

profilsager ag : Elément de coffrage

Documentation technique



Prof. Dr Simon Zweidler

Professeur de mécanique des structures

Beat Häfeli, ingénieur d'essai et de développement,
ingénieur en mécanique BSc.

Emanuel Amer, collaborateur scientifique, ingénieur civil
MSc.

Muttenz, le 02 avril 2025

Table des matières

1	Introduction	3
2	Désignations	4
3	Structure	5
4	Application	6
5	Effet porteur	6
6	Théorie	10
7	Dimensionnement	11
8	Normes	13
9	Littérature	17

1 Introduction

Les éléments en béton armé de grande taille, comme les dalles, ne peuvent que rarement être coulés en une seule fois. Pour des raisons pratiques et économiques, la construction par étapes nécessite des joints de construction. Souvent, le rendement journalier du bétonnage est la grandeur limitante, ce qui rend nécessaire un échelonnement au moyen de joints de construction. En outre, il est possible, dans certaines situations, de réduire les fissures en laissant temporairement ouvertes des tranchées de retrait entre les différentes étapes de construction. Pour des raisons économiques, il peut être intéressant de procéder à des étapes de bétonnage afin de pouvoir stocker de petites quantités d'éléments de coffrage.

Il existe différentes possibilités de réaliser des joints de construction, parmi lesquelles on distingue les coffrages perdus et les coffrages normaux. Les coffrages perdus restent dans l'élément de construction après le bétonnage et ne sont plus retirés. Différents matériaux ou éléments peuvent être utilisés à cet effet. En règle générale, ils sont utilisés comme coffrages d'étape, l'élément de coffrage devant permettre la pénétration de l'armature longitudinale. L'élément doit résister à la pression de bétonnage pendant le bétonnage, comme les éléments de coffrage normaux.

Objectifs de développement : L'objectif principal du développement du nouvel élément de coffrage est de concevoir un élément qui n'engendre pas de déficit de résistance à l'effort tranchant des dalles en béton armé sans armature transversale. La valeur de référence est donc la résistance à l'effort tranchant du béton pur d'une dalle en béton armé bétonnée. Cet objectif doit être atteint au moyen d'une armature transversale minimale sous forme d'une armature ondulée dans l'élément de coffrage. Grâce à une conception optimale du renforcement et à l'effet porteur combiné de l'armature d'effort tranchant et de la denture de fissure, la résistance à l'effort tranchant est augmentée localement par l'installation de l'élément de coffrage.

Lors du développement de l'élément de coffrage, d'autres facteurs sont également déterminants pour l'obtention d'un produit réussi :

- **Facilité d'utilisation lors de l'installation :** l'élément de coffrage doit être facile à monter sur le coffrage de dalle, la pénétration du fer doit se faire sans problème et il ne doit pas nécessiter d'instructions compliquées.
- **Un mode de support transparent :** De plus, le mode porteur de l'élément doit être clairement communicable. Les ingénieurs civils doivent être en mesure d'identifier et d'attribuer clairement le mode de charge à l'aide de la seule géométrie des différents éléments. Les résultats obtenus lors d'essais à grande échelle doivent étayer les objectifs de conception visés. L'armature d'effort tranchant installée dans l'élément de coffrage doit remédier à la diminution de la résistance à l'effort tranchant causée par l'élément.
- **Durabilité :** après le bétonnage, l'élément de coffrage développé reste dans la dalle de béton armé en tant que coffrage perdu. Il faut donc pouvoir garantir la durabilité de l'élément.
- **Compétitivité :** il faut viser un développement compétitif de l'élément de décoffrage. La rémunération monétaire peut être légèrement supérieure à celle des produits concurrents en raison des avantages qu'ils présentent.

Remarque et délimitation : cette documentation technique s'adresse aux ingénieurs civils planifiant des ouvrages d'art constructifs. La documentation présentée ici se réfère exclusivement aux ouvrages normatifs mentionnés. En cas de nouvelles publications ou de modifications des normes, il est recommandé de vérifier leur contenu.

2 Désignations

Lettres majuscules latines

$A_{sw,min}$	surface d'acier requise pour l'armature de l'arbre par mètre courant.
$A_{sw,avant}$	surface d'acier disponible de l'armature de l'arbre par mètre courant.
D	Force de compression de la zone de pression de flexion.
F_1	charge appliquée avant l'apparition de fissures de cisaillement.
F_2	charge appliquée après la défaillance de la force transversale des éprouvettes purement dentées.
F_3	Charge de référence après la défaillance de l'effort tranchant des éprouvettes bétonnées.
F_4	charge appliquée après la défaillance de l'effort tranchant des éprouvettes renforcées par une armature ondulée et dentées.
F_c	Partie portante du béton de la fissure de cisaillement dentée.
M_1	Moment de flexion avant l'apparition de fissures de cisaillement.
M_2	Moment de flexion après la défaillance de l'effort tranchant des éléments de frappe purement dentés.
V_u	Charge de l'échantillon.
Z	Force de traction dans l'acier d'armature.

Lettres latines minuscules

a	l'espacement horizontal des barres de l'armature de l'arbre.
b_w	Largeur de la bande de panneaux (1m).
c	l'enrobage d'armature donné par l'élément de coffrage.
d	Diamètre de l'armature.
d_v	hauteur statique efficace.
f_{ck}	valeur caractéristique de la résistance à la compression du cylindre.
f_{ctm}	Valeur moyenne de la résistance à la traction du béton.
f_{sd}	Valeur de calcul de la limite d'élasticité de l'acier d'armature.
f_{sk}, f_{jk}	valeur caractéristique de la limite d'élasticité de l'acier d'armature.
h	Hauteur du panneau.
s	Longueur du corps de coupe.
z	Bras de levier des forces internes.

Lettres grecques

θ_{min}	inclinaison minimale de l'entretoise de compression.
$\rho_{w,min}$	contenu géométrique minimal de l'armature d'effort tranchant.
τ_c	Contrainte de cisaillement dans le béton fissuré.
τ_{cr}	Contrainte de cisaillement dans le béton fissuré.

3 Structure

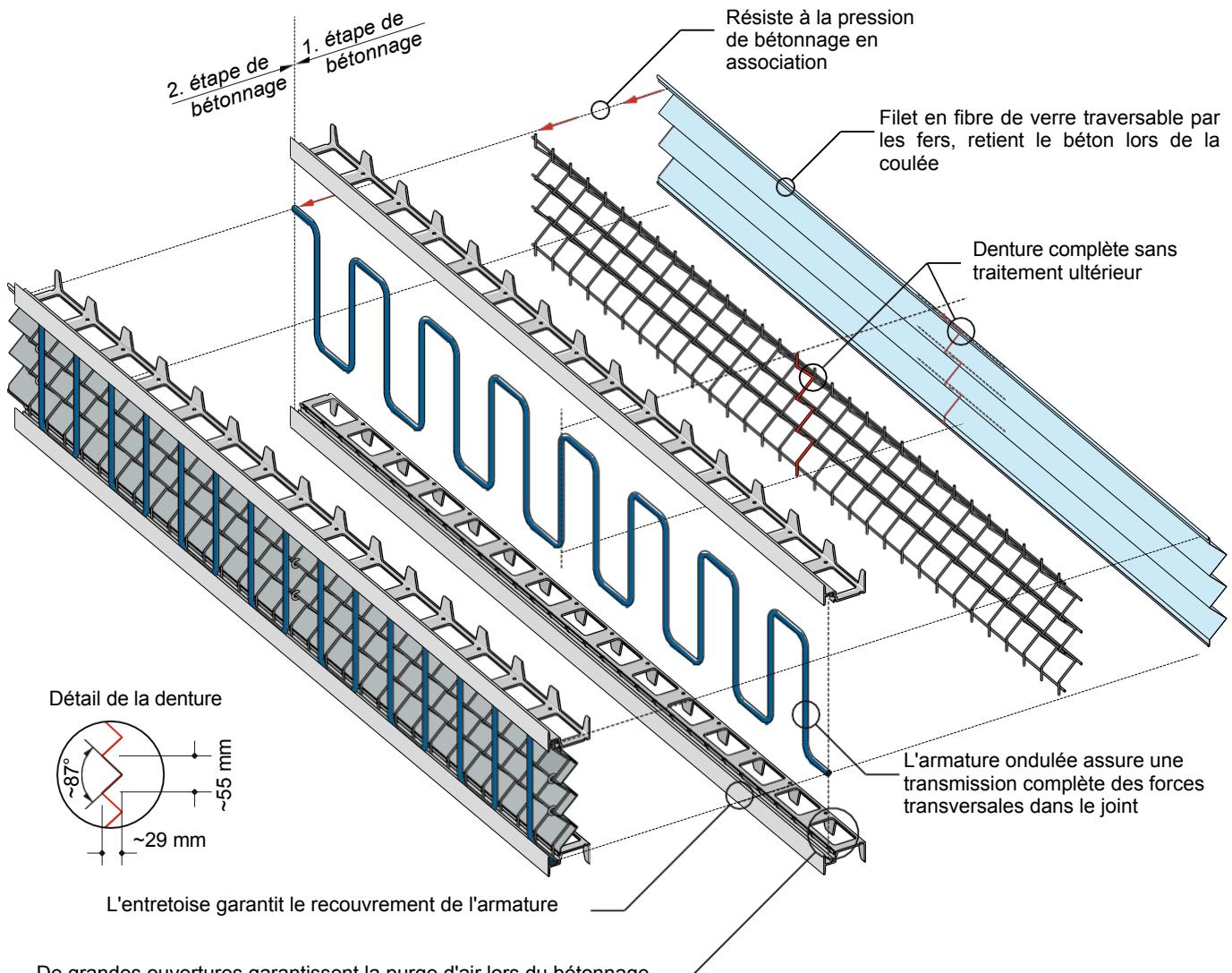


Figure 1 : Élément de coffrage : en représentation axonométrique ; représentation des composants en vue éclatée.

Remarques :

- Avec l'armature ondulée, la résistance à l'effort tranchant est garantie dans le joint de travail. Ceci est confirmé expérimentalement par des essais, voir rapport d'essai [10].
- Pas de défaillance fragile locale de l'effort tranchant dans la zone du joint de construction grâce au respect de l'armature minimale d'effort tranchant.
- Le recouvrement de l'armature est garanti avec 3 cm.
- Un épulchage simple et efficace.
- Aucun traitement ultérieur du joint de construction n'est nécessaire pour un joint rugueux ou denté exigé par les ouvrages normatifs, voir par exemple SIA 262 par. 6.4.4.2.
- denture d'une profondeur d'environ 3 cm est assurée par la géométrie de la grille.
- Méthode de travail efficace, car aucun décoffrage nest nécessaire.

4 Application

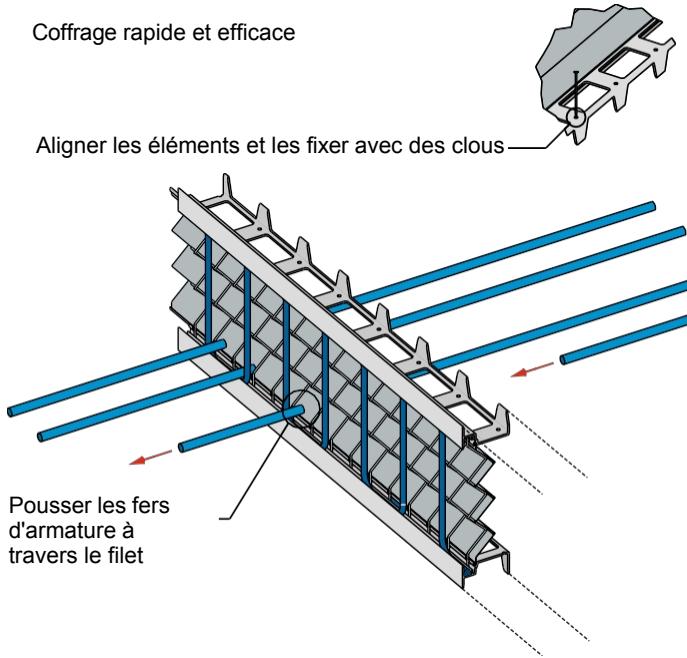


Figure 2 : élément de coffrage : pose.

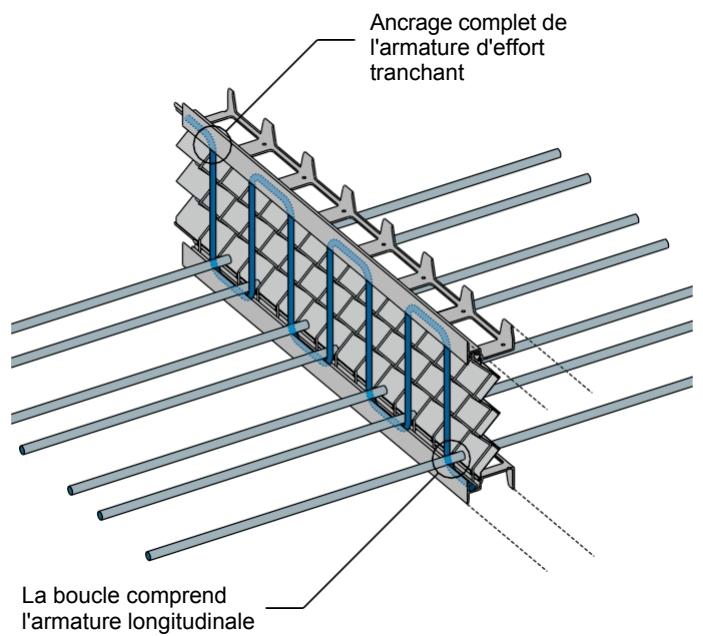


Figure 3 : Elément de coffrage : avantages de l'armature en boucles.

1. Tracer l'étagement sur le coffrage de la dalle.
2. Aligner les éléments et les clouter (remarque : utiliser des clous inoxydables).
3. Stabiliser les éléments avec des équerres de coffrage et les aligner verticalement. Il est également possible de stabiliser ultérieurement l'élément avec des fers d'armature perpendiculaires aux couches inférieure et supérieure.
4. Rencontrer de l'armature longitudinale avec le réseau de fibres de verre.

La géométrie ondulée de l'armature de force transversale garantit un ancrage complet.

L'armature transversale comprend en outre l'armature longitudinale, ce qui permet de former un nœud de treillis.

5 Effet porteur

En principe, les joints de construction doivent être classés en fonction de leur disposition géométrique et de la sollicitation qui y est liée : soit la sollicitation se produit sous forme de cisaillement longitudinal (p. ex. béton excédentaire pour les poutres en T préfabriquées), soit sous forme de cisaillement transversal au joint (joint de construction classique pour les étapes de bétonnage). Dans le premier cas, la résistance au cisaillement admissible du joint peut être déterminée selon les différentes normes sur la base d'une approche basée sur la théorie de la friction de cisaillement. Cependant, dans le cas d'éléments de construction principalement sollicités en flexion avec des joints perpendiculaires à l'axe du système, le joint agit comme une fissure de flexion, où l'approche mentionnée n'est pas applicable [9].

Dans le cas de joints de construction disposés perpendiculairement à l'axe du système, la denture créée artificiellement représente une liaison plus faible et donc un affaiblissement de la structure porteuse. En raison de la réduction de la résistance à l'effort tranchant, des fissures de cisaillement apparaissent dans la zone du joint de construction avant même que la résistance de référence ne soit atteinte, ce qui entraîne une défaillance prématuée, fragile et donc soudaine.

L'armature transversale intégrée dans l'élément de coffrage des figures 1 à 3 sous la forme d'une armature ondulée ainsi que la denture générée par la géométrie du treillis peuvent former ensemble un treillis après le passage de l'état non fissuré à l'état fissuré. L'armature ondulée agit alors comme une verticale de traction, tandis que les diagonales de compression peuvent s'appuyer sur le joint de travail denté ; voir à ce sujet les illustrations à gauche de la figure 4 avant et après avoir atteint l'état d'équilibre.

Dernière F2.

Après la formation de la fissure de cisaillement, un autre effet porteur s'installe en plus du modèle classique de treillis avec la représentation modèle de la denture de la fissure le long de la fissure de cisaillement. Selon l'ouverture de la fissure de cisaillement, une force transversale supplémentaire peut être transmise par les bords de la fissure, comme le montre la figure 4 à droite. Grâce à cet effet porteur combiné du modèle de treillis et de la denture de la fissure, la résistance à l'effort tranchant dans la zone du joint de travail est supérieure à celle à l'extérieur du joint et donc à la valeur de référence du béton sans armature d'effort tranchant.

Dans les normes actuellement en vigueur, le dimensionnement de l'armature minimale d'effort tranchant s'effectue sans tenir compte de la denture de la fissure, sur la base du modèle des bords de fissure sans frottement [7]. L'effort tranchant supporté par le béton et immédiatement libéré lors de la fissure de cisaillement soudaine doit alors être repris par l'armature d'effort tranchant et dissipé. La coupe correspondante de la figure 4 constitue la base de la déduction de l'armature d'effort tranchant minimale requise. L'armature d'effort tranchant minimum existante peut ainsi absorber l'effort tranchant libéré par le béton, ce qui empêche une rupture locale brutale.

Les explications et les représentations schématiques de la figure 4 se basent sur une série d'essais expérimentaux réalisés par le laboratoire de construction de la Haute école spécialisée du Nord-Ouest de la Suisse [10]. La figure 5 compare les résultats des trois séries d'essais suivantes :

- Eprouvette, bétonnée de part en part (représentation en rouge clair).
- Elément d'essai, avec élément de coffrage sans armature d'arbre (représentation verte).
- Elément d'essai, avec élément de coffrage et armature d'arbre intégrée (représentation en bleu).

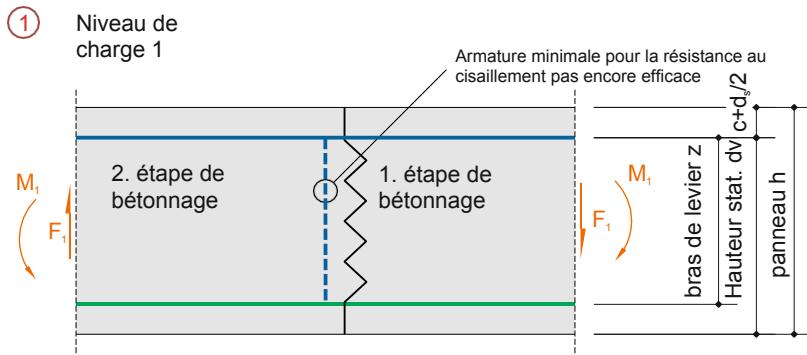
Les éprouvettes bétonnées en continu servent de référence. La résistance à l'effort tranchant déterminée à partir des essais confirme la valeur prédite de la résistance à l'effort tranchant sans armature d'effort tranchant selon les modèles établis. En comparaison, les résultats des éprouvettes avec élément de coffrage seulement sont significativement plus bas, voir les résultats représentés en vert dans la figure 5. La denture artificiellement créée par l'élément de coffrage entraîne donc une légère diminution de la résistance à l'effort tranchant.

La résistance à l'effort tranchant déterminée expérimentalement pour les éprouvettes avec armature ondulée intégrée est en revanche nettement supérieure à la valeur de référence. Lorsque la valeur de la résistance à l'effort tranchant du béton pur est atteinte, l'armature ondulée est activée par la formation d'une fissure de cisaillement. Celle-ci permet d'absorber l'effort tranchant par le biais des deux effets porteurs décrits.

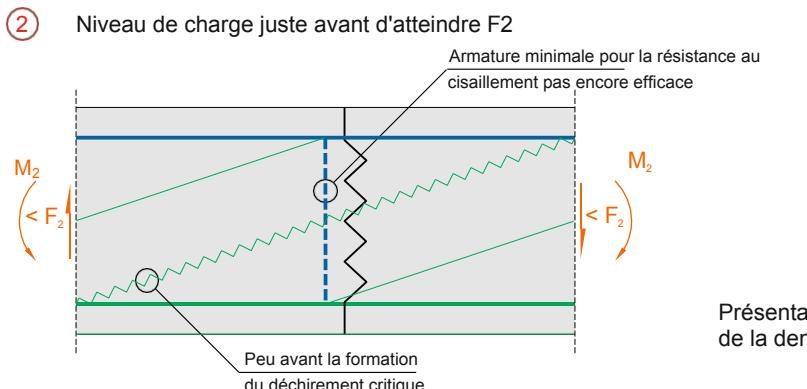
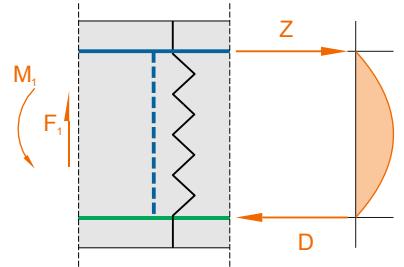
La poursuite de l'augmentation de la charge conduit finalement à la formation d'une autre fissure de cisaillement, qui se situe toutefois à l'extérieur de l'élément de coffrage.

Comportement structurel observable en cas d'augmentation monotone de la charge

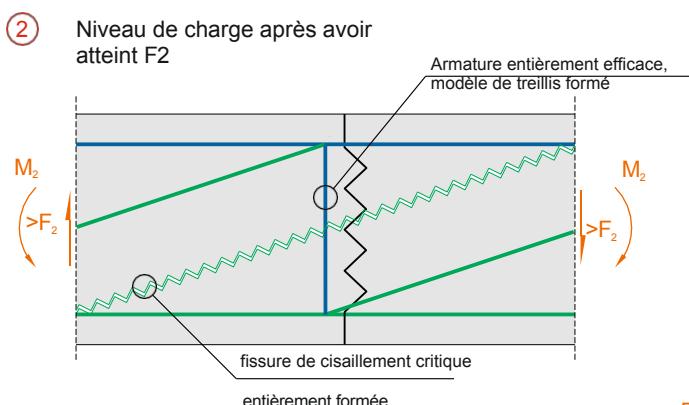
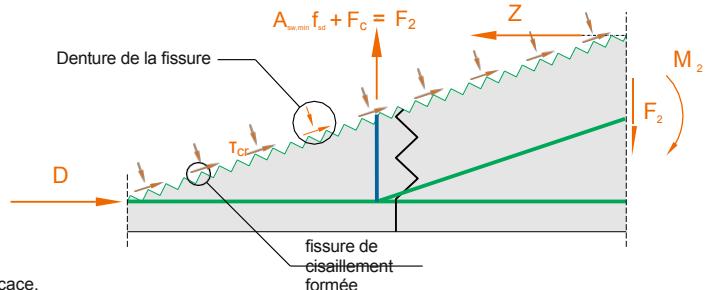
Modélisation de la résistance à l'effort tranchant



Courbe de la contrainte de cisaillement de la section non fissurée



Présentation du modèle en tenant compte de la denture des fissures



Modèle de fissures sans frottement

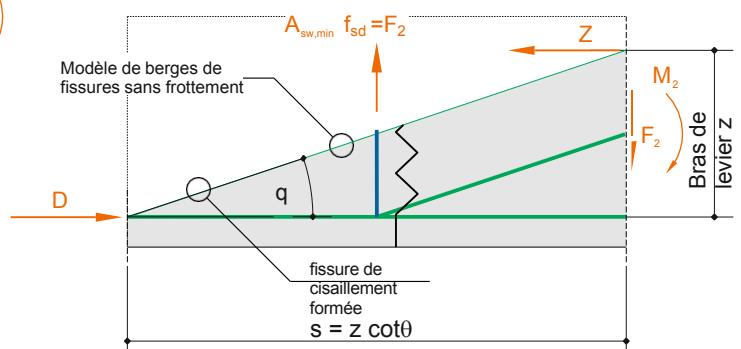
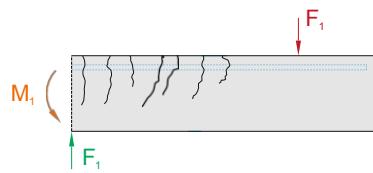
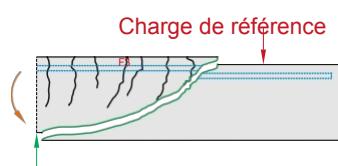


Figure 4 : Comportement à l'effort tranchant : Effet porteur et modèles.

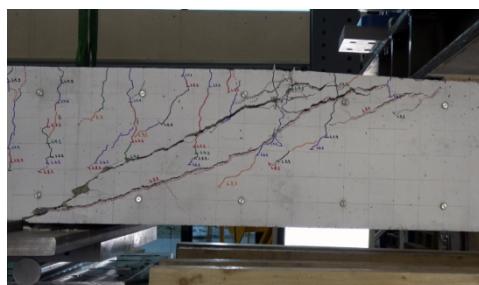
① Eprouvette de référence : bétonnée en continu.



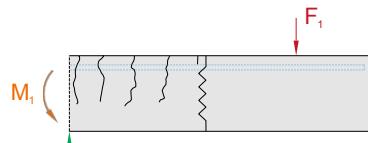
② Valeur de référence : défaillance fragile de l'effort tranchant,
l'effort tranchant,



④

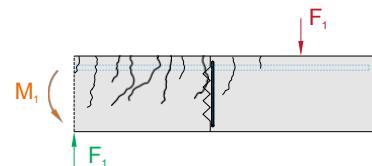


Coffrage avec treillis métallique et filet en fibre de verre : bétonné en deux étapes.

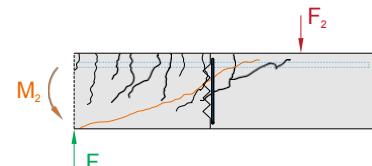
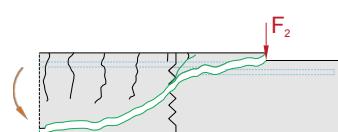


Défaillance fragile de l'effort tranchant, légère chute de la capacité de charge.

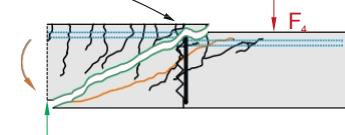
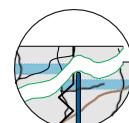
Coffrage avec armature ondulée, treillis métallique et filet en fibre de verre : bétonné en deux étapes.



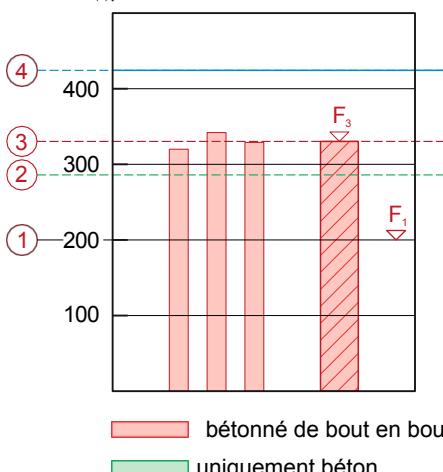
Fissuration par cisaillement sous charge de référence, transfert dans un modèle de treillis. La charge peut être maintenue par l'intermédiaire de l'armature de l'arbre et de la fissuration.



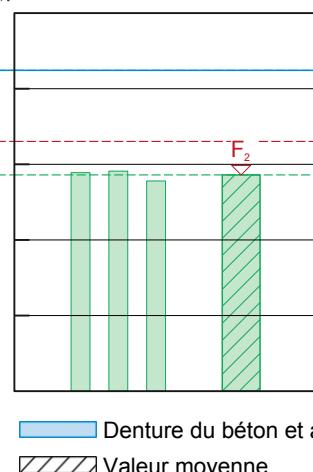
La charge peut être augmentée via la denture de la fissure et l'armature d'effort tranchant jusqu'à ce qu'une deuxième fissure de cisaillement s'ouvre à l'extérieur de l'élément.



$V_{(u)}$ [kN]



$V_{(u)}$ [kN]



$V_{(u)}$ [kN]

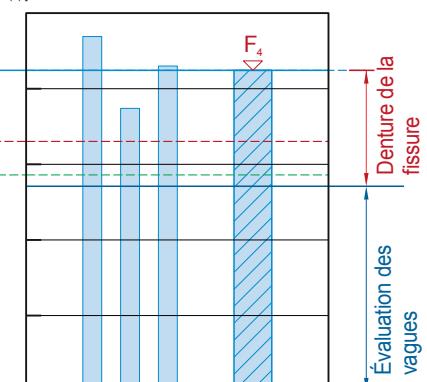


Figure 5 : Représentation des résultats des essais expérimentaux : bétonné en continu (rouge), élément de coffrage avec seulement des dents en béton (vert), élément de coffrage avec des dents en béton et des armatures de boucles (bleu).

6 Théorie

La déduction des taux d'armature minimaux à l'effort tranchant indiqués dans le tableau 1 s'effectue sur la base du modèle illustré dans la figure 4 en bas à droite avec des bords de fissure sans frottement [7]. Les taux d'armature minimaux indiqués dans le tableau 1 résultent du diagramme d'intersection représenté et du dimensionnement de l'effort tranchant de la résistance au béton seule, basé sur la norme correspondante. L'inclinaison minimale de l'entretoise de compression est implicitement prise en compte dans le calcul.

		SIA 262	EC 2	DIN 1045-1
géom. Taux d'armature Considération minimale de l'effort tranchant	$\rho_{w,\min}$	$0.001 \sqrt{\frac{f_{ck}}{30}} \frac{500}{f_{sk}}$	$0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$	$0.16 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$
min. Inclinaison de la barre de compression	θ_{\min}		21.8°	18.4°
Relation trigonométrique	$\cot \theta_{\min}$		2.5	3.0
Bras de levier intérieur	z		$0.9d_v$	
Longueur du corps de coupe	s		$2.25d_v$	$2.70d_v$

Tableau 1 : Taux minimal d'armature de cisaillement selon les différentes normalisations.

Le diagramme de section présenté à la figure 4 permet de déterminer la surface de section requise pour l'armature d'effort tranchant à l'aide du taux d'armature d'effort tranchant minimal correspondant, selon la relation suivante :

$$A_{sw,\min} = \rho_{(w)} \cdot b_w \cdot 0.9 \cdot d_v \cdot \cot \theta \quad (1)$$

Les variables représentent les grandeurs suivantes :

$A_{sw,\min}$	surface d'acier requise pour l'armature de l'arbre par mètre courant. Teneur minimale en armatures d'effort tranchant selon le tableau 1.
ρ_w	
b_w	Largeur de la bande de panneaux ($b_w = 1m$).
d_v	hauteur statique. bras de levier intérieur.
$z = 0.9 \cdot d_v$	
$s = 0.9 \cdot d_v \cdot \cot \theta$	Longueur du corps de coupe.

7 Dimensionnement

Pour le dimensionnement de l'élément de coffrage, le type de béton prévu pour la dalle en béton armé doit être pris en compte dans le calcul de la teneur minimale en armatures de cisaillement selon le tableau 1. Le 2 la résistance caractéristique à la compression cylindrique et la résistance moyenne à la traction pour la gamme des types de béton habituellement disponibles. La résistance moyenne à la traction peut être déterminée à partir de la résistance caractéristique à la compression cylindrique à l'aide de la relation suivante :

$$f_{ctm} = 0.3 \cdot f_{ck}^{2/3} \quad f_{ck} \text{ dans l'unité [N/mm}^2\text{].} \quad (2)$$

	Type de béton C	12/15	16/20	20/25	25/30	30/37	35/45	40/50	45/55	50/60
charact. Résistance à la pression du cylindre	f_{ck} [N/mm ²]	12	16	20	25	30	35	40	45	50
résistance moyenne à la traction	f_{ctm} [N/mm ²]	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.2	3.5	3.8	4.1

Tableau 2 : Types de béton : résistance caractéristique à la compression cylindrique et résistance moyenne à la traction.

L'armature ondulée existante est proposée dans les diamètres d = 8 mm, 10 mm et 12 mm. La distance entre deux fers verticaux est de 100 mm. Il en résulte les surfaces d'armatures existantes selon le tableau 3.

	As par fer	a	As par LM
Armature d'arbre d= 8mm	50.3mm ² /Fer	100mm	503mm ² /m
Armature d'arbre d= 10mm	78.5mm ² /Fer	100mm	785mm ² /m
Armature d'arbre d= 12mm	113.1mm ² /Fer	100mm	1131mm ² /m

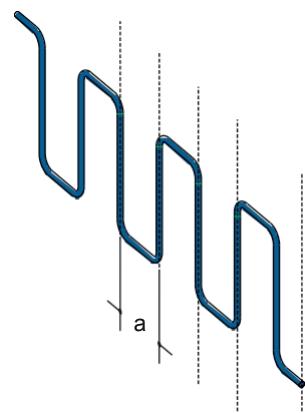


Tableau 3 : Armature en boucle : composition des surfaces d'armature.

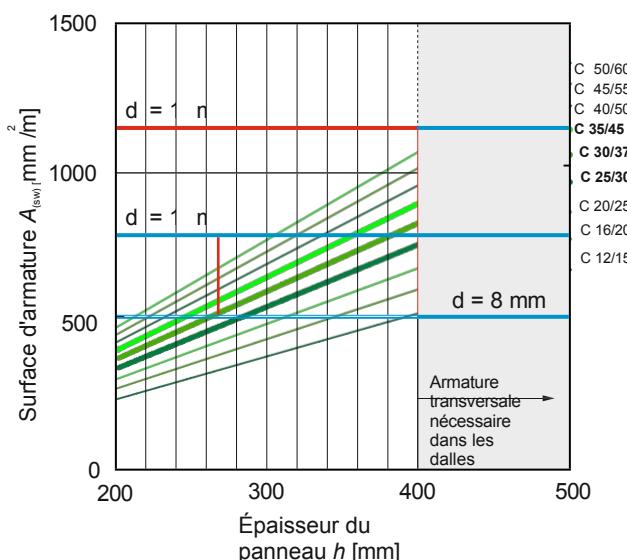
La surface de section requise pour l'armature d'effort tranchant minimal selon la relation (1) doit pouvoir être couverte par la surface de section disponible selon le tableau 3. La figure 6 les diagrammes de dimensionnement pour les normes de base. Les types de béton principalement utilisés pour les dalles en béton armé (C25/30, C30/37 et C35/45) sont mis en évidence en vert par des lignes grasses. La surface de la section d'armature nécessaire en fonction du type de béton augmente proportionnellement à l'épaisseur h de la dalle. Pour les dalles épaisses (h > 40 cm), la mise en place d'une armature d'effort tranchant est indiquée, indépendamment de la présence de joints de construction, voir norme SIA 262, 4.3.3.1.2. Dans les dalles épaisses, aucune armature ondulée supplémentaire n'est nécessaire en présence d'une armature d'effort tranchant ; celle-ci n'a donc ici qu'une fonction de renforcement constructif.

Les diagrammes de dimensionnement doivent être lus comme suit : par exemple, pour le type de béton C35/45, la surface de la section des armatures ondulées existantes selon le tableau 3 donne la ligne d'escalier graduée en rouge, ce qui permet de dimensionner en fonction de l'épaisseur de la dalle et de satisfaire à la sécurité structurale.

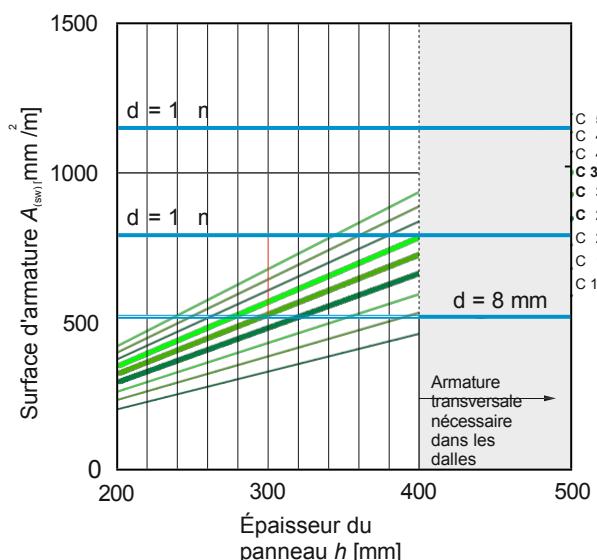
La détermination de l'armature transversale minimale requise est effectuée dans les normes citées sur la base de constructions en poutres et reprise dans la même mesure pour les dalles.

Exception EC 2 NA Allemagne : Le dimensionnement en Allemagne selon EC 2 avec l'annexe nationale de l'Allemagne constitue une exception. Pour les dalles avec un rapport $b/h > 5$, il est nécessaire de multiplier par 0,6 l'armature minimale des poutres selon le tableau 1. Ceci est visible sur la figure 6 dans le diagramme de dimensionnement en bas à droite.

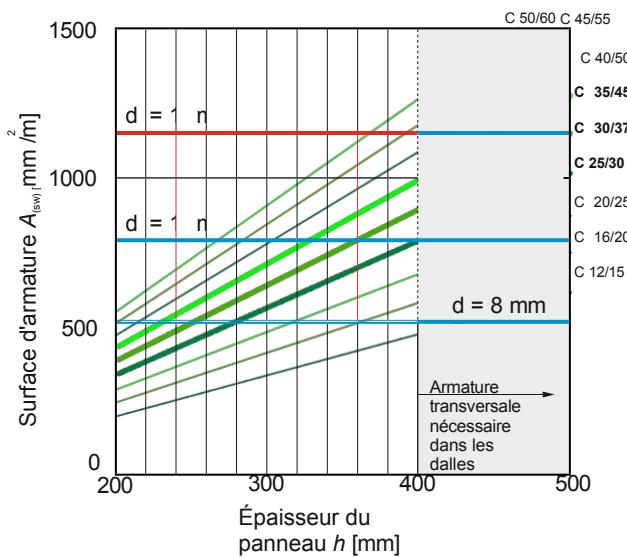
SIA 262



Eurocode 2



EC 2, annexe nat. Allemagne ou anciennement DIN 1045-1 (poutres)



EC 2, annexe nat. Allemagne ou anciennement DIN 1045-1 (plaques)

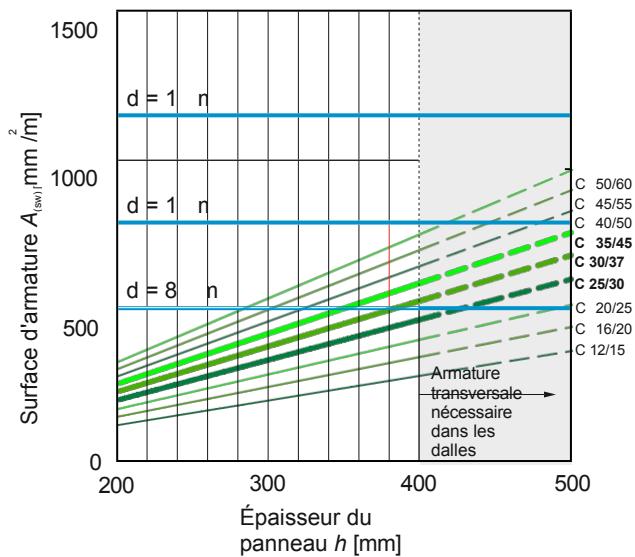


Figure 6 : Diagrammes de dimensionnement : SIA 262, EC 2, EC 2, annexe nationale pour l'Allemagne (poutres et dalles).

8 Normes

SIA 262:2013

Section

Texte

4

4.3.3

4.3.3.1.2

Analyse de la structure porteuse et dimensionnement

Force transversale

La mise en place d'une armature d'effort tranchant est particulièrement indiquée pour les éléments de construction suivants ont été montrés :

- Plaques et coques épaisses
- Eléments soumis à des déformations importantes imposées
- les éléments de construction soumis des actions dont la précision est insuffisante sont quantifiables.

4.3.3.1.3

Il est possible de renoncer à la mise en place d'une armature d'effort tranchant pour les éléments de construction dont l'importance est négligeable pour la sécurité structurale ou pour les dalles minces, pour autant qu'une résistance suffisante à l'effort tranchant soit garantie conformément aux chiffres 4.3.3.2 et suivants.

5

5.5.2

5.5.2.2

Conception de la construction

Poutres et poutres en plaques

Dans les poutres, il faut toujours disposer des étriers dont le contenu d'armature :

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{sb_w} \geq 0.001 \cdot \sqrt{\frac{f_{ek}}{30}} \cdot \frac{500}{f_{sk}} \quad (110)$$

et dont la distance mutuelle ne doit pas dépasser $25\phi_{sw}$. Dans le cas d'entretoises larges, la largeur de l'entretoise b_w peut être prise en compte à hauteur de 400 mm maximum.

5.5.3

Plaques

5.5.3.4

Si une armature d'effort tranchant est placée, le contenu de l'armature doit correspondre à la valeur de l'effort tranchant.
(110) doit être remplie.

6

6.4.4

6.4.4.2

Version

Programme de bétonnage et joints de construction

Si les joints de construction peuvent pas être évités, ils doivent être placés à des endroits bien définis.

Les points d'ancrage peuvent être placés perpendiculairement à la direction de la pression.

Les surfaces de raccordement doivent être maintenues rugueuses en les traitant de manière spécifique.

la surface peut être réalisée en béton lavé ou rendue rugueuse.

Dans des cas particuliers, il est possible de prévoir une denture des surfaces de raccordement.

Section	Texte
6	VÉRIFICATION DANS LES ÉTATS LIMITES ULTIMES (GZT)
6.2	<i>Force transversale</i>
6.2.1 (4)	Même si aucune armature d'effort tranchant n'est requise sur la base du dimensionnement, une armature d'effort tranchant minimale doit être prévue en règle générale selon 9.2.2. Il est possible de renoncer à l'armature minimale d'effort tranchant pour les éléments de construction tels que les dalles (pleines, nervurées ou creuses), dans lesquels une redistribution des charges dans le sens transversal est possible. Il est également possible de renoncer à une armature d'effort tranchant minimale dans les éléments de construction d'importance secondaire (p. ex. linteaux avec des portées ≤ 2 m) qui ne contribuent pas de manière significative à la capacité portante globale et à la stabilité globale de la structure porteuse.
6.2.1 (5) $V_{Rd,c}$	Dans les sections avec $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ selon l'équation (6.2) est en règle générale une ligne transversale pour la résistance à l'arrachement $V_{Ed} \leq V_{Rd}$ est satisfaite (voir équation (6.8)).
6.2.3 (2)	L'angle θ doit être limité en règle générale. REMARQUE La valeur spécifique au pays pour $\cot \theta$ peut être tirée d'une annexe nationale. Les valeurs limites recommandées sont indiquées dans l'équation (6.7N). $1 \leq \cot(\theta) \leq 2.5 \quad (6.7N)$
9	RÈGLES DE CONSTRUCTION
9.2	<i>Poutre</i>
9.2.2 (5)	Le taux d'armature transversale est donné par l'équation (9.4) : $\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)) \quad (9.4)$
	ρ_w le taux d'armature de l'effort tranchant ; ρ_w ne doit pas, en règle générale, être inférieur à $\rho_{w,min}$
	A_{sw} surface de la section de l'armature d'effort tranchant par longueur s ; s est la distance de l'armature d'effort tranchant mesurée le long de l'axe de la poutre ; b_w la largeur de l'âme de l'élément de construction ; α est l'angle entre l'armature d'effort tranchant et l'axe de la poutre (voir 9.2.2. (1)).
	REMARQUE La valeur spécifique au pays de $\rho_{w,min}$ pour les poutres peut être trouvée dans une annexe nationale. La valeur recommandée est indiquée dans l'équation (9.5N). $\rho_{w,min} = 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}}$
9.3	<i>Panneaux pleins</i>
9.3.2 (1)	En règle générale, une dalle avec armature d'effort tranchant doit avoir une épaisseur d'au moins 200 mm.
9.3.2 (2)	La valeur minimale et la définition du taux d'armature selon 9.2.2 devraient s'appliquer à la mise en œuvre structurelle de l'armature d'effort tranchant, sauf si elles sont modifiées comme suit.

SN EN 1992-1-1:2004/NA:2014 (Annexe nationale pour la Suisse)

Section **Texte**

§ 6.2.3 (2)

Eléments de construction avec armature d'effort tranchant requise par le calcul Texte original :

(2) L'angle θ doit être limité en règle générale.

REMARQUE La valeur spécifique au pays pour $\cot\theta$ peut être tirée d'une annexe nationale. Les valeurs limites recommandées sont indiquées dans l'équation (6.7N).

$$1 \leq \cot(\theta) \leq 2.5$$

(6.7N)

NPD sur le paragraphe 6.2.3 (2) :

Les valeurs suivantes s'appliquent au paramètre ϑ :

- $30^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ pour les éléments de construction courants en béton armé
- $25^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ pour les composants précontraints ou présentant une contrainte de compression moyenne supérieure à 1 MPa
- $40^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ pour les éléments de construction soumis à une force normale de traction ou si l'on peut s'attendre à de grandes déformations plastiques dans la bande de traction.

Commentaire : Les valeurs de l'inclinaison du champ de pression (θ) du champ de contrainte à inclinaison variable sont en accord avec la norme SIA 262(2013).

§ 9.2.2 (5)

Armature d'effort

tranchant Texte original :

Le taux d'armature transversale est donné par l'équation (9.4) :

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin(\alpha)) \quad (9.4)$$

ρ_w le taux d'armature de l'effort tranchant ;

ρ_w ne doit pas, en règle générale, être inférieur à $\rho_{w,min}$;

A_{sw} Surface de la section de l'armature d'effort tranchant par longueur s ;

s est la distance de l'armature d'effort tranchant mesurée le long de l'axe de la

b_w la largeur de l'âme de l'élément de construction ;

α est l'angle entre l'armature d'effort tranchant et l'axe de la poutre (voir 9.2.2. (1)).

REMARQUE La valeur spécifique au pays de $\rho_{w,min}$ pour les poutres peut être trouvée dans une annexe nationale. La valeur recommandée est indiquée dans l'équation (9.5N).

$$\rho_{w,min} = 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \quad (9.5N)$$

NPD sur le paragraphe 9.2.2 (5) : La valeur applicable est $\rho_{w,min}$:

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{sb_w} \geq 0.001 \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{30}} \cdot \frac{500}{f_{yk}}$$

Où f_{ck} et f_{yk} en [MPa].

Commentaire :

Cette valeur est conforme à la norme SIA 262 (2013).

DIN EN 1992-1-1:2004/NA:2011 (Annexe nationale pour l'Allemagne)

Texte

NCI Zu 6.25

Texte

NA.6) Pour les éléments de construction principalement sollicités en flexion et dont les joints sont perpendiculaires à l'axe du système, le joint agit comme une fissure de flexion. Dans ce cas, les joints doivent être rugueux ou dentés. La vérification doit donc être effectuée conformément à 6.2.2 et 6.2.3.

6.2.3. $V_{(Rd),c}$ selon l'équation (6.2) et $V_{(Rd),cc}$ doivent être utilisés.

selon l'équation (NA.6.7b) ainsi que $V_{(Rd),max}$ selon l'équation (6.9) ou l'équation

(6.14) dans le rapport $c / 0.5$. Pour les éléments de construction soumis à des forces transversales, la réduction doit être effectuée au moins jusqu'à la distance de $l_c = 0.5 \cdot \cot\theta \cdot d$ de part et d'autre du joint.

NDP Pour 9.2.2 (5)

Généralités :

$$\rho_{w,min} = 0.16 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \quad (\text{NA 9.5a})$$

Pour les sections articulées avec membrure de traction précontrainte :

$$\rho_{w,min} = 0.256 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \quad (\text{NA.9.5b})$$

NCI Pour 9.3.2 (1)

h_{min} d'une plaque pleine :

- avec armature d'effort tranchant (ouverte) : 160 mm
- avec armature d'effort tranchant (étrier) ou armature de poinçonnement : 200 mm
- pour $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ avec $b / h > 5$, aucune armature minimale n'est requise pour l'effort tranchant.
- Les éléments de construction avec $b / h < 4$ doivent être traités comme des poutres.
- Dans la zone $5 \geq b / h \geq 4$, une armature minimale est requise pour $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ entre zéro et la valeur simple, pour $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ entre 0,6 et la valeur simple de l'armature minimale requise de Blaken peut être interpolée.
- Pour $V_{Ed} > V_{Rd,c}$ avec $b / h > 5$, la valeur de 0,6 fois le ferraillage minimal de Poutre nécessaire.

9 Littérature

Normes

- [1] SIA 262 (2013) : Construction en béton, Société suisse des ingénieurs et des architectes, Zurich, Suisse.
- [2] SN EN 1992-1-1(2004) : Eurocode 2 : Calcul des structures en béton armé et en béton précontraint - Partie 1-1 : Règles générales de calcul et règles pour les bâtiments.
- [3] SN EN 1992-1-1 (2014) : Eurocode 2 : Calcul des structures en béton armé et en béton précontraint - Partie 1-1 : Règles générales de calcul et règles pour les bâtiments
- Annexe nationale NA à la norme SN EN 1992-1-1:2004
- [4] DIN EN 1992-1-1 (2011) : Eurocode 2 : Calcul des structures en béton armé et en béton précontraint - Partie 1-1 : Règles générales de calcul et règles pour la construction des bâtiments. Version allemande EN 1992-1-1 : 2004 + AC:2010, Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [5] DIN EN 1992-1-1 (2011) : Annexe nationale - Paramètres définis au niveau national - Eurocode 2 : Calcul des structures en béton armé et en béton précontraint - Partie 2 : Calcul des structures en béton armé et en béton précontraint.
Partie 1-1 : Règles générales de dimensionnement et règles pour la construction de bâtiments, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Publications

- [6] Bentz, E. C., Vecchio, F. J. et Collins, M. P., (2006) : Simplified modified compression field theory for calculating shear strength of reinforced concrete elements, ACI Structural Journal, 103(4), p. 614-624.
- [7] Hegger, J., Görtz, St., (2002) : Dimensionnement de l'effort tranchant selon la norme DIN 1045-1, Beton- und Stahlbetonbau, Jg. 97, cahier 9.
- [8] Vecchio, F. J. et Collins, M. P. (1986) : The modified compression field theory for reinforced concrete elements subjected to shear, ACI Journal, 83 (2), p. 219-231.
- [9] Zilch, K., Fingerloos, F. (2008) : Transmission de la force de cisaillement dans les joints mixtes selon la norme DIN 1045-1:2008.
- [10] Zweidler, S., Häfeli, B., Amer, E., Développement d'un élément de coffrage dans les dalles sans réduction de la résistance à l'effort tranchant, rapport d'essai Baulabor FHNW, 2024.