Aschwanden

Plus en performance. Plus en valeur.

[referat]

DURA

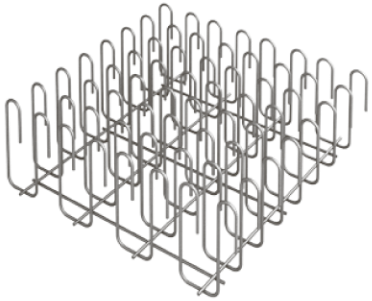
Armature de poinçonnement et la norme SIA 262 révisée

Juin 2013

Sommaire

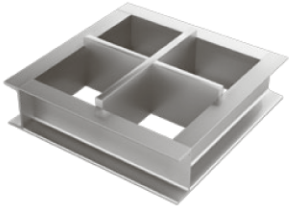
- **Vue d’ensemble du système DURA**
- **Bases de la norme de dimensionnement révisée (SIA 262:2013)**
- **Nouveautés / modifications dans la norme SIA 262:2013 révisée (concernant le poinçonnement)**
- **Influence de la modélisation**
- **Essais / Expertise**
- **Avantage client du système DURA**

Système DURA



Paniers DURA

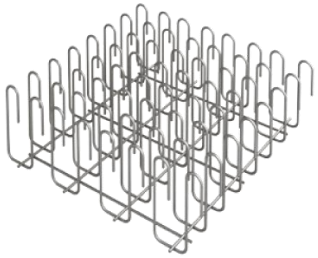
Elément S DURA



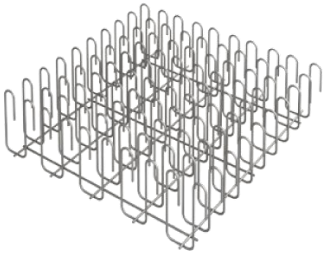
Tête en acier DURA

Système DURA

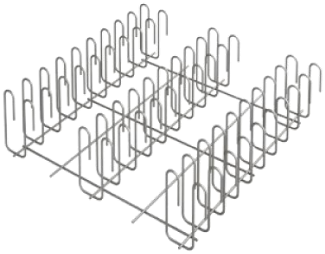
s = 100 mm



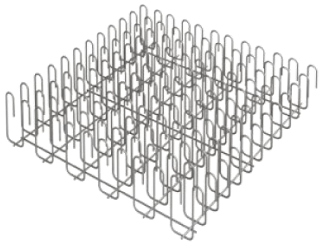
DURA-70



DURA-90

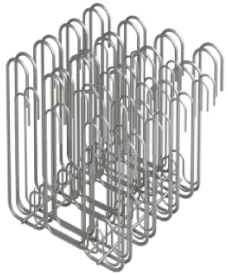


DURA-90L

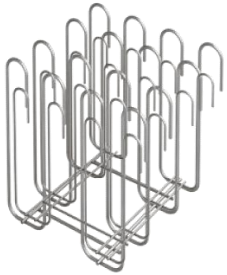


DURA-110

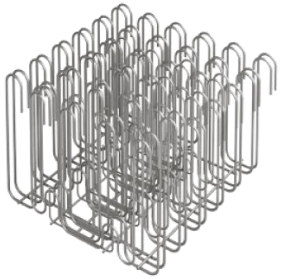
s = 150 mm



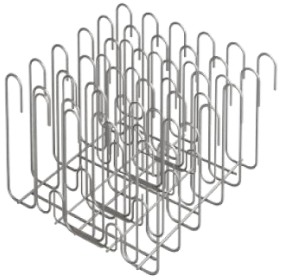
DURA-45



DURA-45L

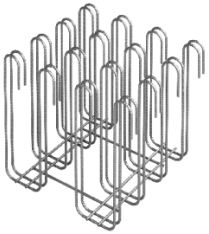


DURA-75

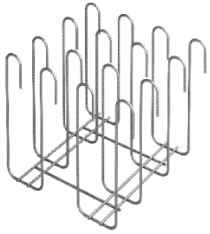


DURA-75L

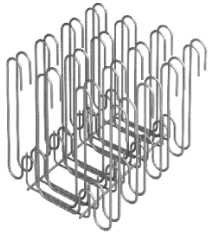
s = 200 mm



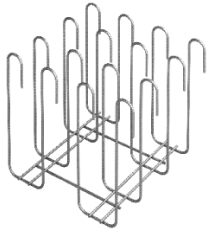
DURA-60



DURA-60L



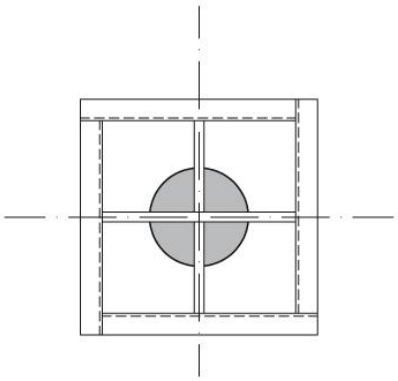
DURA-60F

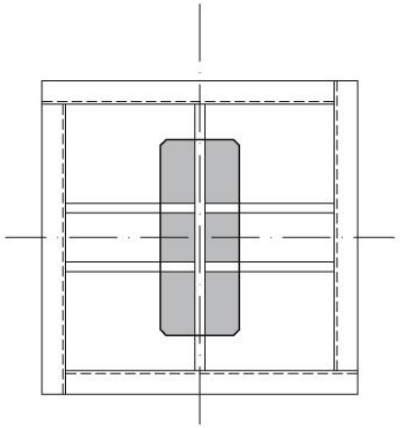


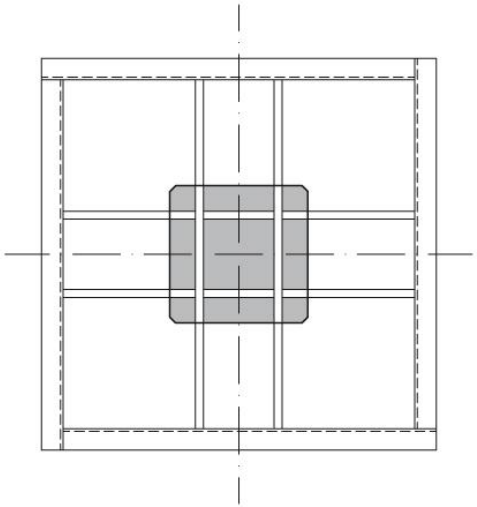
DURA-60FL

Aschwanden

Système DURA





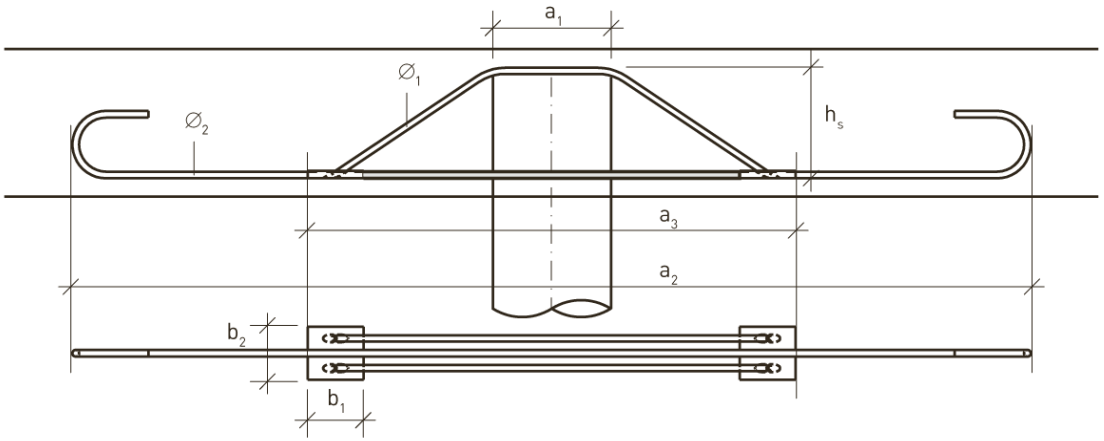


Modèle 1

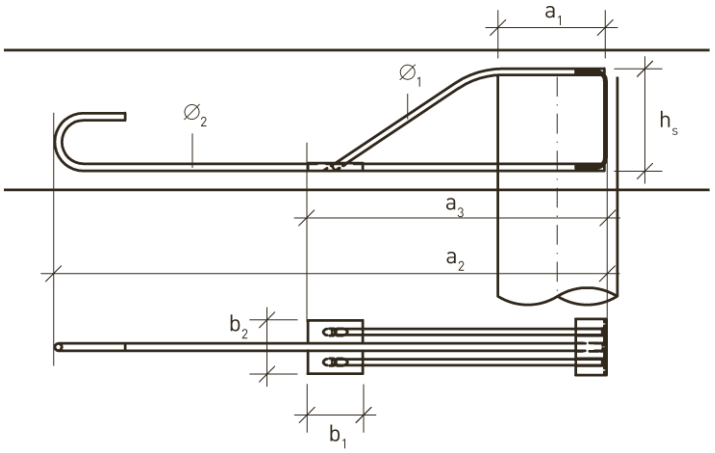
Modèle 2

Modèle 3

Système DURA



Elément S DURA



Elément SR DURA

Aschwanden

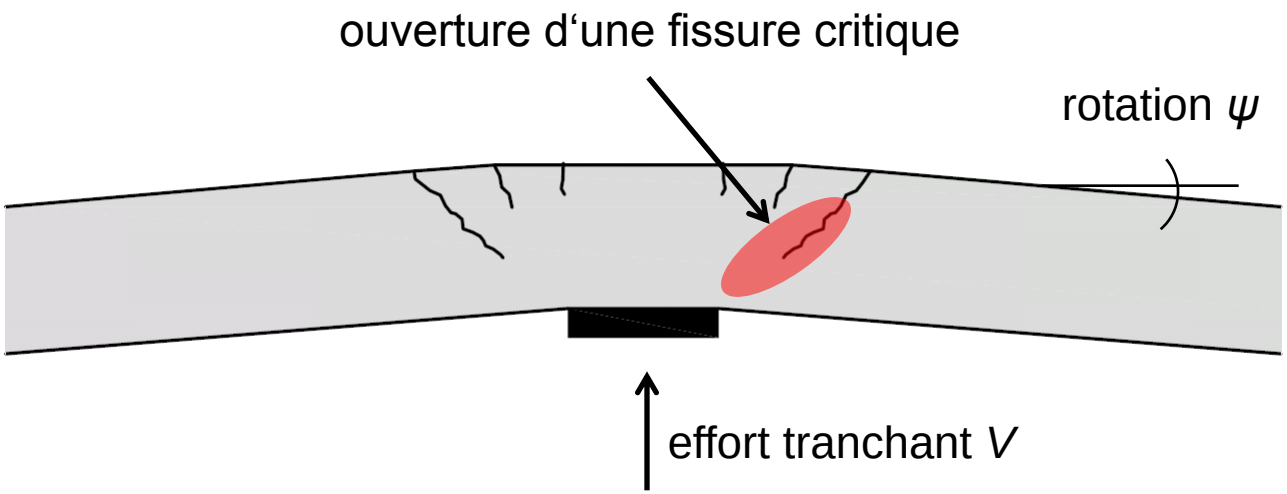
Système DURA: combinaison tête en acier et paniers

Aschwanden

Système DURA: combinaison élément S et paniers

Bases de la norme de dimensionnement

Théorie de la fissure critique[1)]



[1)] La théorie de la fissure critique a été développée à l’Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne sous la direction du professeur Dr A. Muttoni

Bases de la norme de dimensionnement

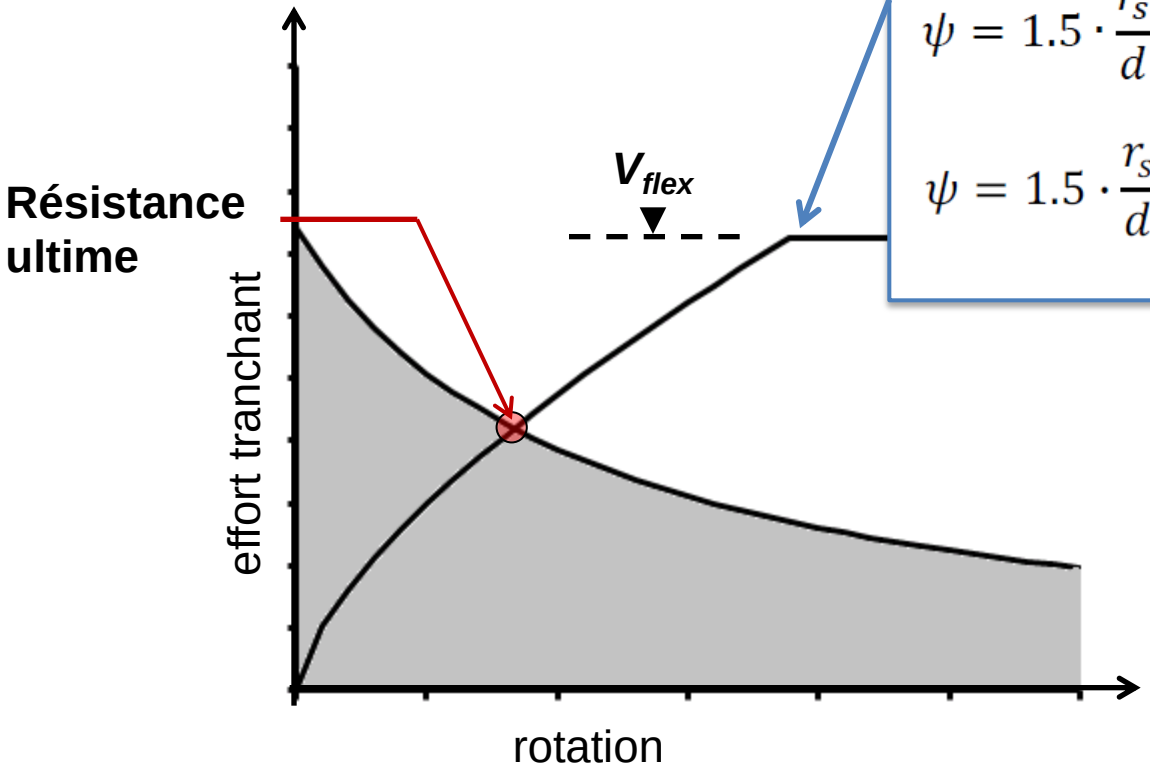
Dalles sans armature de poinçonnement

Courbe charge-rotation

→ ouverture de la fissure de cisaillement en fonction de la charge appliquée

$$\psi = 1.5 \cdot \frac{r_s}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{V_d}{V_{flex}}\right)^{3/2}$$

$$\psi = 1.5 \cdot \frac{r_s}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd}}{m_{Rd}}\right)^{3/2}$$



Aschwanden

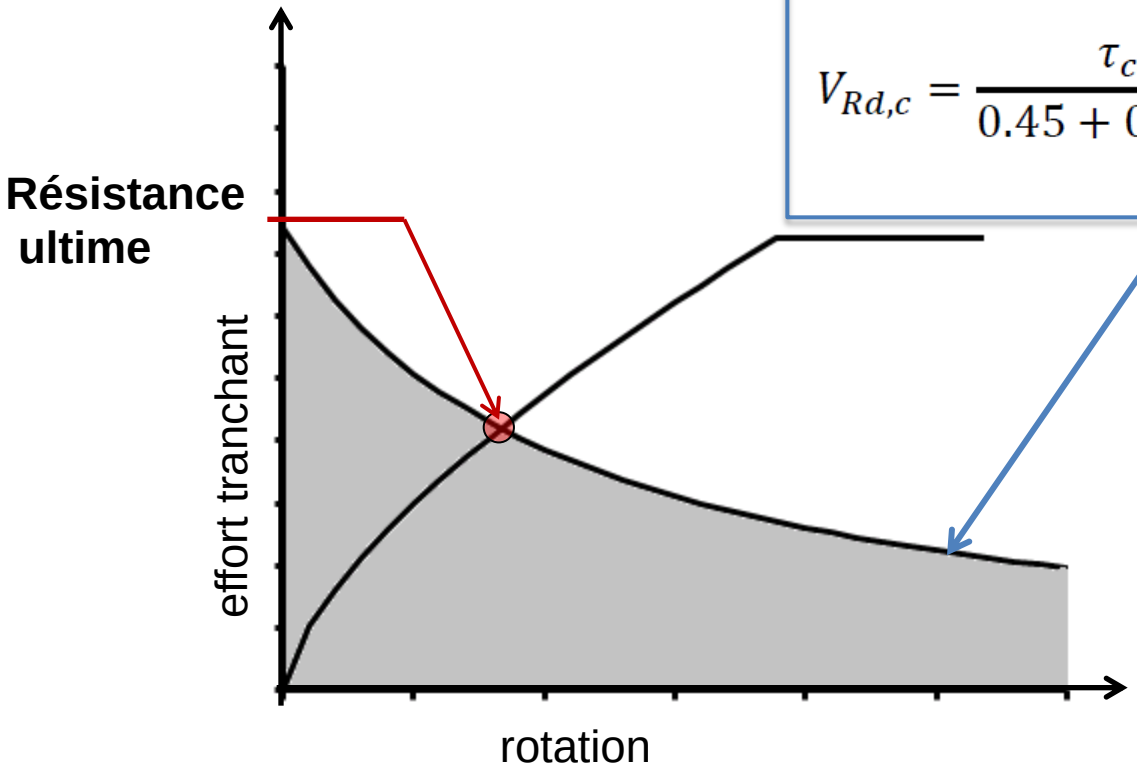
Bases de la norme de dimensionnement

Dalles sans armature de poinçonnement

Critère de rupture

→ résistance en fonction de l'ouverture de la fissure de cisaillement

$$V_{Rd,c} = \frac{\tau_{cd} \cdot d_v \cdot u}{0.45 + 0.18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g}$$

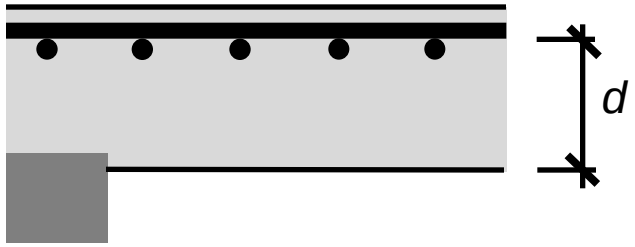


Aschwanden

Bases de la norme de dimensionnement

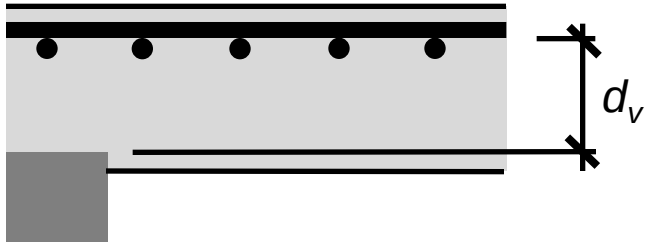
Distinction entre *d* et d_v:

- *d* = hauteur statique moyenne



Utilisation dans le calcul de la rotation ou de l'ouverture de la fissure de cisaillement

- d_v = hauteur statique efficace pour la reprise de l'effort tranchant



Utilisation dans le calcul de la résistance à l'effort tranchant (surface de vérification: $d_v \cdot u$)

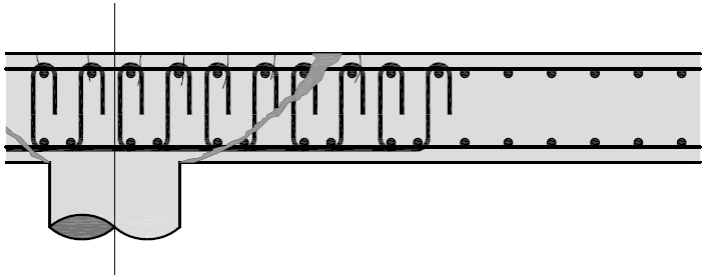
Aschwanden

Bases de la norme de dimensionnement

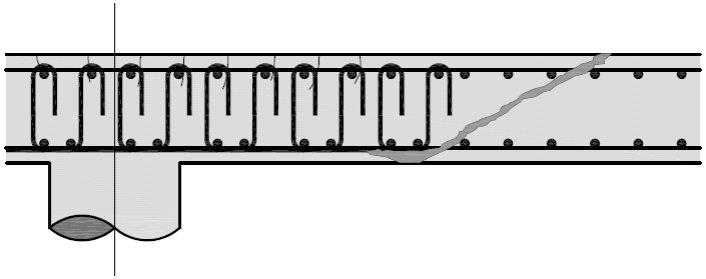
Dalles avec armature de poinçonnement

3 Vérifications:

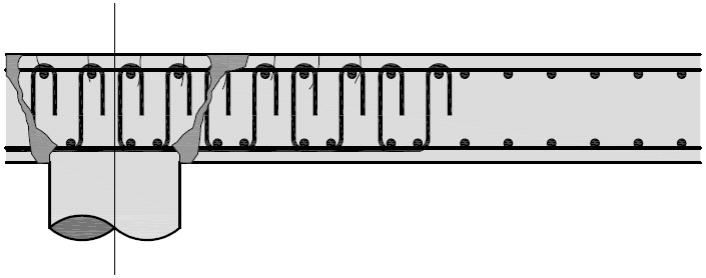
- rupture dans la zone de l'armature de poinçonnement



- rupture à l'extérieur de l'armature de poinçonnement



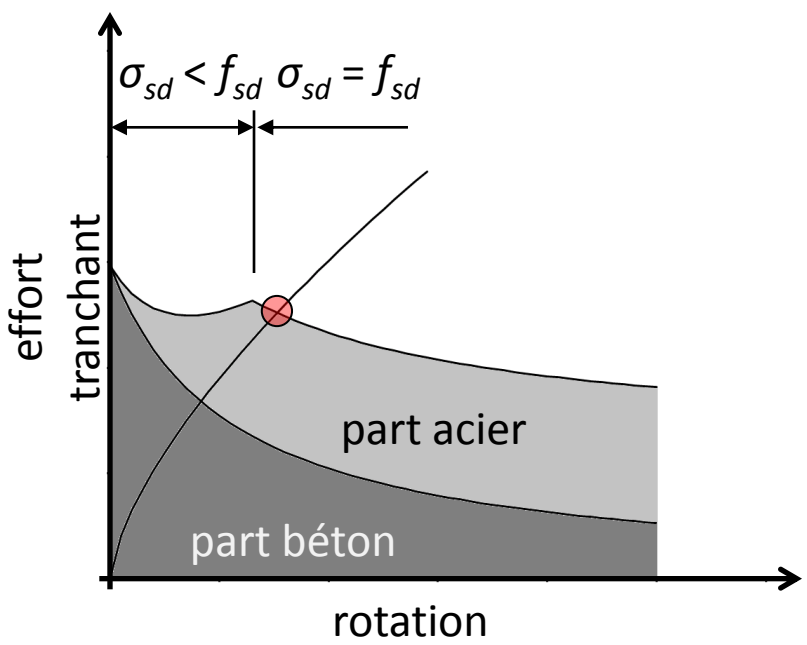
- rupture de la bielle de compression du béton

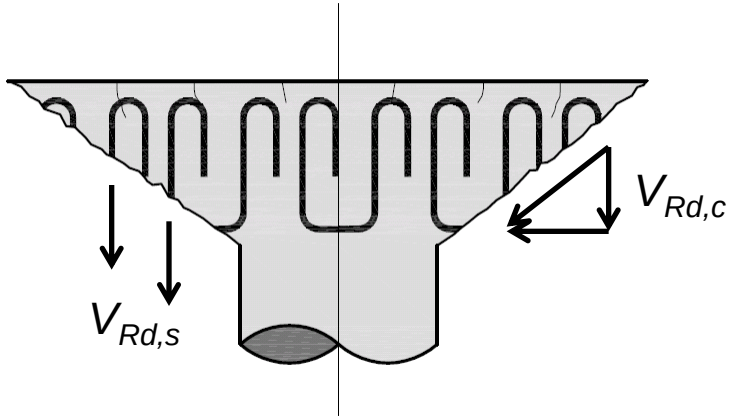


Bases de la norme de dimensionnement

Résistance ultime dans la zone de l'armature de poinçonnement

$$V_{Rd,w} = V_{Rd,c} + V_{Rd,s}$$



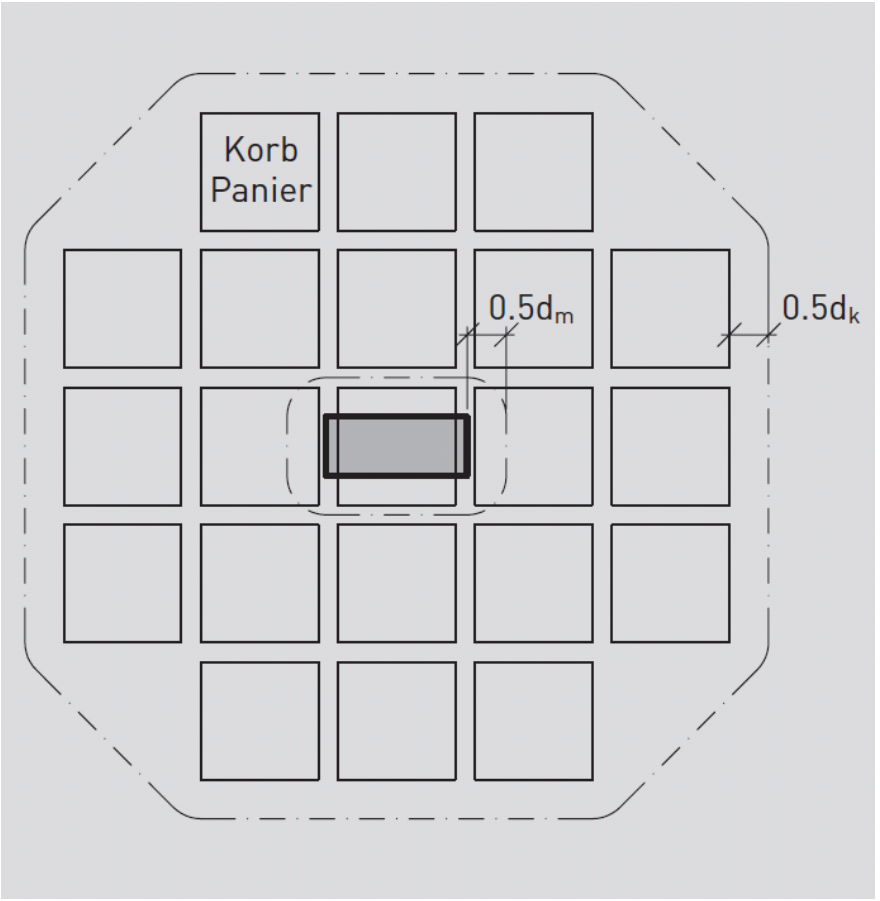


Aschwanden

Bases de la norme de dimensionnement

Résistance ultime à l'extérieur de l'armature de poinçonnement

$$V_{Rd,out} = \frac{\tau_{cd} \cdot d_v \cdot u_{out}}{0.45 + 0.18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g}$$



Aschwanden

Bases de la norme de dimensionnement

Résistance ultime de la bielle de compression du béton

$$V_{Rd,max} = k_{sys} \cdot V_{Rd,c} \leq 3.5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

$$V_{Rd,max} = k_{sys} \cdot \frac{\tau_{cd} \cdot d_v \cdot u}{0.45 + 0.18 \cdot \psi \cdot d \cdot k_g} \leq 3.5 \cdot \tau_{cd} \cdot d_v \cdot u$$

- Le facteur k_{sys} (selon norme = 2.0) dépend de la disposition de l'armature de poinçonnement, de la capacité de l'ancrage et des propriétés d'adhérence de l'armature de poinçonnement.

- Le facteur k_{sys} peut être augmenté s'il a été corroboré expérimentalement qu'un niveau de sécurité comparable à celui du modèle de calcul pour dalles sans armature de poinçonnement est atteint (chiffre 4.3.6.5.8).

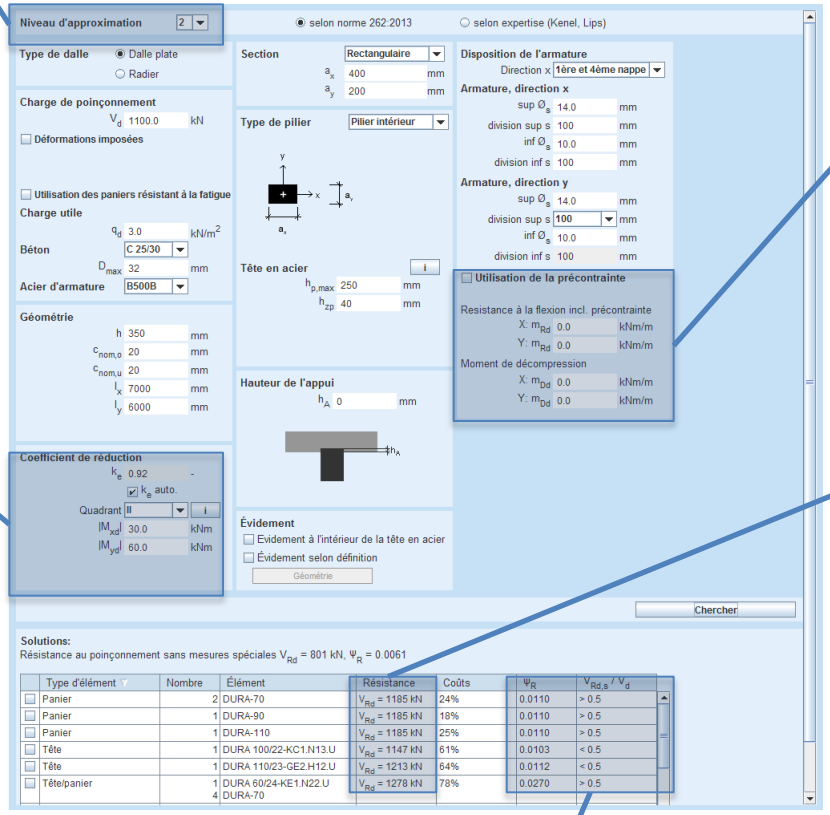
Vue d'ensemble des nouveautés / modifications SIA 262:2013

Niveau d'approximation

Calcul valeur k_e

Précontrainte

Valeurs de calcul de la résistance ultime



Exigences relatives au comportement en déformation

Aschwanden

Nouveauté SIA 262:2013: niveaux d'approximation

Dimensionnement avec différents niveaux d'approximation

Niveau d'approximation 1: prédimensionnement

Niveau d'approximation 2: établissement du projet „normal“ (inchangé)
- géométrie régulière ($0.5 \leq L_x/L_y \leq 2.0$)

Niveau d'approximation 3: établissement du projet de „cas spéciaux“
- géométrie irrégulière
- analyse détaillée

examen de bâtiments existants

Nouveauté SIA 262:2013: niveaux d'approximation

Dimensionnement avec différents niveaux d'approximation

Equation (59)

$$\psi = 1.5 \cdot \frac{r_s}{d} \cdot \frac{f_{sd}}{E_s} \cdot \left(\frac{m_{sd}}{m_{Rd}}\right)^{3/2}$$

Niveau d'approximation 1 :

- $m_{sd} = m_{Rd}$ (c.-à-d. détermination de m_{sd} et m_{Rd} pas nécessaire)
- $r_s = 0.22 \cdot L$ (chiffre 4.3.6.4.4)

Niveau d'approximation 2 :

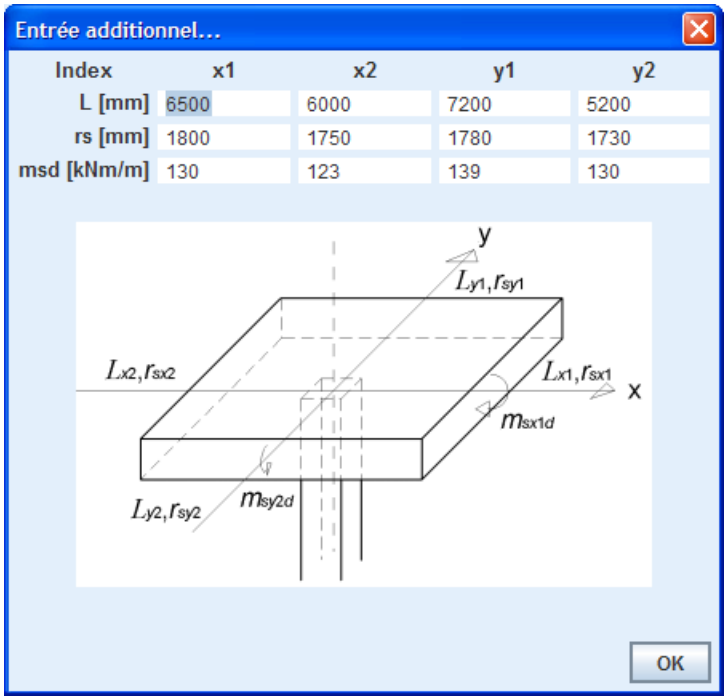
- $m_{sd} = f\,(V,\, e_u/b_s)$ (chiffre 4.3.6.4.7)
- $r_s = 0.22 \cdot L$ (chiffre 4.3.6.4.4)

Niveau d'approximation 3 :

- m_{sd} = résultat du calcul linéaire-élastique d'élément fini
- r_s = résultat du calcul linéaire-élastique d'élément fini
- Le facteur 1.5 peut être remplacé par 1.2.

Nouveauté SIA 262:2013: niveaux d'approximation

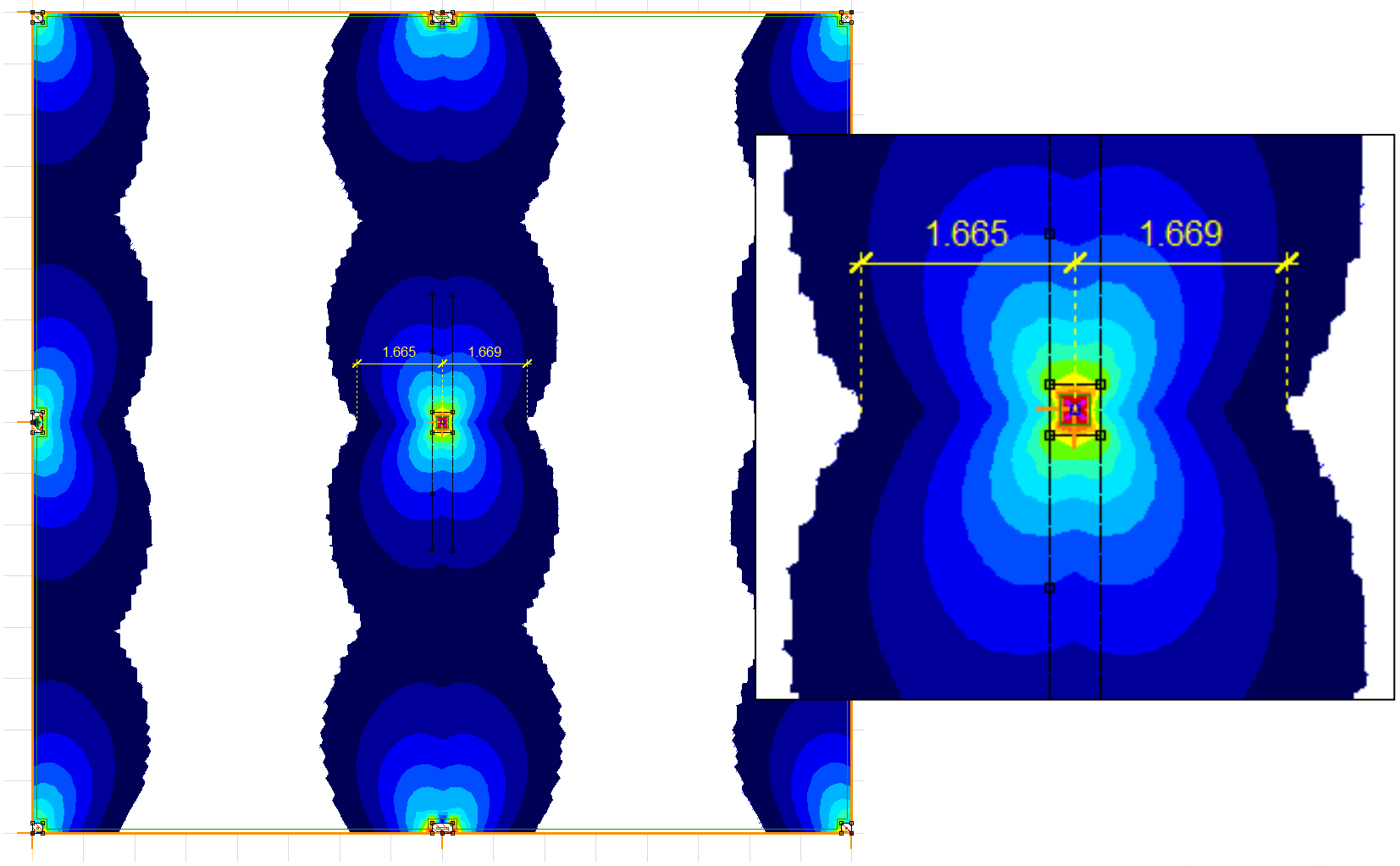
- **Entrée du logiciel pour niveau d'approximation 3**
  - Portées entre les appuis (L)
  - Distance dans la direction radiale entre axes des colonnes et point nul du moment d'armature dans la direction radiale (r_s)
  - Valeur moyenne des moments fléchissants (moments d'armature, c.-à-d. y compris moments de torsion) dans la bande d'appui (m_{sd})



Aschwanden

Nouveauté SIA 262:2013: niveaux d'approximation

Détermination de r_{sx2} et r_{sx1} :
Moments d'armature dans la direction x mxBw+ :

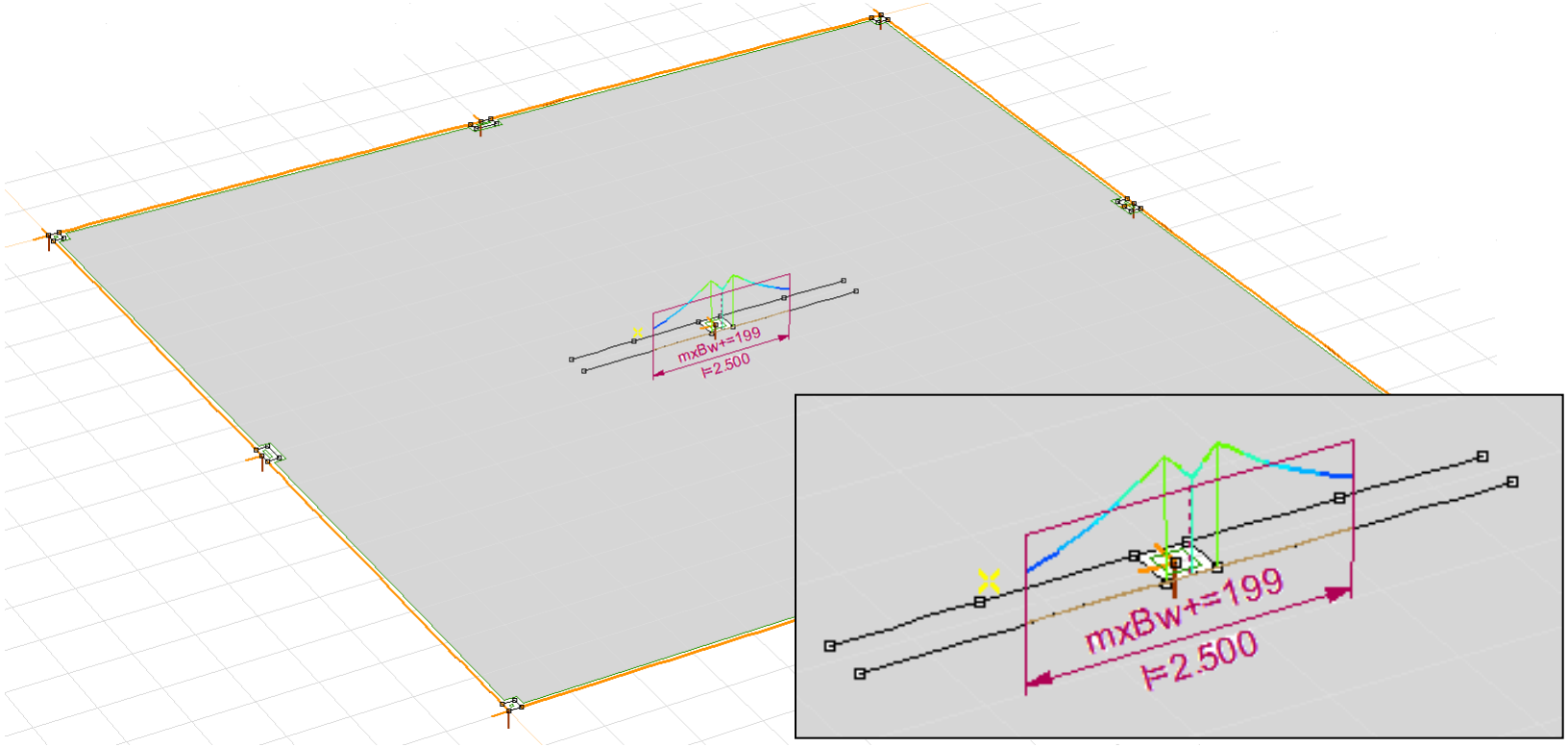


Aschwanden

Nouveauté SIA 262:2013: niveaux d'approximation

Détermination de m_{sx1}:

Moments d'armature moyennés dans la bande d'appui dans la direction x mxBw+ en bord de colonne:



Aschwanden

Modification SIA 262:2013: valeur k_e

La valeur k_e tient compte de la répartition inégale de l'effort tranchant le long de la section de contrôle

Valeurs approchées pour k_e (chiffre 4.3.6.2.5):

- colonnes intérieures $k_e = 0.90$
- extrémités et angles de mur $k_e = 0.75$
- colonnes de bord et colonnes intérieures avec grands évidements près des colonnes $k_e = 0.70$
- colonnes d'angle $k_e = 0.65$

Modification SIA 262:2013: valeur k_e

Détermination de la valeur k_e:

$$k_e = \frac{1}{1 + \frac{e_u}{b}}$$

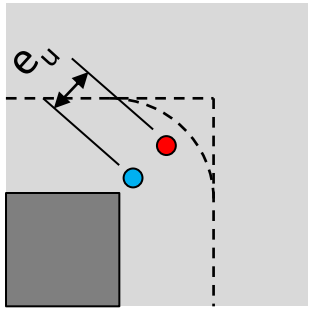
e_u: distance entre excentricité de charge et centre de gravité de la section de contrôle

b: diamètre de la surface convertie en un cercle de surface équivalente à l'intérieur de la section de contrôle

Exemple colonne d'angle:

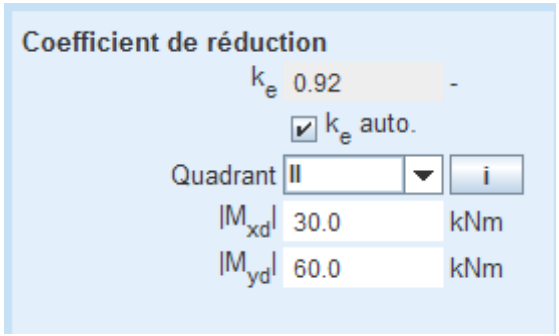
bleu: centre de gravité de la section de contrôle

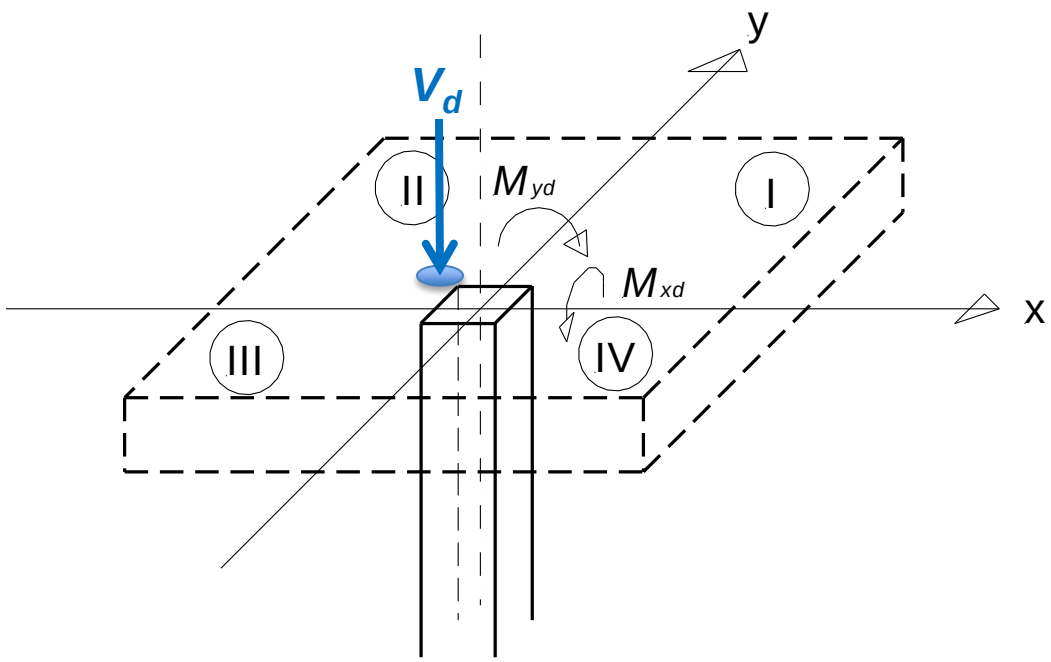
rouge: excentricité de charge



Modification SIA 262:2013: valeur k_e

Entrée/Calcul de la valeur k_e dans le logiciel:

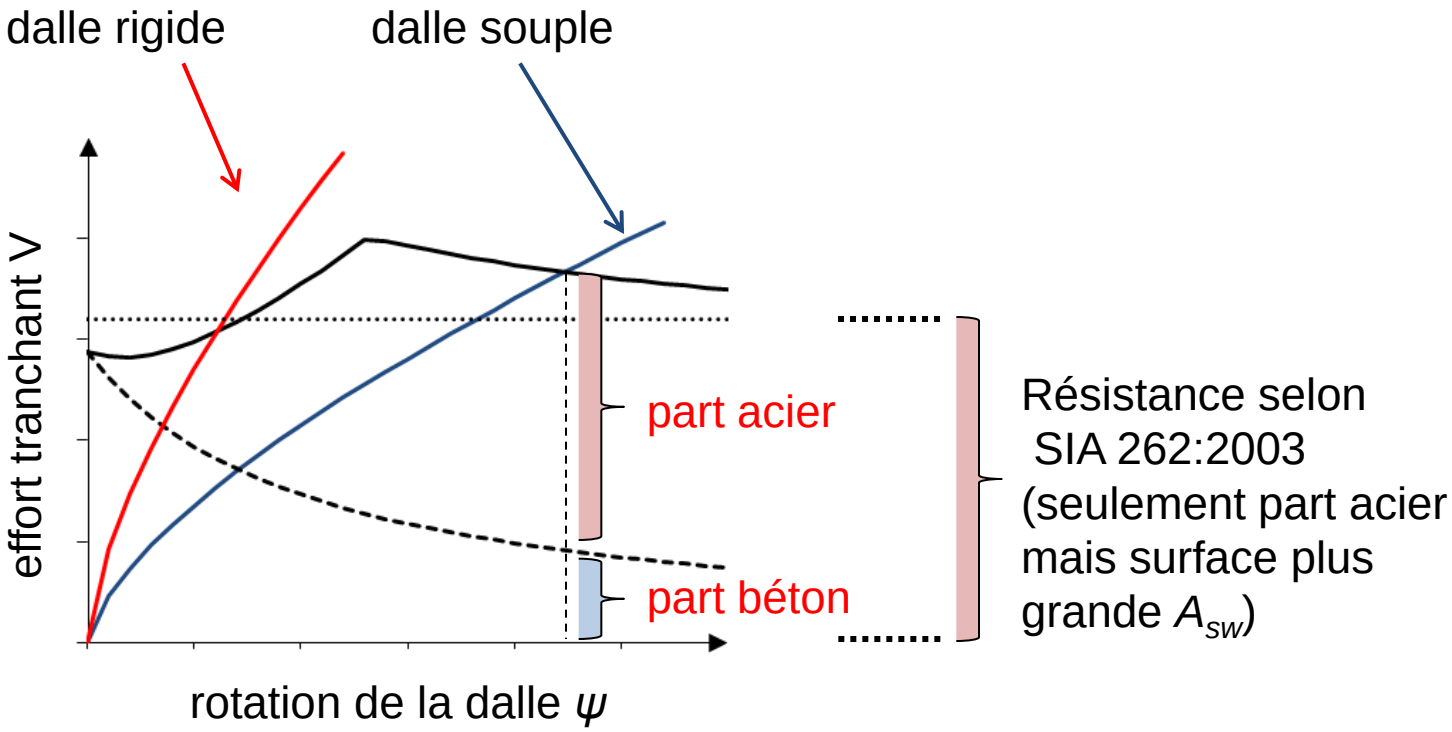




Aschwanden

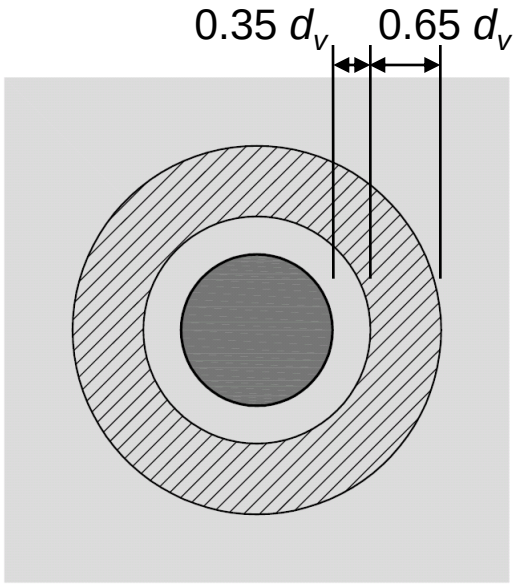
Modification SIA 262:2013: résistance ultime

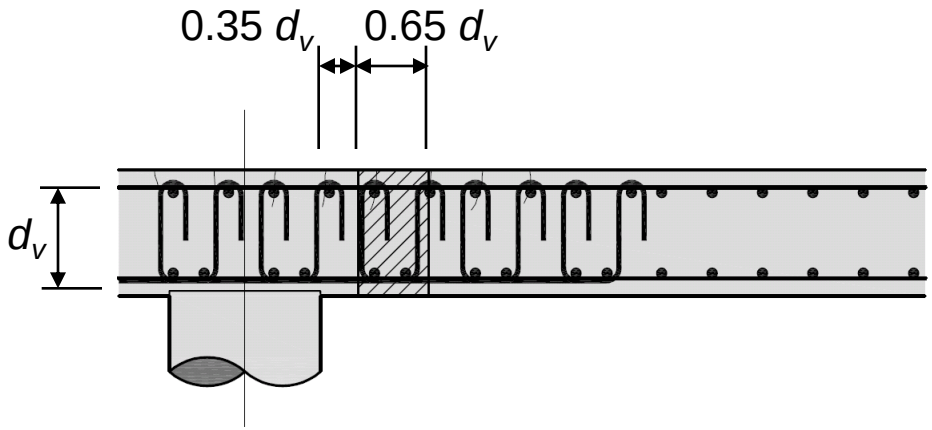
Vérification dans la zone de l'armature de poinçonnement



Aschwanden

Modification SIA 262:2013: résistance ultime





Aschwanden

Nouveauté SIA 262:2013: exigences supplémentaires

Exigences relatives au comportement en déformation et à la prévention contre l'effondrement de planchers-dalles

Les grandeurs déterminantes pour les exigences relatives au comportement en déformation sont les rotations de la dalle calculées (ψ) et le rapport entre la part de l'armature de poinçonnement à la résistance ($V_{Rd,s}$) et la valeur de calcul de l'effort tranchant (V_d).

	Critère	Exigence supplémentaire
1	$\psi < 0.008$	Valeur à éviter (4.1.4.2.6).
2	$\psi < 0.020$	Les grandeurs de section ne doivent pas être redistribuées sans vérification numérique de la capacité de déformation (4.1.4.2.5).
3	$\psi < 0.020$ et $V_{Rd,s} / V_d < 0.5$	Les efforts intérieurs résultant de déformations imposées doivent être pris en considération (4.3.6.1.2).
4	$V_{Rd,s} / V_d < 0.5$	Une prévention contre l'effondrement total est à disposer (4.3.6.1.3).

Nouveauté SIA 262:2013: exigences supplémentaires

Exigences relatives au comportement en déformation et à la prévention contre l'effondrement des radiers

Les grandeurs déterminantes pour les exigences relatives au comportement en déformation sont les rotations de la dalle calculées (ψ) et le rapport entre la part de l'armature de poinçonnement à la résistance ($V_{Rd,s}$) et la valeur de calcul de l'effort tranchant (V_d).

	Critère	Exigence supplémentaire
3	$\psi < 0.020$ und $V_{Rd,s} / V_d < 0.5$	Les efforts intérieurs résultant de déformations imposées doivent être pris en considération (4.3.6.1.2).
4	$V_{Rd,s} / V_d < 0.5$	Une prévention contre l'effondrement total est à disposer (4.3.6.1.3).

Nouveauté SIA 262:2013: exigences supplémentaires

Edition de la solution pour les exigences relatives à la déformation

Solutions:
Résistance au poinçonnement sans mesures spéciales V_{Rd} = 853 kN, Ψ_R = 0.0052

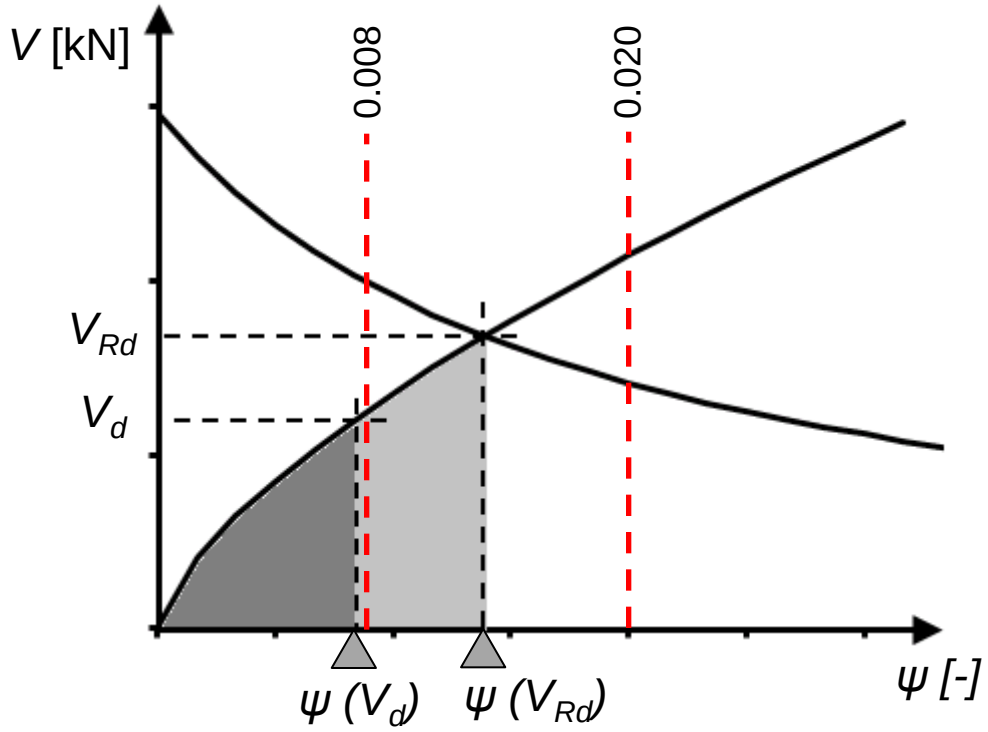
	Type d'élément	Nombre	Élément	Résistance	Coûts	Ψ_R	$V_{Rd,s} / V_d$
☐	Panier	2	DURA-70	V_{Rd} = 1278 kN	24%	0.0096	> 0.5
☐	Panier	1	DURA-90	V_{Rd} = 1278 kN	18%	0.0096	> 0.5
☐	Panier	1	DURA-110	V_{Rd} = 1278 kN	25%	0.0096	> 0.5
☐	Tête	1	DURA 90/22-KC1.N13.U	V_{Rd} = 1162 kN	55%	0.0083	< 0.5
☐	Tête	1	DURA 90/23-GE2.H12.U	V_{Rd} = 1169 kN	51%	0.0084	< 0.5
☐	Tête/panier	1 4	DURA 6 DURA-7			0.0219	> 0.5
☐	Tête/panier	1	DURA 6			0.0217	> 0.5

Ψ_R	$V_{Rd,s} / V_d$
0.0096	> 0.5
0.0096	> 0.5
0.0096	> 0.5
0.0083	< 0.5
0.0084	< 0.5
0.0219	> 0.5
0.0217	> 0.5

Aschwanden

Nouveauté SIA 262:2013: exigences supplémentaires

Rotation de la dalle déterminante pour l'observation des critères de déformation



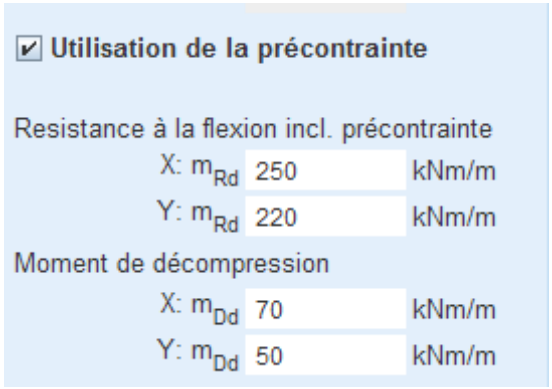
Aschwanden

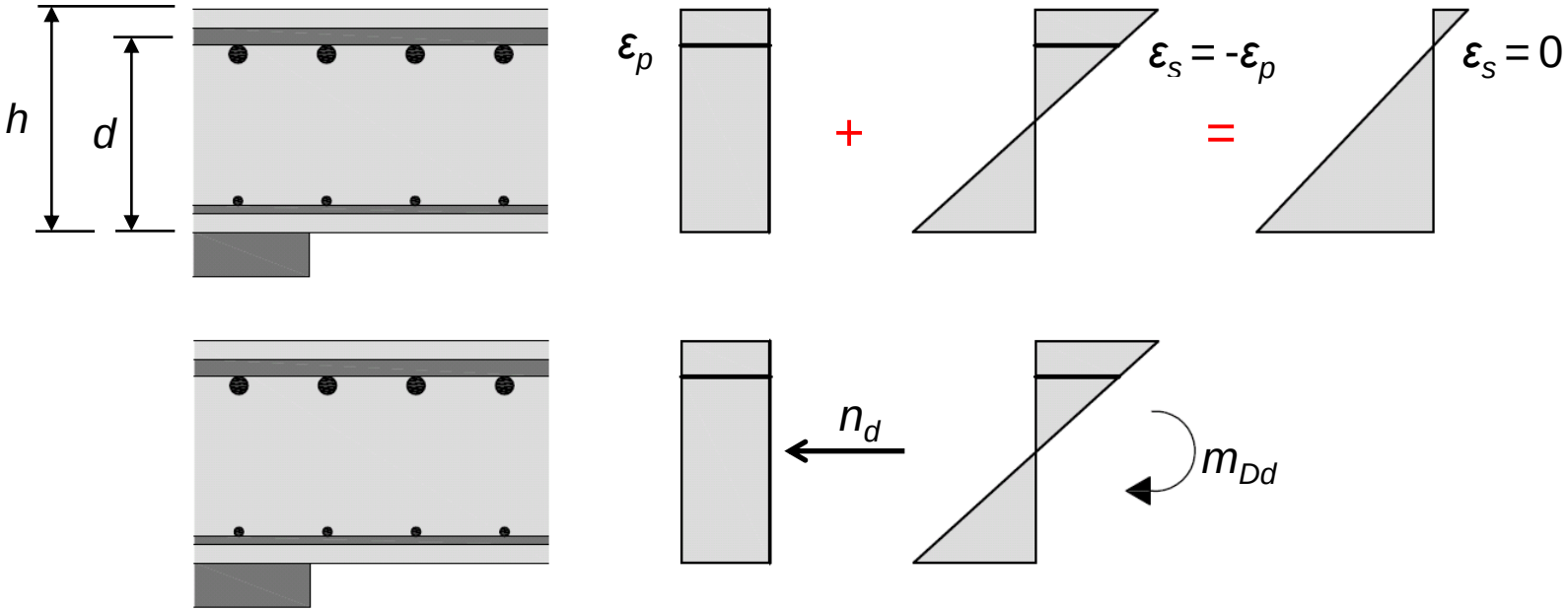
Nouveauté SIA 262:2013: précontrainte

Entrée précontrainte:

- résistance à la flexion
- moment de décompression

$$m_{Dd} = -n_d \cdot \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{3}\right)$$





Aschwanden

Nouveauté SIA 262:2013: précontrainte

Recommandation pour le dimensionnement avec précontrainte:

- **Utilisation du niveau d'approximation 3**

- **Prise en compte de la précontrainte au moyen des forces d'ancrage et de déviation:**
  - Les efforts intérieurs m_d, V_d et n_d sont déterminés en tenant compte des forces de la précontrainte (forces d'ancrage et de déviation).
  - La résistance à la flexion est déterminée au moyen de $A_s \cdot f_{sd}$ et $(A_p \cdot f_{pd} - P_d)$,
    la hauteur de la zone de compression au moyen de $A_s \cdot f_{sd}$, n_d et $(A_p \cdot f_{pd} - P_d)$.

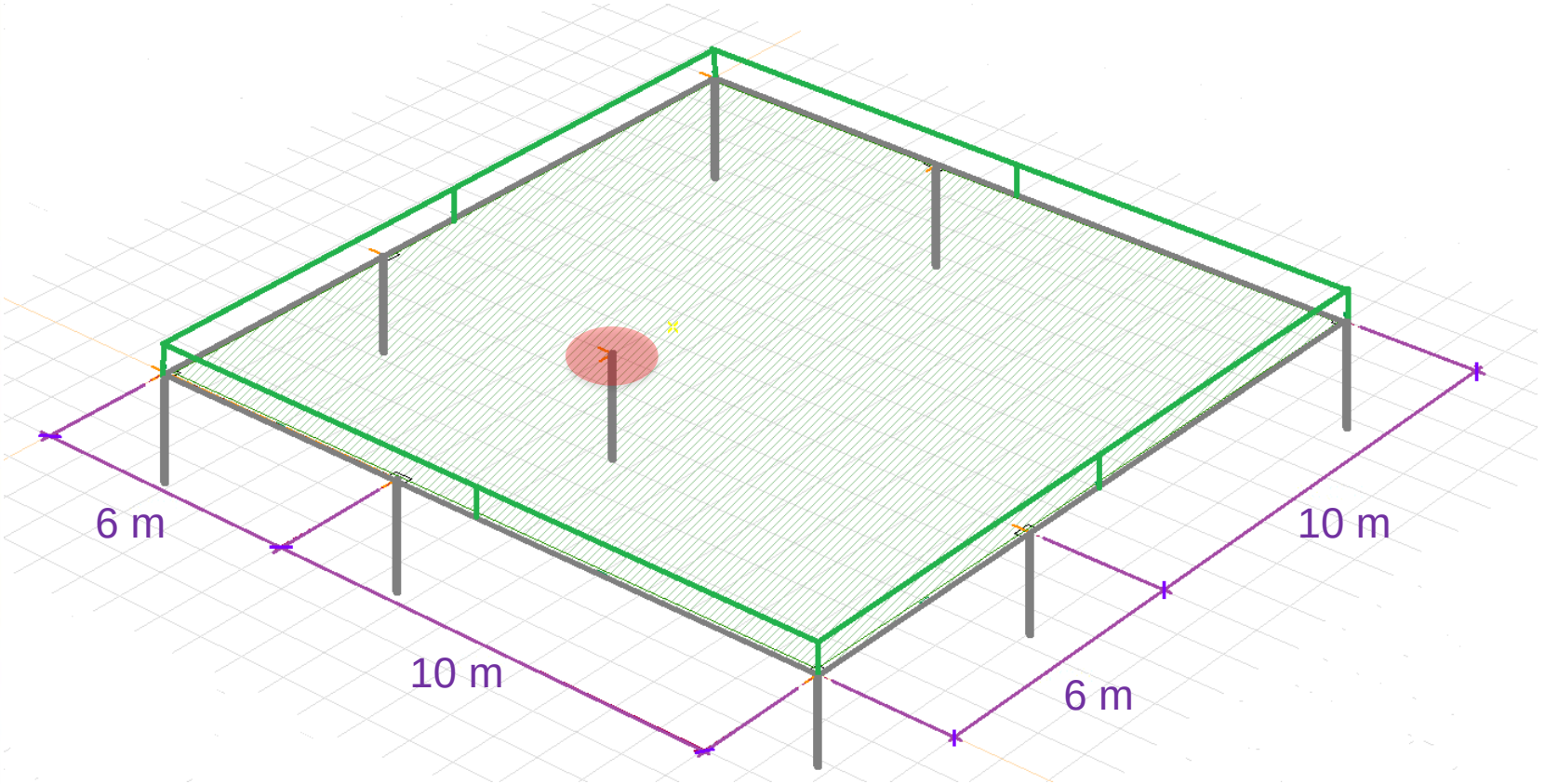
Influence de la modélisation

Influence de la modélisation de l’appui de colonne

- Cas A : appui ponctuel solidement encastré
- Cas B : appui ponctuel encastré en bas
- Cas C : appui ponctuel libre en bas
- Cas D : appui plan encastré en bas
- Cas E : appui plan libre en bas

Influence de la modélisation

Modèle de base: coupe de dalle

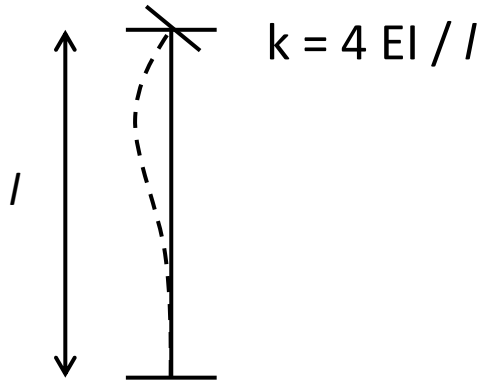


Epaisseur de dalle h = 350 mm; $(g + q)_d$ = 20 kN/m^2

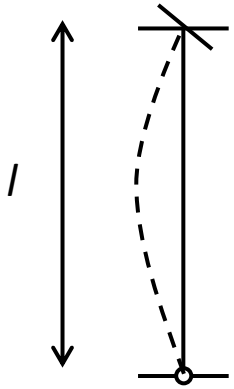
Influence de la modélisation

Estimation de la rigidité de la colonne

Colonne 400 x 400 mm^2; l = 3000 mm; E_c = 30'000 N/mm^2



k = 4 EI / l



k = 3 EI / l

$$EI = 30000 \cdot \frac{400^4}{12} = 6.4 \cdot 10^{13}\ \text{Nmm}^2$$

$$k = \frac{4EI}{l} = \frac{4 \cdot 6.4 \cdot 10^{13}}{3000} \cdot 10^{-6} = 85333\ \text{kNm}$$

$$k = \frac{3EI}{l} = \frac{3 \cdot 6.4 \cdot 10^{13}}{3000} \cdot 10^{-6} = 64000\ \text{kNm}$$

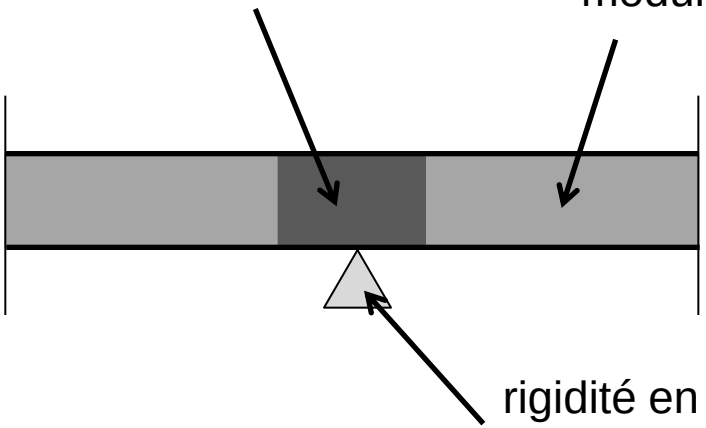
Aschwanden

Influence de la modélisation

Modélisation appui plan

élément de dalle rigide
dimensions colonne: 400 x 400 mm^2
module E = 10^7 N/mm^2

dalle normale
module E = $E_c \approx 30000$ N/mm^2



rigidité en rotation
k = 85333 kNm (encastré en bas)
k = 64000 kNm (libre en bas)

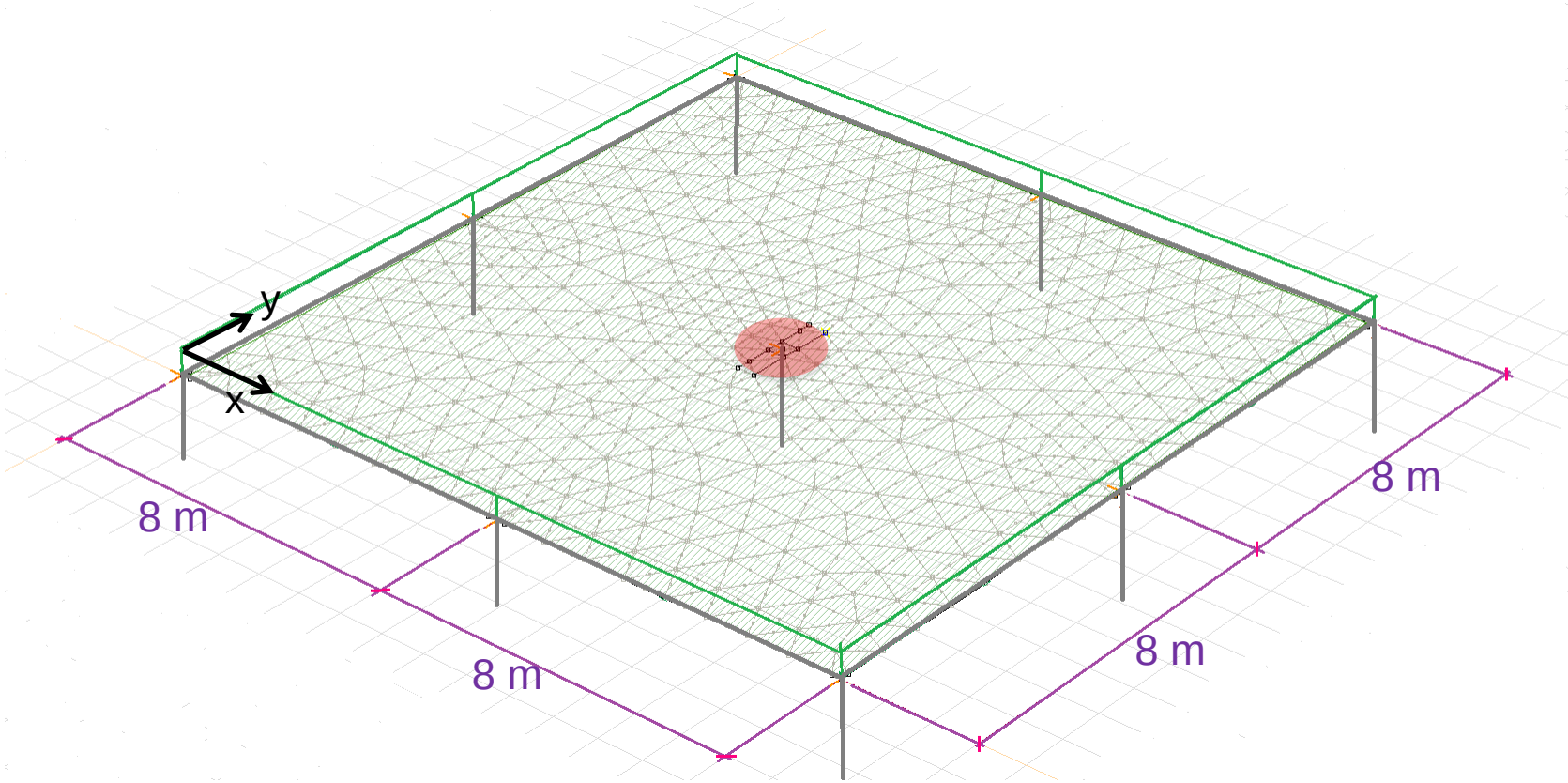
Influence de la modélisation

Cas	N_d	M_{dx}	M_{dy}	k_e
ponctuel (complètement encastré)	1392 kN	143 kNm	143 kNm	0.88
ponctuel (encastré en bas)	1413 kN	57 kNm	57 kNm	0.95
ponctuel (libre en bas)	1415 kN	47 kNm	47 kNm	0.96
plan (encastré en bas)	1417 kN	74 kNm	74 kNm	0.94
plan (libre en bas)	1422 kN	58 kNm	58 kNm	0.95

Cas	r_{sx1}	r_{sx2}	m_{sx1d}	m_{sx2d}
ponctuel (complètement encastré)	1.81 m	2.10 m	231 kN	215 kN
ponctuel (encastré en bas)	1.77 m	2.29 m	226 kN	221 kN
ponctuel (libre en bas)	1.77 m	2.26 m	227 kN	223 kN
plan (encastré en bas)	1.81 m	2.27 m	234 kN	214 kN
plan (libre en bas)	1.81 m	2.26 m	234 kN	217 kN

Influence de la modélisation

Influence de la grandeur de l'élément (maillage)
sur les paramètres d'entrée du niveau d'approximation III

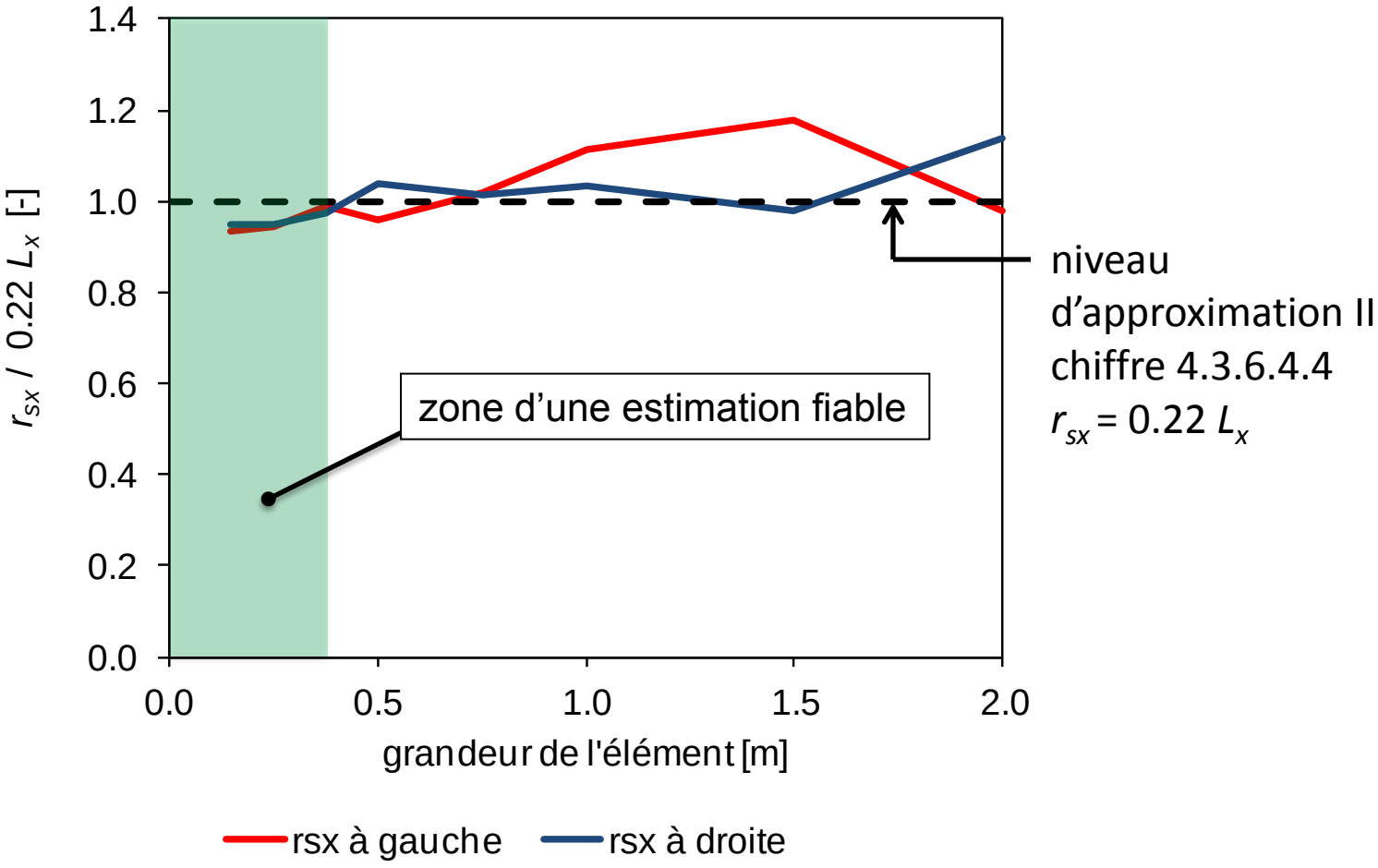


Aschwanden

Influence de la modélisation

Distance du point de moment nul r_s

(portée 8.0 m / génération automatique du maillage)

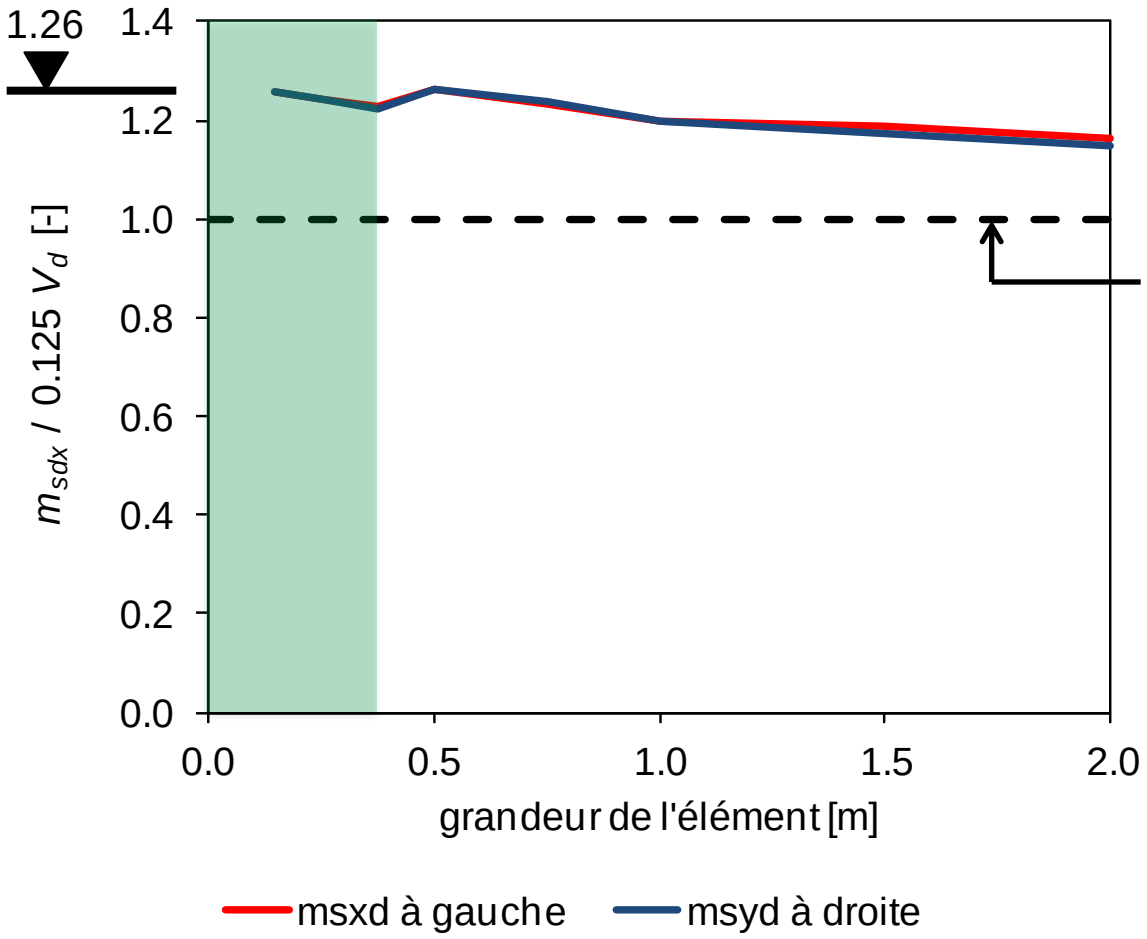


Aschwanden

Influence de la modélisation

Moments d'armature dans la bande d'appui m_{sd}

(dimensions colonne env. 5% de la portée)



$$\left(\frac{1.5}{1.2}\right)^{2/3} = 1.16$$

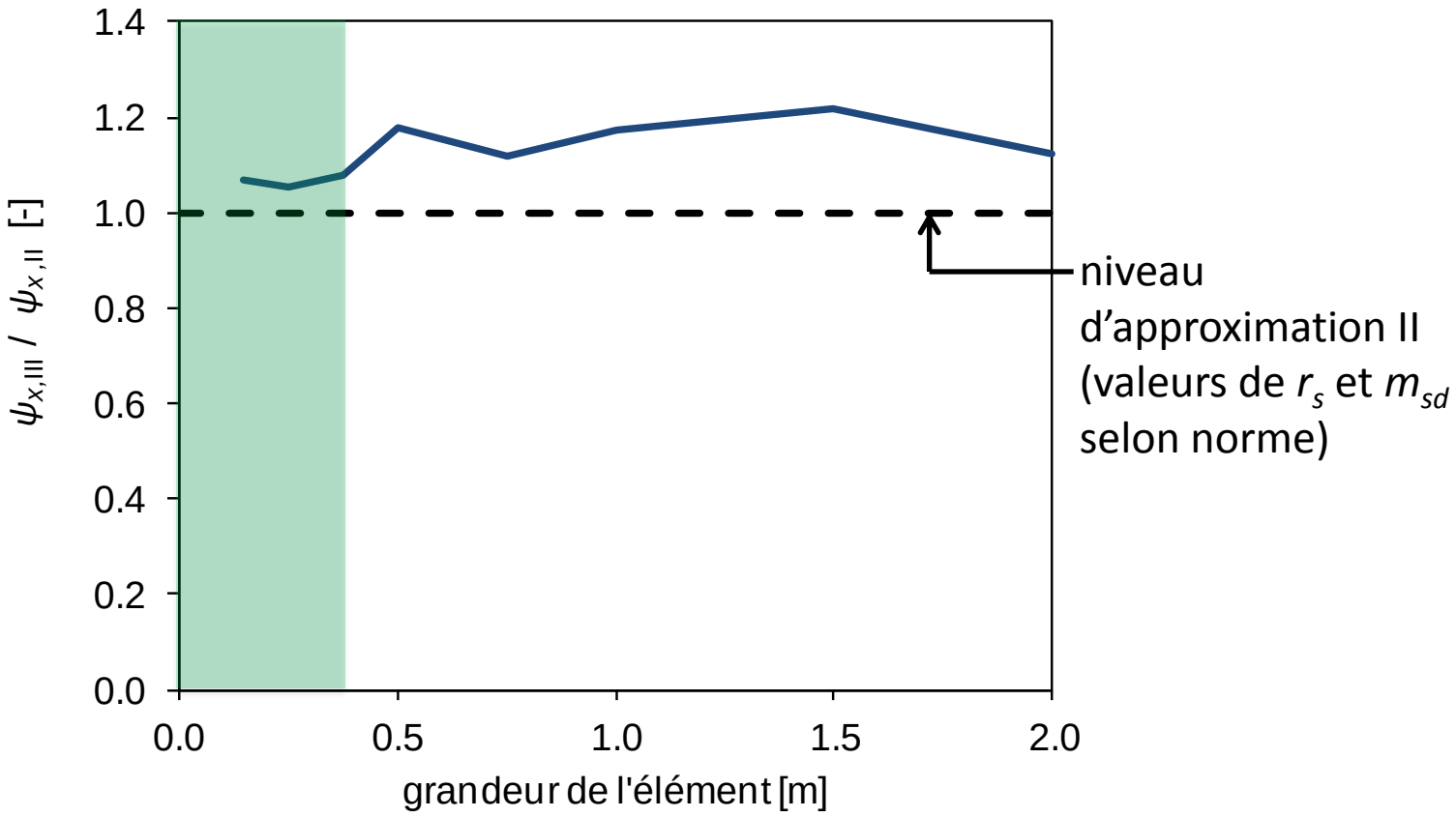
niveau d'approximation II chiffre 4.3.6.4.7

$$m_{sd} = V_d \cdot \left(\frac{1}{8} + \frac{|e_{u,i}|}{2 \cdot b_s}\right)$$

Aschwanden

Influence de la modélisation

Rotation déterminante ψ
(déterminée au moyen de r_s et m_{sd} résultant du calcul EF)

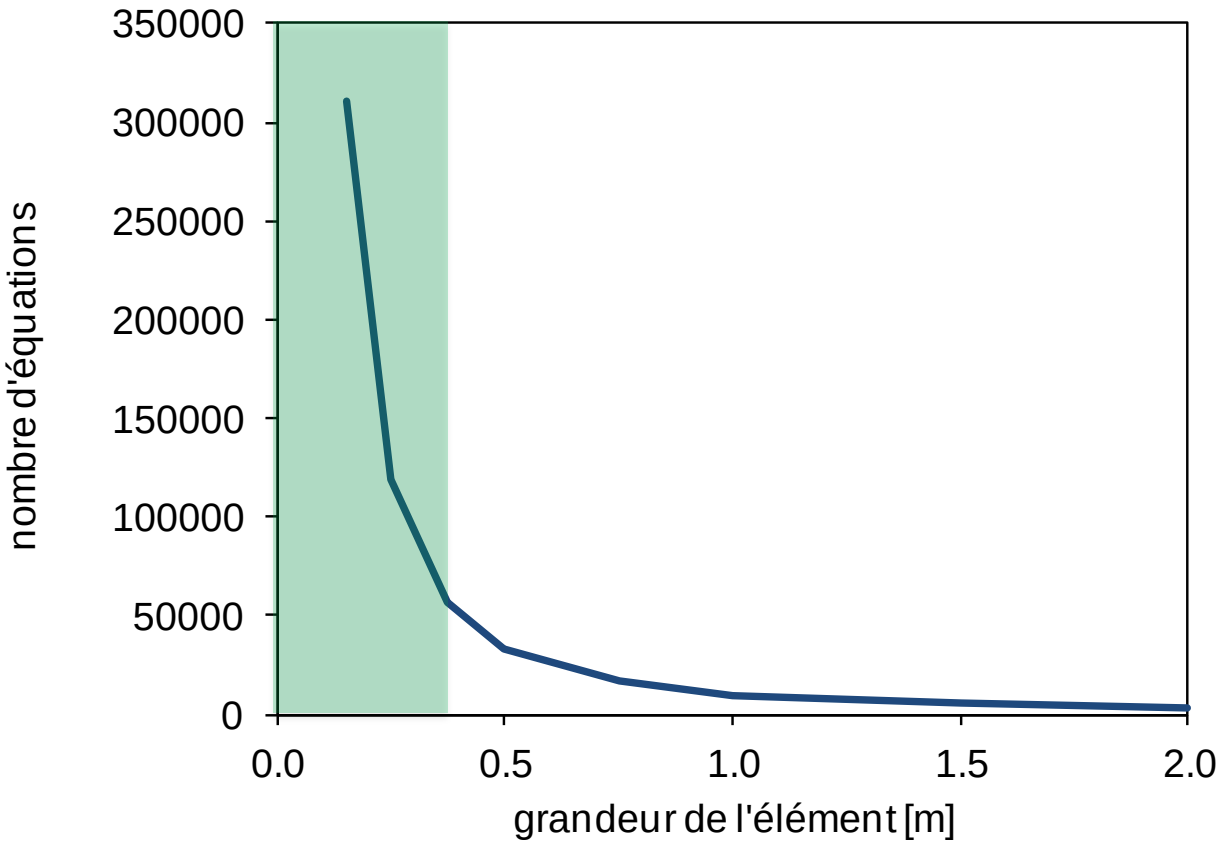


$\psi_{x,II}$: rotation calculée avec niveau d'approximation II
$\psi_{x,III}$: rotation calculée avec niveau d'approximation III

Aschwanden

Influence de la modélisation

Nombre d'équations à résoudre en fonction de la grandeur d'élément



Aschwanden

Essais / Expertise

Aschwanden

Essais / Expertise

Vue d'ensemble des essais avec paniers et éléments S

	h [mm]	c [mm]	d_m [mm]	ρ_L [%]	ρ_w [%]	$ø_{SE}$ [mm]	$V_{R,test}$ [kN]
PA1	250	260	206	0.75%	0.79%		1066
PA2	250	260	193	1.63%	0.79%		1473
PA3	250	260	204	0.74%	0.50%		972
PA4	250	260	196	1.55%	0.50%		1266
PA5	250	260	205	0.74%	1.01%		1000
PA6	250	260	204	1.49%	1.01%		1345
PA7	320	340	275	0.77%	0.57%		1846
PA8	320	340	266	1.52%	0.57%		2741
PA9	250	260	198	0.77%	0.50%	12	1112
PA10	250	260	198	1.53%	0.50%	16	1652
PA11	320	340	276	1.46%	0.57%	20	3034
PA12	250	260	201	0.76%	-	12	949
PA13	250	260	196	1.55%	-	16	1140
PA14	320	340	256	1.58%	-	20	2110
PA15	250	260	182	1.67%	1.15%		1134
PA22	280	300	242	1.05%	0.79%		1516
PA23	280	300	240	1.31%	0.79%		1604

Essais / Expertise

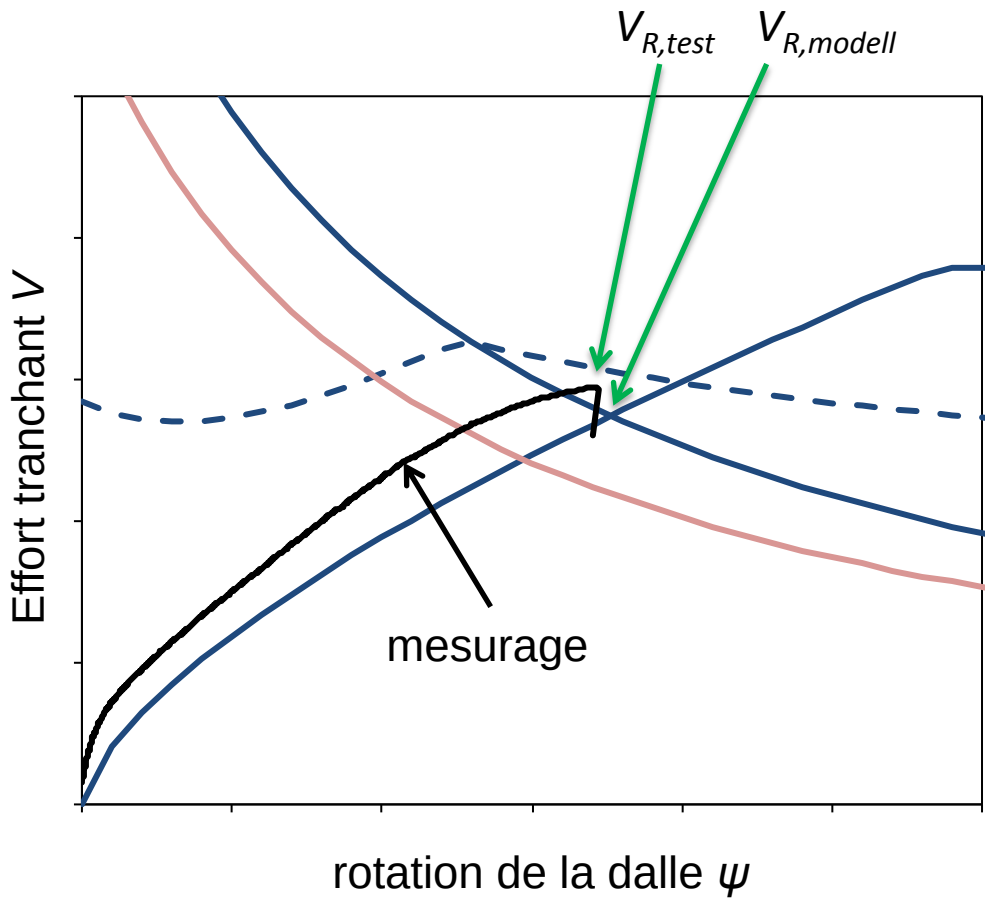
Vue d'ensemble des essais avec tête et combinaison tête-panier

	h [mm]	c [mm]	d_m [mm]	ρ_L [%]	ρ_w [%]	a_p [mm]	$V_{R,test}$ [kN]
PA16	250	260	208	1.50%	-	960/960/140	1511
PA17	250	260	208	1.50%	0.79%	600/600/140	2147
PA18	250	260	207	0.71%	-	820/820/135	1115
PA19	250	260	219	1.50%	-	1080/1080/190	2103
PA20	250	260	205	1.50%	0.79%	730/730/180	2390
PA21	250	340	218	1.50%	-	1400/1400/180	2498
PA24	280	300	242	1.30%	-	600/600/180	2039

h : épaisseur de dalle
c : longueur de côté/diamètre colonne
d_m : hauteur statique moyenne
ρ_L : taux d'armature de flexion
ρ_w : taux d'armature de poinçonnement
$ø_{SE}$: diamètre de l'élément S
a_p : longueur de côté tête
$V_{R,test}$: résistance à la rupture mesurée

Essais / Expertise

Essai 2 (paniers)



courbe charge-rotation

rupture dans l'armature de poinçonnement

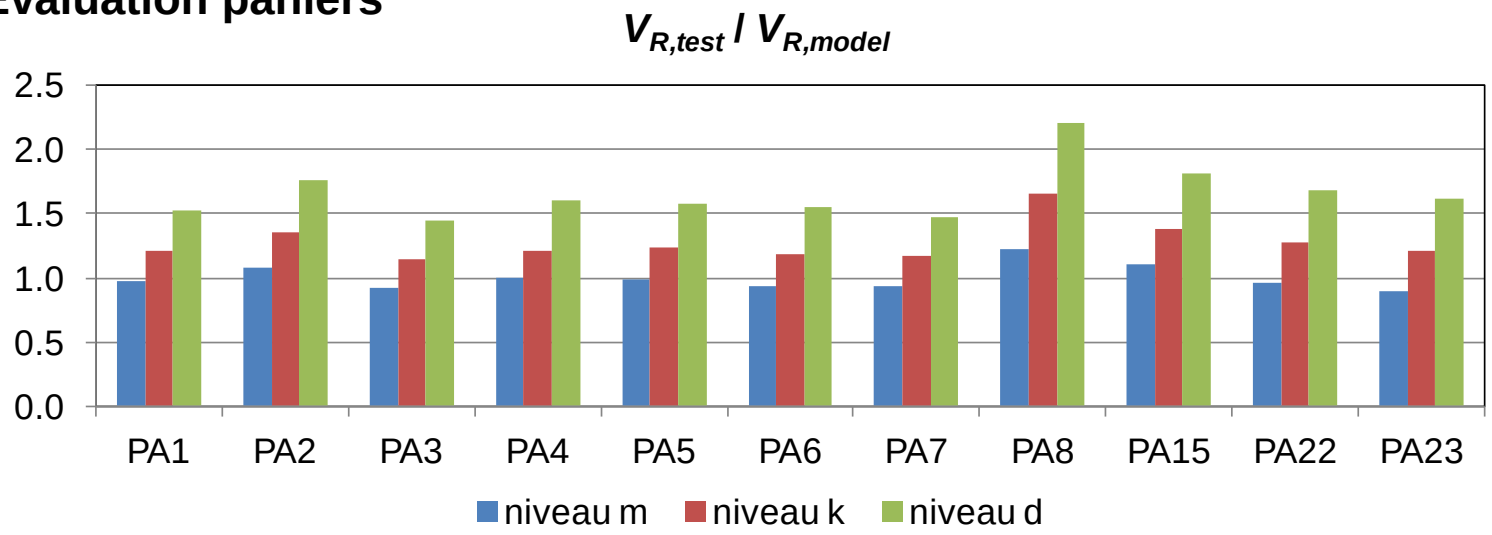
k_{sys} = 2.5 (expertise)

k_{sys} = 2.0 (SIA 262:2013)

Aschwanden

Essais / Expertise

Evaluation paniers

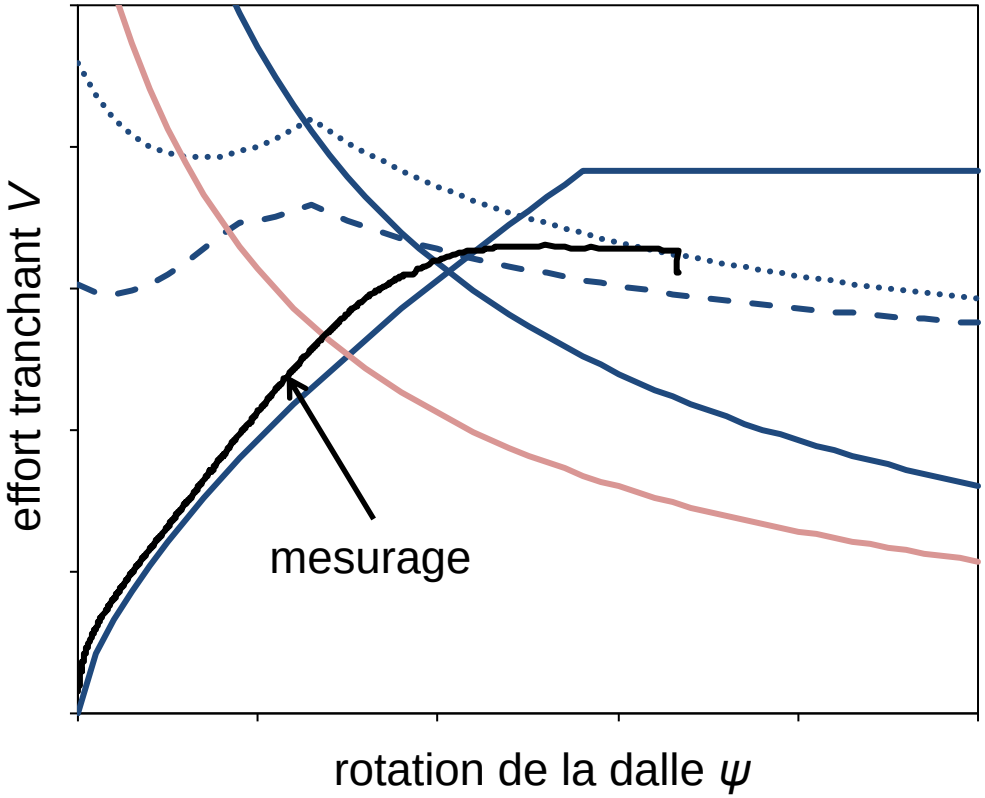


	Valeur moyenne	Caractéristique	Design
Valeur moyenne	**0.99**	1.26	**1.64**
Coefficient de variation	7.5%	10.1%	11.5%
Fractile 5%	-	**1.05**	1.33
Valeur minimale	0.90	1.13	**1.45**

Aschwanden

Essais / Expertise

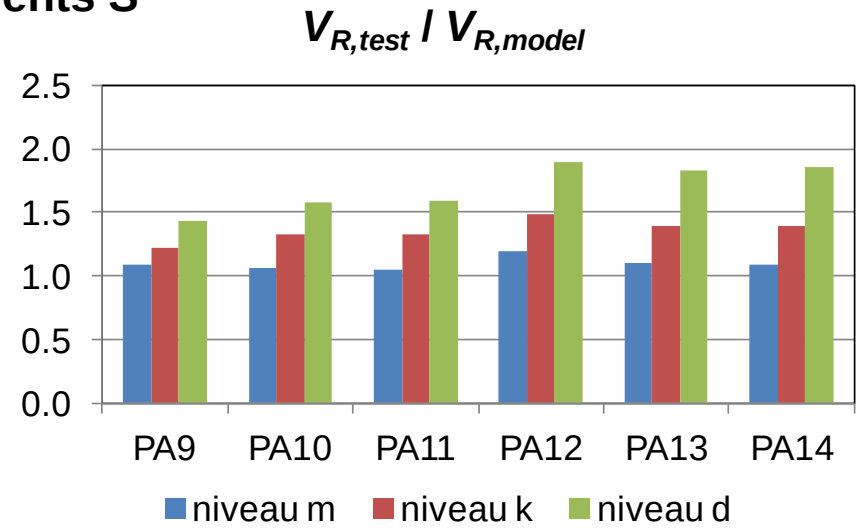
Essai 10 (élément S & paniers)



Aschwanden

Essais / Expertise

Evaluation éléments S

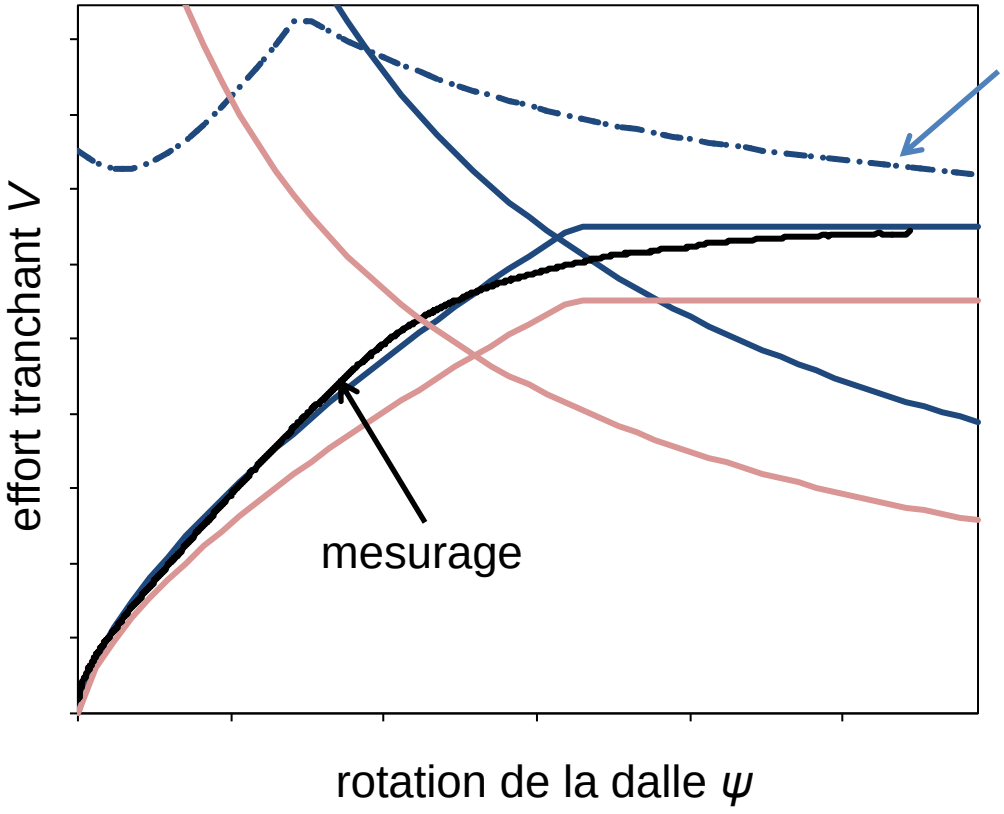


	Valeur moyenne	Caractéristique	Design
Valeur moyenne	**1.10**	1.36	**1.70**
Coefficient de variation	4.5%	6.4%	11.2%
Fractile 5%	-	**1.21**	1.38
Valeur minimale	1.05	1.23	**1.43**

Aschwanden

Essais / Expertise

Essai 20 (tête en acier & paniers)



rupture dans l'armature de poinçonnement

courbe charge-rotation (expertise)

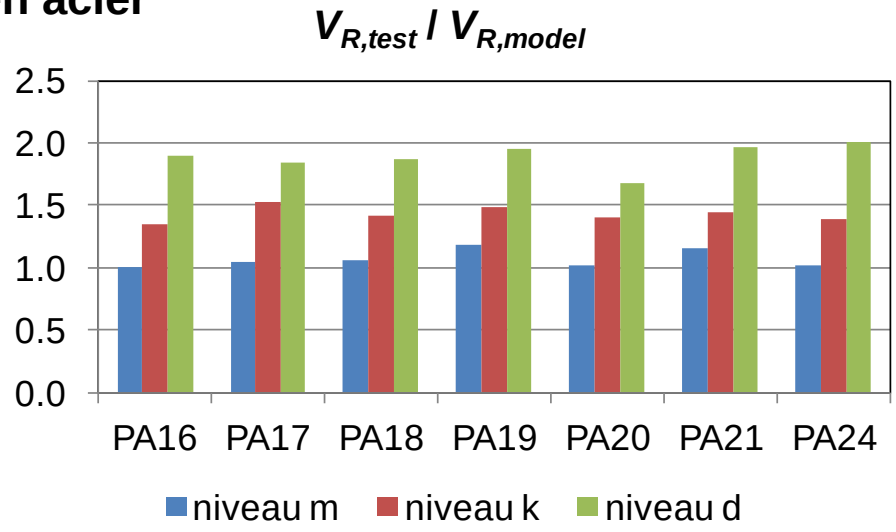
courbe charge-rotation (SIA 262:2013)

k_{sys} = 2.5 (expertise)

k_{sys} = 2.0 (SIA 262:2013)

Essais / Expertise

Evaluation têtes en acier

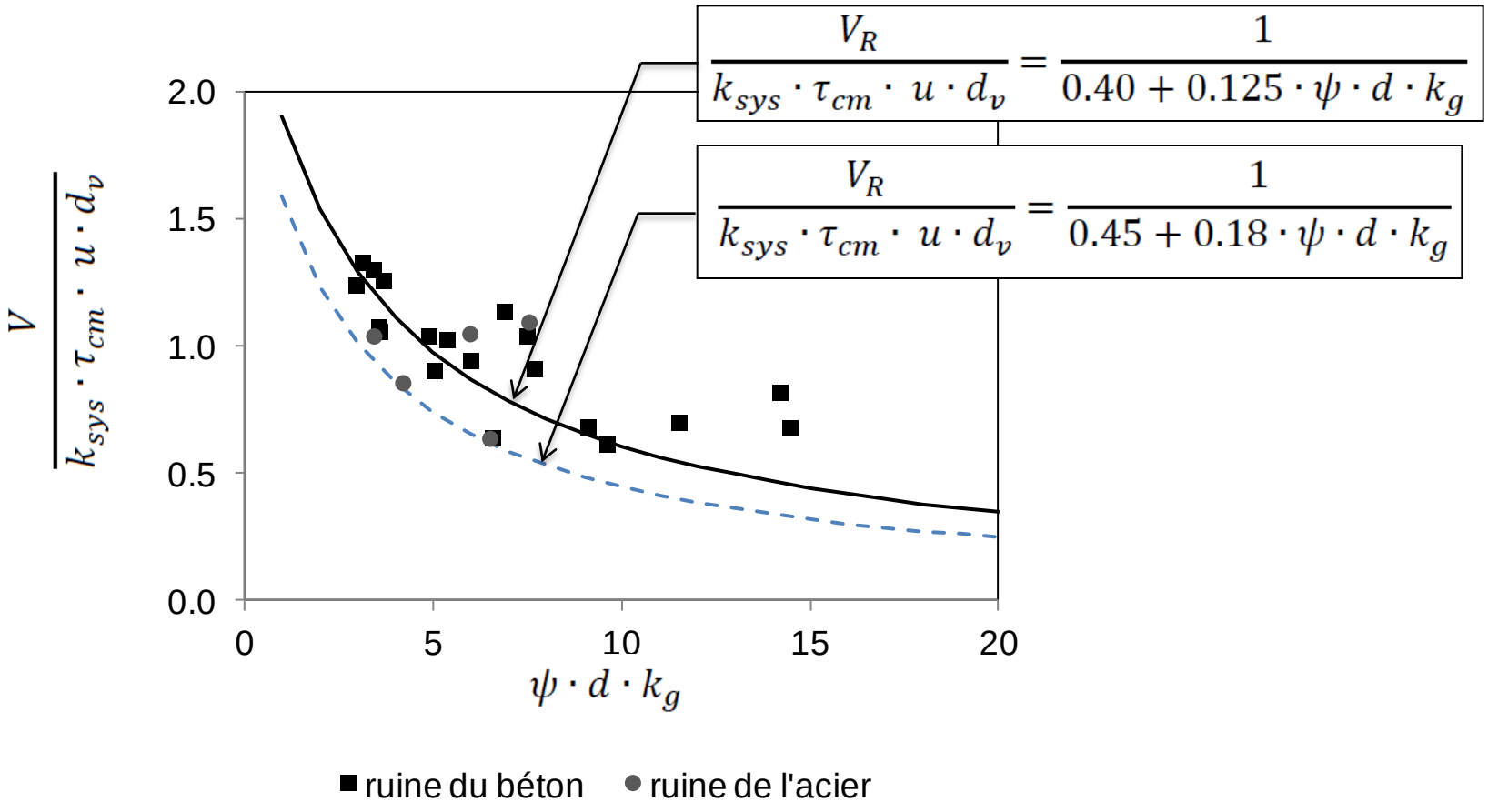


	Valeur moyenne	Caractéristique	Design
Valeur moyenne	**1.07**	1.43	**1.89**
Coefficient de variation	6.5 %	4.0%	5.7%
Fractile 5%	-	**1.33**	1.71
Valeur minimale	1.01	1.35	**1.68**

Aschwanden

Essais / Expertise

Comparaison des résultats des essais avec le critère de rupture



Aschwanden

Essais / Expertise

Analyse sur la base de nombreux essais

- Le niveau de sécurité du concept de dimensionnement est comparable à celui de SIA 262:2013 (dalles sans armature de poinçonnement).

- Le concept de dimensionnement est compatible avec le format de vérification de la norme SIA 262:2013 pour dalles avec armature de poinçonnement.

- Les dérogations décrites dans l‘expertise par rapport à la norme SIA 262:2013 sont justifiées si les principes de pose fondamentaux de l‘armature de poinçonnement DURA sont respectés.

Essais / Expertise

Remarques concernant la valeur k_{sys}

- La valeur k_{sys} n'étant pas un paramètre physique elle peut être influencée positivement ou négativement par le choix des paramètres d'essai adéquats.
- C'est pourquoi pour Aschwanden on a renoncé à fixer k_{sys} aussi haut que possible, afin d'offrir une sécurité suffisante pour les cas qui ne correspondent pas exactement aux éprouvettes. L'expertise DURA est ainsi également utilisable pour des cas réels.
- Cette sécurité ne peut être obtenue que par un nombre suffisant d'essais à échelle réelle. Pour Aschwanden, 24 essais à échelle réelle ont été effectués avec armature de poinçonnement ou têtes en acier, en variant divers paramètres tels que épaisseur de dalle, taux d'armature de flexion, forme de colonne, taux d'armature de poinçonnement, dimensions de dalle et introduction de la charge.

Avantage client du système DURA

- Solutions optimales et économiques grâce à la grande flexibilité du système
- Dimensionnement conforme aux normes selon SIA 262 ou selon expertise de Prof. Dr A. Kenel / Dr S. Lips
- Testé et évalué scientifiquement en 24 essais actuels
- Documentation claire et transparente sur Internet et dans les classeurs
- Logiciel de planification performant, unique en son genre, pour les trois niveaus d'approximation
- App Aschwanden pour prédimensionnement avec niveau d'approximation I
- Combiné avec l'armature, le système DURA forme un ensemble stable lors de la mise en place – et donc un système anti-poinçonnement convenant au chantier
- Exécutions spéciales au besoin
- Pas de prescriptions de pose plus sévères
- Grand gain de temps lors du contrôle des travaux