

Auteur : Pierre Kinnar

RENFORCEMENT DE DALLES DE BÂTIMENT AVEC LA TECHNOLOGIE CFUP

Assistant: Philippe Schiltz¹

Encadrement: Prof. Eugen Brühwiler¹

¹ Structural Maintenance and Safety Laboratory (MCS) EPFL

Pierre.kinnar@alumni.epfl.ch

L'objectif principal est l'élaboration d'un abaque de dimensionnement

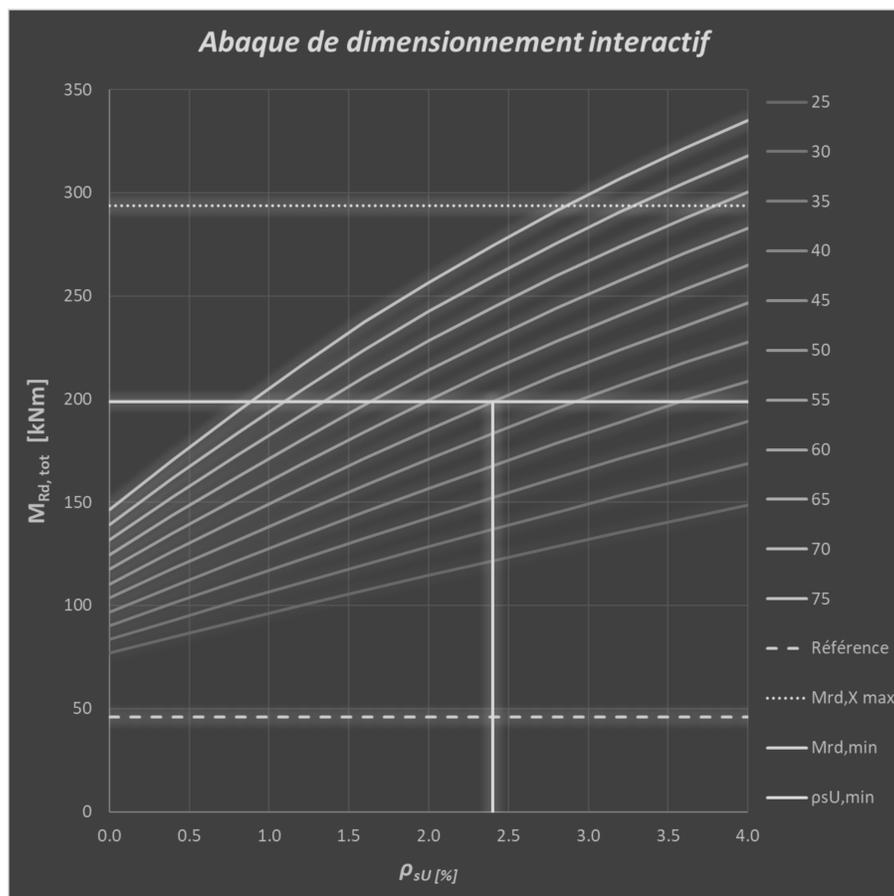
Une des méthodes de renforcement proposée par le Professeur Eugen Brühwiler consiste à appliquer une couche d'un Composite Fibré Ultra-Performant sur la face supérieure du béton. Pour ce faire, le cahier technique récemment publié illustre les modèles de calcul à considérer (SIA 2052).

Cependant, faut-il s'arrêter là ? N'y a-t-il pas encore une certaine appréhension des collègues ingénieurs à considérer cette méthode comme un premier choix ?

A cette fin, un tableau Excel ainsi qu'un manuel d'utilisation ont été minutieusement conçus. Le but principal est que l'utilisateur du programme puisse effectuer et comprendre la marche à suivre pour un renforcement au CFUP armé. Le travail s'est porté sur un squelette structural de planchers-dalles pour des géométries variées.

Exemple théorique : Dalle pleine armée sur appuis

- Structure existante en béton C30/37 (actualisé)
- Acier d'armature d'époque : $\phi 16 @ 150\text{mm}$ en supérieure (Norme 1956)
- Renforcement au CFUP armé de Sorte UB



Fonctionnalités

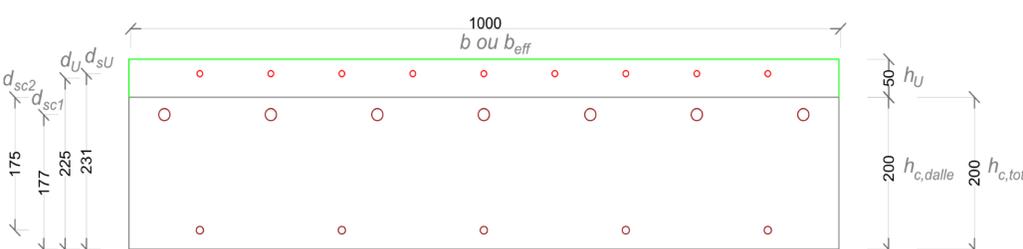
Les particularités de cet abaque sont l'interaction avec l'utilisateur et sa représentation propre de la dalle existante à l'aide de deux fonctionnalités :

- La première est l'outil de conception qui permet d'affiner le maillage des tableaux de l'abaque (axe neutre, épaisseur de couche et taux d'armature).
- La deuxième est l'outil de dimensionnement qui caractérise le renforcement (gain de résistance, quantité mise en place et prix).

Dimensionnement

Sur la représentation de l'abaque ci-dessus, on voit très clairement les courbes des différentes épaisseurs de CFUP (25 à 75 mm), la référence de la dalle existante (traitillé) et la borne de la résistance maximale respectant le rapport de ductilité (pointillé).

Finalement, la droite verticale coupant l'horizontale donne l'épaisseur (50mm) et le taux d'armature ($\phi 12 @ 100\text{mm}$) pour satisfaire le moment sollicitant (200 kNm).



Exemple pratique : Dalles nervurées DuPont

Ce travail de Master s'est appuyé sur une application concrète d'un renforcement au CFUP armé à travers les dalles du bâtiment DuPont à Zurich. Les résultats de la procédure du tableau Excel aboutissent aux 3 variantes ci-dessous :

Abaque de dimensionnement interactif					
Renforcement	A	B	C		
Paramètres	Valeurs			Unités	Désignation
h_U	50	40	30	mm	Épaisseur de couche à mettre en place
$n \phi_{sU}$	7 $\phi 10$	7 $\phi 10$	7 $\phi 8$	mm	Barres d'armatures à mettre en place
ρ_{sU}	2.3	2.9	2.5	%	Taux d'armature
$M_{Rd,tot}$	67	64	54	kNm	Résistance flexionnelle calculée
Taux Section	0.59	0.58	0.45	-	Rapport de ductilité dans la section
$M_{Rd,(Xmax)}$	54	52	50	kNm	Résistance maximale (Borne du Taux _{0,35})
Gain	350	340	320	%	Gain de résistance (sur l'existant)
Prix Entreprise	325	285	240	CHF/m ²	Prix final de l'entrepreneur
Vérification de la sécurité structurale					
Renforcement	A	B	C		
Paramètres	Valeurs			Unités	Désignation
M_{ed-}	23			kNm	Sollicitations à l'appui
M_{ed+}	32			kNm	Sollicitations en travée
V_{ed}	28			kN	Effort tranchant à l'appui
$n(M-)$	2.3	2.3	2.2	-	Degré de conformité au moment négatif
$n(M+)$	0.94	0.9	0.87	-	Degré de conformité au moment positif
$n(V, \alpha/d = 3.5)$	2.5	2	1.3	-	Degré de conformité à l'effort tranchant

Contraintes

Pour les trois variantes, la vérification structurale en travée n'est pas satisfaite (seul la hauteur statique est augmentée). Il faut alors respecter un rapport de ductilité de 0.35 afin d'opérer une redistribution des sollicitations de nature hyperstatique dans la dalle. Par conséquent, la résistance maximale doit être bornée $M_{Rd,(Xmax)}$.

Résultats

Le renforcement de la structure nécessite un gain de résistance minimale de 140% à la flexion sur appuis. Dès lors, tous les renforcements sont surdimensionnés. Au vu du modèle de résistance proposé dans la SIA 2052 pour l'effort tranchant (méthode cinématique), on exclut la variante C. Par conséquent, le choix se porte sur le renforcement B qui aboutit tout de même à une économie de 50'000 CHF.

Conclusion

Certes, la fonctionnalité première du tableau Excel reste le calcul, mais sa vocation réside dans sa base explicative. Dès les débuts de sa conception, la façon d'interagir avec l'utilisateur prend une place prépondérante. D'une part, documenté et explicatif, il regorge d'informations. D'autre part, sa rigueur et son organisation permettent de l'apprivoiser rapidement.

Outre cette transmission de savoir, la finalité du travail offre une réelle plus-value. Celui-ci répond à la fois aux lois statiques et économiques. En l'occurrence, un abaque de dimensionnement interactif qui répond aux géométries et propriétés d'une seule structure existante, celle de votre mandat.