No. of conn. [-]	22
Espacement [cm]	20.5
Nombre de connecteurs par m²	9.8
Nombre de connecteurs totaux	22

Espacement variable

La distance variable est calculée en considérant les quarts extrêmes de la poutre et la mi-travée centrale. Les points de discrétisation du plancher appartenant à $L/4$ à gauche, à $L/4$ à droite et à $L/2$ au centre sont identifiés et, pour chacune des sections, la distance théorique est le minimum des pas corrigés calculés des points appartenant à cette section :



$$distance\ théorique = \begin{cases} \min(PCC)\ en\ \frac{L}{4}\ à\ gauche = 22.50\ cm \\ \min(PCC)\ en\ \frac{L}{2}\ centrales = 50\ cm \\ \min(PCC)\ en\ \frac{L}{4}\ à\ droite = 22.50\ cm \end{cases}$$

Connaissant la distance théorique, il est possible de calculer le nombre théorique de connecteurs pour le tronçon considéré :

$$N.\ conn\ théorique = \frac{L_i}{distance\ théorique} = \begin{cases} \frac{112.5}{22.50} = 5.004\ en\ \frac{L}{4}\ à\ gauche \\ \frac{225}{50} = 4.5\ en\ \frac{L}{2}\ centrales \\ \frac{112.5}{22.50} = 5.004\ en\ \frac{L}{4}\ à\ droite \end{cases}$$

Avec L_i égal à la longueur du tronçon considéré.

$N.\ conn\ théorique$ si le nombre théorique de connecteurs s'avère être un nombre non entier, on procède alors à l'arrondi du nombre théorique de connecteurs à l'entier suivant dans $L/4$ et à l'entier pair suivant dans $L/2$, ce qui permet de trouver $N.\ connecteurs$ et donc la distance réel avec lequel les connecteurs doivent être posés :

$$distance = \frac{L_i}{N.\ connecteurs} = \begin{cases} \frac{100}{6} = 18.8\ cm\ en\ \frac{L}{4}\ à\ gauche \\ \frac{200}{6} = 37.5\ cm\ en\ \frac{L}{2}\ centrales \\ \frac{100}{6} = 18.8\ cm\ en\ \frac{L}{4}\ à\ droite \end{cases}$$

Enfin, le nombre de connecteurs par mètre carré est déterminé en divisant le nombre total de connecteurs par la portée totale et la distance des solives.

$$N.\ conn.\ par\ m^2 = \frac{N.\ connecteurs\ totals}{L_{tot} \cdot i_{tr}} = \frac{6 + 6 + 6}{4.5 \cdot 0.50} = 8.0$$

Le résultat est le suivant :

	Portée 1		
	L/4	L/2	L/4
Longueur [cm]	112.5	225.0	112.5
N° de conn. [-]	6	6	6
Espacement [cm]	18.8	37.5	18.8
Nombre de connexions par m ²	8.0		
N° conn. tot [-]	18		



Cordialement.

Support technique

Laterlite

