MOB
COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER
MONTREUX OBERLAND BERNOIS

Renouvellement de la gare de Rougemont **Pièce N°2.24**

MZ 12.57 **Avant-projet**

Passage inférieur

Note de calcul prédimensionnement

Lausanne, le 29. Janvier 2021

COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER
MONTREUX OBERLAND BERNOIS SA
Rue de la Gare 22 – CP 1426
1820 Montreux 1

MOB
COMPAGNIE DU CHEMIN DE FER
MONTREUX OBERLAND BERNOIS

Impressum			
Auteur			MONOD-PIGUET + ASSOCIES IC S.A.
Diffusion			
			Compagnie du chemin de fer Montreux Oberland Bernois
Interne			
N° interne			20042 - 2.24_PI - Note de calcul de predimentionnement.docx
Révisions			
Version	**Date**	**Auteur**	**Concerne**
-	25.02.2021	SGR	Version initiale V0

Table des matières

1 Méthode de calcul 4
1.1 Matériaux 4
2 Coupe dans le PI ferroviaire 4
2.1 Système statique 4
2.1.1 Charges ferroviaires 5
2.1.2 Charges sur le cadre (largeur 1.00m) 5
2.2 Resistance structurale 6
2.2.1 Armature minimale de flexion 6
2.2.2 Résistance ultimes à la flexion 7
2.2.3 Résistance ultimes à l'effort tranchant 7
2.3 Sécurité structurale 8
2.3.1 Etat limite ultime 8
2.4 Vérification pour l'état limite type 4 (fatigue) 11
2.4.1 Efforts pour la limite type 4 11
2.4.2 Charges sur le cadre (largeur 1.00m) 11
2.4.3 Moments 11
2.5 Vérification pour l'état limite de service 15
2.6 Vérification de la fissuration 15

Annexes

1 Méthode de calcul

1.1 Matériaux

Béton C30/37 :

f_{cd}	=	20	N/mm2
τ_{cd}	=	1.1	N/mm2
E_{cm}	=	30000	N/mm2

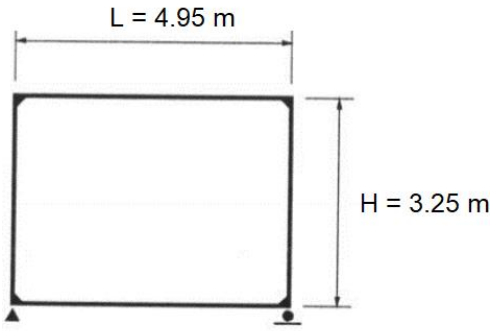
Acier B500B

f_{sd}	=	435	N/mm2	
$\Delta\sigma_{sd,fat}$	=	145	N/mm2	($\phi \leq 20$ mm)
		135	N/mm2	(Etriers $\phi \leq 16$ mm)
		120	N/mm2	($\phi > 20$ mm)
E_s	=	210000	N/mm2	

2 Coupe dans le PI ferroviaire

2.1 Système statique

Le système modélisé est un cadre fermé appuyé sur un appui fixe et un appui rotulé.



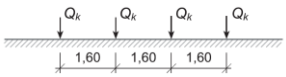
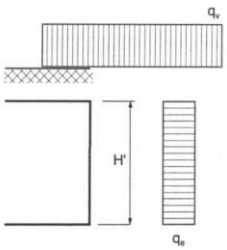
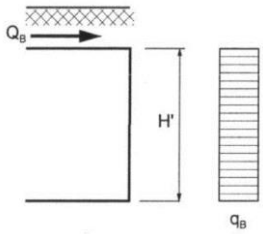
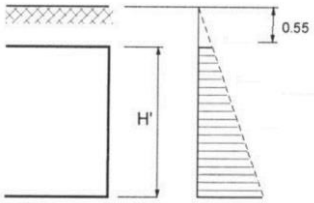
Ep. Dalle	hd	0.45	m
Ep. Murs	hm	0.45	m
Ep. radier	hr	0.45	m
Ep. milieu dalle	hd'	0.50	m
Ep. Ballast	e	0.55	m

Le passage inférieur est modélisé comme une section tubulaire rectangulaire. Les angles du cadre sont considérés comme parfaitement encastrés.

Le radier du PI repose sur des appuis ressorts linéaires. Le module de réaction vertical est défini selon l'abaque de Chardeisson. Ainsi, pour des sols avec une cohésion de 3 kN/m^2 et un angle de frottement de 35°, le coefficient admis est Ks = 40 MN/m^3.

Les valeurs obtenues ont été contrôlés avec des valeurs de Ks deux fois plus élevées et deux fois plus faible. Les influences sont négligeables.

2.1.1 Charges ferroviaires

Modèle de charge : LM7	Dimensionnement/ calcul statique		Q_k = 4 x 200 kN $\phi = \frac{1.44}{\sqrt{L_\phi} - 0.2} + 0.82 \leq 1.67$
Poussées des terres dues aux charges ferroviaires LM7	Dimensionnement/ calcul statique		qe = Ko * qv Ko = 1-sin φ
Charges au freinage au démarrage LM6	On suppose que cette charge est accompagnée d'une butée uniformément répartie dont la résultante vaut la moitié de Qb		QA_{k6} = 295 kN QB_{k6} = 246 kN qb = QB / (2 x H)
Poussée des terres	Poussée des terres répartie triangulairement		

Modèle de charges ferroviaires

LM7	62.5	kN/m2

Coefficients

α	1.0
Φ	1.54
Poussée des terres au repos	0.55

2.1.2 Charges sur le cadre (largeur 1.00m)

Poids propre	12.5	kN/m	
Ch. permanente	12.3	kN/m	
Poussée des terres inf.	40	kN/m	
Poussée des terres sup.	5.0	kN/m	
Ch. Ferroviaire vert	96.3	kN/m	Charge multipliée par α et ϕ répartie sur 2 x l'écartement des rails
Ch. Ferroviaire horiz	34.4	kN/m	Charge multipliée par α et k_o
Ch. Freinage, accel.	63.5	kN	Charge multipliée par α Hypothèse : diffusée sur l'entraxe des voies = 4.65m

2.2 Resistance structurale

2.2.1 Armature minimale de flexion

Exigence de fissuration accrues pour le retrait

Géométrie:	Epaisseur **h** =	450	mm	
zoom	Largeur **b** =	1000	mm	
	Ø armature =	18	mm	
	Espacement **e** de l'armature =	150	mm	
Matériau:	Classe de **béton** :	C30/37		Pour les ouvrages d'art, il faut augmenter de 2 classes pour tenir compte de sur-résistances
	Classe d'acier d'**armature** :	B500B		
Sollicitation:	flexion (**F**) or traction (**T**):	T		
	Ouverture nominale de fissures w_{nom} =	0.5	mm	
	Niveau d'exigences :	Accrues		
	Coefficient k_1 =	0.82	voir 4.4.1.3 (99)	
A_s = 1 696 mm², ρ (%) = 0.428	$f_{ctd} = k_t * f_{ctm}$ =	2.37	N/mm², (98)	
	$T_{Rd,c}$ =	1065	kN	
	$\sigma_{\sigma,adm}$ selon fig. 31 resp. éq. 100a =	386	N/mm²	
	$A_{s,min}$ de fissuration (par côté) =	1382	mm²	$A_s / A_{s,min}$ ⇩
Solution 1: -> Ø 18 e 150	A_s =	1696	mm²	123%

Exigence de fissuration élevées pour la flexion

Géométrie:	Epaisseur **h** =	450	mm	
zoom	Largeur **b** =	1000	mm	
	Enrobage **c** =	45	mm	
	Ø armature =	18	mm	
	Espacement **e** de l'armature =	150	mm	
Matériau:	Classe de **béton** :	C30/37		Pour les ouvrages d'art, il faut augmenter de 2 classes pour tenir compte de sur-résistances
	Classe d'acier d'**armature** :	B500B		
Sollicitation:	flexion (**F**) or traction (**T**):	F		
	Ouverture nominale de fissures w_{nom} =	0.2	mm	
	Niveau d'exigences :	Élevées		
A_s = 1 696 mm², ρ (%) = 0.428	$f_{ctd} = k_t * f_{ctm}$ =	3.51	N/mm², (98)	
	$\sigma_{\sigma,adm}$ selon fig. 31 resp. éq. 100a =	244	N/mm²	
	max M_{serv} =	178	kNm/m	

2.2.2 Résistance ultime à la flexion

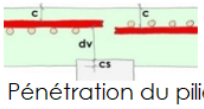
Zoom

Béton f_{cd} =	20.0	N/mm²	C30/37
Acier d'armature f_{sd} =	435	N/mm²	B500B
Epaisseur **h** =	**450**	mm (d=h-c-½Ø)	
Largeur **b** =	1 000	mm	Choc ? ηt ⇨ Standarc
Enrobage **c** =	45	mm	

Armature de flexion			première nappe				deuxième nappe		
Ø	e=	section	d_x	ρ_x	M_{xRd}	$0.85x_x$	d_y	ρ_y	M_{yRd}
mm	mm	mm²	mm	%	kNm/m	mm	mm	%	kNm/m
8	**150**	335	401	0.08%	57.9	9	393	0.09%	57
10	150	524	400	0.13%	89.7	13	390	0.13%	87
12	150	754	399	0.19%	**128.0**	19	387	0.19%	124
14	150	1 026	398	0.26%	**172.5**	26	384	0.27%	**166**
16	150	1 340	397	0.34%	**222.6**	34	381	0.35%	**213**
18	150	1 696	396	0.43%	**278**	43	378	0.45%	**265**
20	150	2 094	395	0.53%	**338**	54	375	0.56%	**320**
22	150	2 534	394	0.64%	**403**	65	372	0.68%	**379**
24.1	150	3 041	393	0.77%	**475**	78	369	0.82%	**443**
26	150	3 540	392	0.90%	**542**	91	366	0.97%	**502**
28.1	150	4 134	391	1.06%	**620**	106	363	1.14%	**569**
30	150	4 712	390	1.21%	**691**	121	360	1.31%	**630**
34	150	6 053	388	1.56%	**843**		354	1.71%	**754**
40	150	8 378	385	2.18%			345	2.43%	

2.2.3 Résistance ultime à l'effort tranchant

Géométrie :



Epaisseur **h** =	450	mm
Largeur **b** =	1 000	mm
Enrobage **c** =	45	mm
Pénétration du pilier ou du mur **cs** =	0	mm

Efforts :

v'_{zEd} =	**0**	kN/m
m'_{Ed} =	0	kNm/m
n'_{xEd} =		kN/m

Armatures :

Ø A_s =	18	mm
espacement s =	150	mm
Angle ϑ entre V_d et A_s =	0	° (0<ϑ<45)
E_s =	205 000	N/mm²
B500B — f_{sd} =	435	N/mm²

Béton :

C30/37 — D_{max} =	16	mm
choix η_t : Standard — f_{cd} =	20.0	N/mm²
Traction par NON		
τ_{cd} =	1.10	N/mm²
f_{ctm} =	2.9	N/mm²
Plastification? NON — τ_d =	0.0	N/mm²

Flexion:

A_s =	1 696	mm²/m
d_v =	396	mm
ρ =	0.4284%	
m_{Rd} =	278	kNm/m

Valeurs auxiliaires:

k_g =	1.50	
Plastification : ε_v =	0.0000	
k_d =	1.0000	

Résistance sans armature d'effort tranchant selon SIA262

v'_{zEd}/v'_{zRd} = 0.0% v'_{zRd} = **436** >0 kN/m

2.3 Sécurité structurale

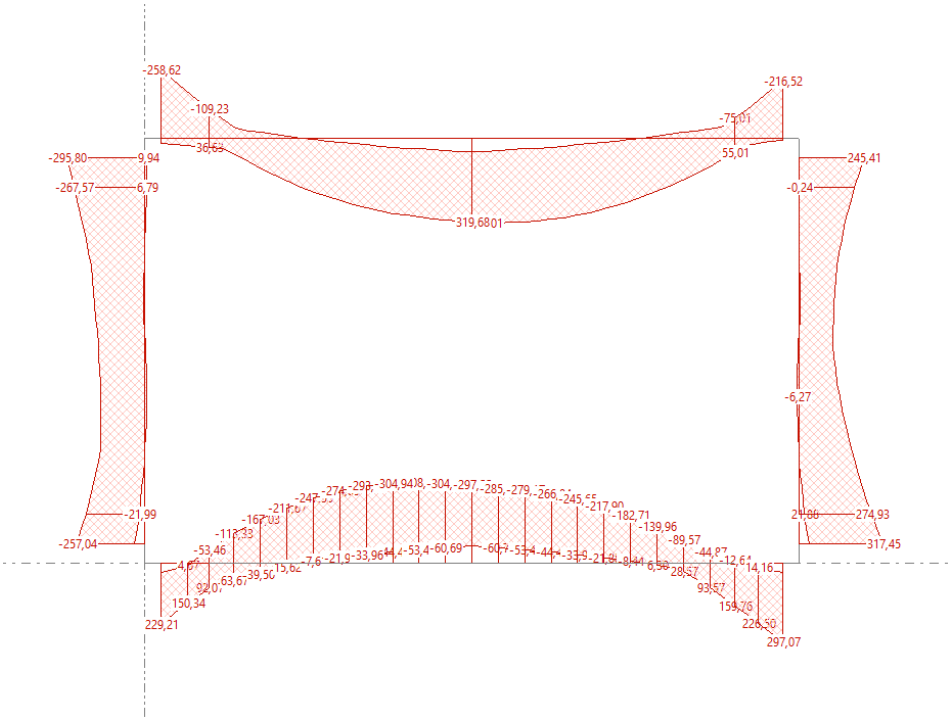
2.3.1 Etat limite ultime

Vérification pour l'état limite type 2 (ultime)

Actions	$\gamma_{Gsup}/\gamma_{Ginf}$
Poids propre	1.35/0.80
Ch. permanente	1.35/0.80
Poussée des terres inf.	1.35/0.70
Poussée des terres sup.	1.35/0.70
Ch. Ferroviaire vert.	1.45/1.00
Ch. Ferroviaire horiz	1.45/1.00
Ch. Freinage, accel.	1.45/1.00

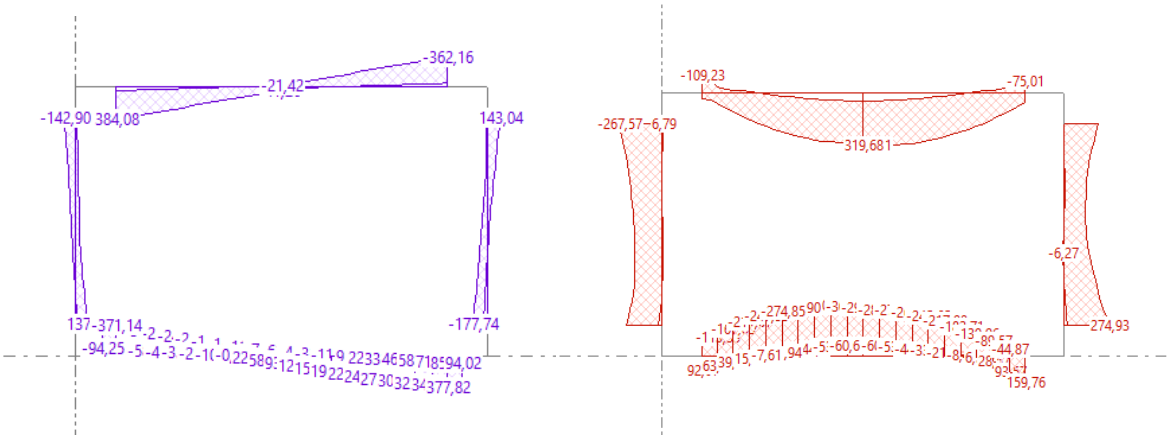
Efforts pour l'état limite type 2 (ultime)

Moments



	M_{Ed} [kNm/m]	As min
Dalle angle de cadre	259	1741
Dalle travée supérieur	52	316
Dalle travée inférieur	320	1946
Murs angle de cadre sup.	296	1990
Murs angle de cadre inf.	318	2138
Murs travée interne	7	47
Murs travée externe	140	941
Radier angle de cadre	298	2003
Radier travée supérieur	309	2077
Radier travée inférieur	67	450

Efforts tranchants



	V_{Ed} [kN/m]	M_{Ed} [kNm/m]
Dalle angle de cadre	385	110
Murs angle de cadre sup.	143	267
Murs angle de cadre inf.	177	275
Radier angle de cadre	378	160

Vérification du radier et de la dalle à l'effort tranchant avec plastification des armatures (cas le plus critique)

Radier

Géométrie :	Epaisseur **h** =	450	mm
	Largeur **b** =	1 000	mm
	Enrobage **c** =	45	mm
Pénétration du pilier ou du mur **cs** =		0	mm
Efforts :	V'_{zEd} =	**378**	kN/m
	m'_{Ed} =	160	kNm/m
	n'_{xEd} =		kN/m
Armatures :	Ø A_s =	30	mm
	espacement s =	150	mm
	Angle ϑ entre V_d et A_s =	0	° (0<ϑ<45)
	E_s =	205 000	N/mm²
B500B	f_{sd} =	435	N/mm²
Béton : C30/37	D_{max} =	16	mm
choix η_f : Standard	f_{cd} =	20.0	N/mm²
Traction par NON			
	τ_{cd} =	1.10	N/mm²
	f_{ctm} =	2.9	N/mm²
Plastification? OUI	τ_d =	1.2	N/mm²
Flexion:	A_s =	4 712	mm²/m
	d_v =	390	mm
	ρ =	1.2083%	
	m_{Rd} =	694	kNm/m
Valeurs auxiliaires:	k_g =	1.50	
Plastification :	ε_v =	0.0032	
	k_d =	0.3495	

Résistance sans armature d'effort tranchant selon SIA262 (2

V'_{zEd}/V'_{zRd} = **252.1%** V'_{zRd} = **150** >378 kN/m

Murs angle de cadre inf.

Géométrie :	Epaisseur **h** =	450	mm
	Largeur **b** =	1 000	mm
	Enrobage **c** =	45	mm
Pénétration du pilier ou du mur **cs** =		0	mm
Efforts :	V'_{zEd} =	**177**	kN/m
	m'_{Ed} =	275	kNm/m
	n'_{xEd} =		kN/m
Armatures :	Ø A_s =	30	mm
	espacement s =	150	mm
	Angle ϑ entre V_d et A_s =	0	° (0<ϑ<45)
	E_s =	205 000	N/mm²
B500B	f_{sd} =	435	N/mm²
Béton : C30/37	D_{max} =	16	mm
choix η_f : Standard	f_{cd} =	20.0	N/mm²
Traction par NON			
	τ_{cd} =	1.10	N/mm²
	f_{ctm} =	2.9	N/mm²
Plastification? OUI	τ_d =	0.5	N/mm²
Flexion:	A_s =	4 712	mm²/m
	d_v =	390	mm
	ρ =	1.2083%	
	m_{Rd} =	694	kNm/m
Valeurs auxiliaires:	k_g =	1.50	
Plastification :	ε_v =	0.0032	
	k_d =	0.3495	

Résistance sans armature d'effort tranchant selon SIA262 (2(

V'_{zEd}/V'_{zRd} = **118.0%** V'_{zRd} = **150** >177 kN/m

Dalle			
Géométrie :	Epaisseur **h** =	450	mm
	Largeur **b** =	1 000	mm
	Enrobage **c** =	45	mm
	Pénétration du pilier ou du mur **cs** =	0	mm
Efforts :	V'_{zEd} =	385	kN/m
	m'_{Ed} =	110	kNm/m
	n'_{xEd} =		kN/m
Armatures :	Ø A_s =	30	mm
	espacement s =	150	mm
	Angle ϑ entre V_d et A_s =	0	° (0<ϑ<45)
	E_s =	205 000	N/mm²
B500B	f_{sd} =	435	N/mm²
Béton : C30/37	D_{max} =	16	mm
choix η_f : Standard	f_{cd} =	20.0	N/mm²
Traction par NON			
	τ_{cd} =	1.10	N/mm²
	f_{ctm} =	2.9	N/mm²
Plastification? OUI	τ_d =	1.2	N/mm²
Flexion:	A_s =	4 712	mm²/m
	d_v =	390	mm
	ρ =	1.2083%	
	m_{Rd} =	694	kNm/m
Valeurs auxiliaires:	k_g =	1.50	
Plastification :	ε_v =	0.0032	
	k_d =	0.3495	
Résistance sans armature d'effort tranchant selon SIA262 (2			
V'_{zEd}/V'_{zRd} = 256.8%	V'_{zRd} =	150	>385 kN/m

Murs angle de cadre sup			
Géométrie :	Epaisseur **h** =	450	mm
	Largeur **b** =	1 000	mm
	Enrobage **c** =	45	mm
	Pénétration du pilier ou du mur **cs** =	0	mm
Efforts :	V'_{zEd} =	143	kN/m
	m'_{Ed} =	267	kNm/m
	n'_{xEd} =		kN/m
Armatures :	Ø A_s =	18	mm
	espacement s =	150	mm
	Angle ϑ entre V_d et A_s =	0	° (0<ϑ<45)
	E_s =	205 000	N/mm²
B500B	f_{sd} =	435	N/mm²
Béton : C30/37	D_{max} =	16	mm
choix η_f : Standard	f_{cd} =	20.0	N/mm²
Traction par NON			
	τ_{cd} =	1.10	N/mm²
	f_{ctm} =	2.9	N/mm²
Plastification? OUI	τ_d =	0.4	N/mm²
Flexion:	A_s =	1 696	mm²/m
	d_v =	396	mm
	ρ =	0.4284%	
	m_{Rd} =	278	kNm/m
Valeurs auxiliaires:	k_g =	1.50	
Plastification :	ε_v =	0.0032	
	k_d =	0.3461	
Résistance sans armature d'effort tranchant selon SIA262 (2			
V'_{zEd}/V'_{zRd} = 94.9%	V'_{zRd} =	151	>143 kN/m

Il est nécessaire de prévoir de l'armature à l'effort tranchant dans le radier, les murs et la dalle.

Armatures d'effort tranchant

Radier			
Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	385	kN
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_w =		kN (compressio
Géométrie	Hauteur h =	450	mm Rectangle
	z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Øétrier) =		mm
	Largeur (si P_w avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =	1000	mm
	Enrobage des étriers =	40	mm Ø
	Inclinaison des bielles α =	35	° mm
	Inclinaison de la précontrainte β_P =		° 10
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm Incli
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc.
	Distance des étriers s :	150	mm
	Inclinaison des étriers β =	90	°
Matériaux	Classe de **béton** : C30/37		
	choix η_f : Standard		SIA262 4.2.1.3
	Classe d'acier d'**armature** : B500B		
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262.4.2.1.7
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	435	N/mm²
	Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =	11.0	N/mm²
	Inclinaison des contraintes principales α_σ =	45.0	°
	σ_{cd} =	2.3	N/mm²
	σ_{sd} =	214	N/mm²
	ρ_w =	0.87%	
	z donné resp. calculé :	360	mm
Vérification	$A_{sw,req}$ =	1722	mm²/m
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.49	<1: o.k.

Murs			
Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	177	kN
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_w =		kN (compressior
Géométrie	Hauteur h =	450	mm Rectangle
	z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Øétrier) =		mm
	Largeur (si P_w avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =	1000	mm
	Enrobage des étriers =	40	mm Ø
	Inclinaison des bielles α =	35	° mm
	Inclinaison de la précontrainte β_P =		° 10
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm Incli
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc.
	Distance des étriers s :	150	mm
	Inclinaison des étriers β =	90	°
Matériaux	Classe de **béton** : C30/37		
	choix η_f : Standard		SIA262 4.2.1.3
	Classe d'acier d'**armature** : B500B		
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262.4.2.1.7
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	435	N/mm²
	Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =	11.0	N/mm²
	Inclinaison des contraintes principales α_σ =	45.0	°
	σ_{cd} =	1.0	N/mm²
	σ_{sd} =	99	N/mm²
	ρ_w =	0.87%	
	z donné resp. calculé :	360	mm
Vérification	$A_{sw,req}$ =	792	mm²/m
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.23	<1: o.k.

Dalle			
Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	378	kN
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_w =		kN (compression
Géométrie	Hauteur h =	450	mm Rectangle
	z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Øétrier) =		mm
	Largeur (si P_w avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =	1000	mm
	Enrobage des étriers =	40	mm Ø
	Inclinaison des bielles α =	35	° mm
	Inclinaison de la précontrainte β_P =		° 10
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm Incli
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc.
	Distance des étriers s :	150	mm
	Inclinaison des étriers β =	90	°
Matériaux	Classe de **béton** : C30/37		
	choix η_f : Standard		SIA262 4.2.1.3
	Classe d'acier d'**armature** : B500B		
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262.4.2.1.7
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	435	N/mm²
	Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =	11.0	N/mm²
	Inclinaison des contraintes principales α_σ =	45.0	°
	σ_{cd} =	2.2	N/mm²
	σ_{sd} =	211	N/mm²
	ρ_w =	0.87%	
	z donné resp. calculé :	360	mm
Vérification	$A_{sw,req}$ =	1691	mm²/m
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.48	<1: o.k.

2.4 Vérification pour l'état limite type 4 (fatigue)

La vérification du béton armé à la fatigue se fait pour l'acier et pour le béton:

Pour l'acier: en limitant la différence entre les contraintes maximales et minimales sous la sollicitation de fatigue

Pour le béton : en limitant la contrainte de compression maximale sous l'effet des sollicitations permanentes et de fatigue.

Les facteurs de charge et le coefficient alpha sont pris égaux à 1.00. Les forces de freinage et de démarrage sont négligées (SIA 261 § 11.4.2.3).

2.4.1 Efforts pour la limite type 4

Modèle de charges ferroviaires

LM5	50	kN/m2

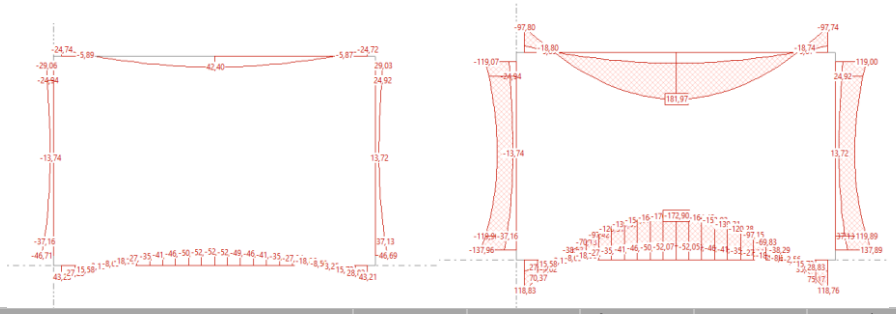
Coefficients

α	1.0
Φ	1.54
Poussée des terres au repos	0.55

2.4.2 Charges sur le cadre (largeur 1.00m)

Poids propre	12.5	kN/m	
Ch. permanente	12.3	kN/m	
Poussée des terres inf.	40	kN/m	
Poussée des terres sup.	5.0	kN/m	
Ch. Ferroviaire vert	77	kN/m	Charge multipliée par α et ϕ répartie sur 2 x l'écartement des rails
Ch. Ferroviaire horiz	27.5	kN/m	Charge multipliée par α et k_o
Ch. Freinage, accel.			Négligées

2.4.3 Moments



	$M_{Ed.max}$ [kNm/m]	$M_{Ed.min}$ [kNm/m]	ΔM_{Ed} [kNm/m]	As min	As min k ϕ
Dalle angle de cadre	98	25	73	2223	**3005**
Dalle travée	182	43	139	**3741**	
Murs angle de cadre sup.	120	29	91	2772	**3746**
Murs angle de cadre inf.	138	47	91	2772	**3746**
Murs travée	75	14	61	**1858**	
Radier angle de cadre	119	44	75	2284	**3087**
Radier travée	172	53	119	**3625**	

Le diam. de façonnage est choisi afin d'obtenir un facteur de réduction de contrainte k ϕ =0.74

Limite de fatigue

ø ≤ 20 mm $\Delta\sigma_{sd,D}$ = 0.8 x 145 = 116 N/mm2
ø > 20 mm $\Delta\sigma_{sd,D}$ = 0.8 x 120 = 96 N/mm2

Choix des armatures

	ELU type 2 As,nec [mm2]	ELU type 4 As,nec [mm2]	Choix armature
Dalle angle de cadre	Ø20 e=150	Ø26 e=150	Ø26 e=150
Dalle travée	Ø20 e=150	Ø30 e=150	Ø30 e=150
Murs angle de cadre sup.	Ø20 e=150	Ø30 e=150	Ø30 e=150
Murs angle de cadre inf.	Ø22 e=150	Ø30 e=150	Ø30 e=150
Murs travée	Ø18 e=150	Ø20 e=150	Ø20 e=150
Radier angle de cadre	Ø20 e=150	Ø26 e=150	Ø26 e=150
Radier travée	Ø22 e=150	Ø30 e=150	Ø30 e=150

Compression dans le béton

Efforts maximaux ΔM_{Edmax} = 139 kNm/m (dalle travée)

Contrainte dans le béton $\sigma_{cd,min}$ = 4.5 N/mm2

$\sigma_{cd,max}$ = 9.5 N/mm2

k_c = 0.8

$\sigma_{cd,max} = 0.5 \times k_c \times f_{cd} + 0.45 \times \sigma_{cd,min}$ = 10 N/mm2 > $\sigma_{Ed,max}$ = 9.5 N/mm2 OK

Efforts tranchants

	$V_{Ed.max}$ [kN/m]	$V_{Ed.min}$ [kN/m]	ΔV_{Ed} [kN/m]
Dalle angle de cadre	214	49	165
Murs angle de cadre sup.	80	18	62
Murs angle de cadre inf.	104	39	65
Radier angle de cadre	202	67	135

Vérification à la fatigue des étriers

Efforts
zoom
Effort tranchant V_{zEd} = **165** kN
Force normale N_{Ed} ou P_∞ = kN (compression)
Pieu ? : Non
η_l = 1.00

Géométrie
Hauteur h = **450** mm — Rectangle
z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Øétrier) = mm
Largeur (si P_∞ avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W = **1000** mm
Enrobage des étriers = 70 mm
Inclinaison des bielles α = 30 °
Inclinaison de la précontrainte β_P = °

Ø	nb.	section	s	$V_{Rd.s}$	$V_{Rd.c}$
mm	pc.	mm²/m	mm	kN	kN
10	6.67	3492	150	272	1 586

(44) (46)

Etriers
Diametre des étriers : **10** mm
Nombre de Ø par étrier : 6.67 pc.
Distance des étriers s : 150 mm
Inclinaison des étriers β = 90 °

Inclinaison des bielles:
30°<alpha<45° SIA 262, 4.3.3.3.2
SIA262, 5.5.2.2:
max s = 250 mm

Matériaux
Classe de **béton** : C30/37
choix η_f : Standard SIA262 4.2.1.3
Classe d'acier d'**armature** : B500fat
coefficient de réduction k_c = 0.55 SIA262,4.2.1.7

Calcul intermédiares
Etriers f_{sd} = 135 N/mm²
Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ = 11.0 N/mm²
Inclinaison des contraintes principales α_c = 45.0 °
σ_{cd} = 1.1 N/mm²
σ_{sd} = 82 N/mm²
ρ_W = 0.87%
z donné resp. calculé : 333 mm

Reprise de la traction F_{TVd} = 143 kN
req A_{sL} = 1058 mm²/m
ØA_{sL} = 20 mm
req nb ΔA_{sL} = 4
Choix de ΔA_{sL} = 4Ø20
min ρ_W = 0.10% éq (110)
ΔA_{sL} = / req A_{sL} = 118%

Vérification
$A_{sw,req}$ = **2119** mm²/m
V_{zEd} / V_{zRd} = 0.61 **<1: o.k.**

Vérification à la fatigue dans le béton

	$M_{Ed.max}$ [kNm/m]	$M_{Ed.min}$ [kNm/m]	ΔM_{Ed} [kNm/m]
Dalle angle de cadre	98	25	73
Murs angle de cadre sup.	120	29	91
Murs angle de cadre inf.	138	47	91
Radier angle de cadre	119	44	75

Efforts maximaux ΔM_{Edmax} = 91 kNm/m (murs angle de cadre)

Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	120	kN
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_∞ =		kN (compression)
Géométrie	Hauteur h =	450	mm Rectangle
	z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Ø étrier) =		mm
	Largeur (si P_∞ avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =	1000	mm
	Enrobage des étriers =	70	mm Ø nb.
	Inclinaison des bielles α =	30	° mm pc.
	Inclinaison de la précontrainte β_P =		° 10 6.67
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm Inclinaison d
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc. 3(
	Distance des étriers s :	150	mm
	Inclinaison des étriers β =	90	°
Matériaux	Classe de **béton** :	C30/37	
	choix η_f :	Standard	SIA262 4.2.1.3
	Classe d'acier d'**armature** :	B500fat	
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262,4.2.1.7
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	135	N/mm² Reprise
	Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =	11.0	N/mm²
	Inclinaison des contraintes principales α_σ =	45.0	°
	σ_{cd} =	0.8	N/mm²
	σ_{sd} =	60	N/mm²
	ρ_w =	0.87%	
	z donné resp. calculé :	333	mm
Vérification	$A_{sw,req}$ =	1541	mm²/m
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.44	<1: o.k.

Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	29	kN
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_∞ =		kN (compression)
Géométrie	Hauteur h =	450	mm Rectangle
	z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Ø étrier) =		mm
	Largeur (si P_∞ avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =	1000	mm
	Enrobage des étriers =	70	mm Ø nb. s
	Inclinaison des bielles α =	30	° mm pc. n
	Inclinaison de la précontrainte β_P =		° 10 6.67
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm Inclinaison de
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc. 30°
	Distance des étriers s :	150	mm
	Inclinaison des étriers β =	90	°
Matériaux	Classe de **béton** :	C30/37	
	choix η_f :	Standard	SIA262 4.2.1.3
	Classe d'acier d'**armature** :	B500fat	
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262,4.2.1.7
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	135	N/mm² Reprise d
	Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =	11.0	N/mm²
	Inclinaison des contraintes principales α_σ =	45.0	°
	σ_{cd} =	0.2	N/mm²
	σ_{sd} =	15	N/mm²
	ρ_w =	0.87%	
	z donné resp. calculé :	333	mm
Vérification	$A_{sw,req}$ =	400	mm²/m
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.11	<1: o.k.

Contrainte dans le béton $\sigma_{cd,min}$ = 0.2 N/mm2

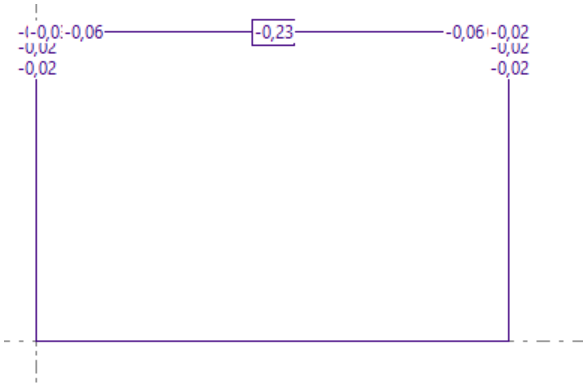
$\sigma_{cd,max}$ = 0.8 N/mm2

k_c = 0.55

$\sigma_{cd,max} = 0.5 \times k_c \times f_{cd} + 0.45 \times \sigma_{cd,min}$ = 5.6 N/mm2 > $\sigma_{Ed,max}$ = 0.8 N/mm2 OK

2.5 Vérification pour l'état limite de service

Cas de charge quasi permanent



W_{el} = 0.23 mm

Hypothèse : $W_{fiss} = 6 \times W_{el}$

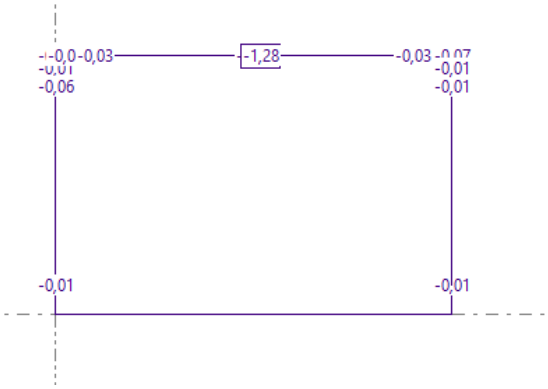
W_{fiss} = 1.38 mm < L/700 = 7 mm OK

Cas de charge fréquent

W_{el} = 1.28 mm

Géométrie: Dalle	épaisseur H =	450	mm	
	largeur B =	1000	mm	
	enrobage c =	45	mm	
Armatures:	As tendue Ø =	30	mm	
	As comprimée Ø =	18	mm	
	entraxe des barres =	150	mm	
Béton:	fluage φ =	2.0		
Hauteur statique:	d =	390	mm	Afficher SIA 262, page 69, § 4.4.3.2
Armature tendue:	A_s =	4712	mm²	
	ρ =	1.21	% d'armature dans la zone tendue	
Armature comprim	A_s' =	1696	mm²	
	ρ' =	0.43	% d'armature dans la zone comprimée	
Fluage:	(1+φ) =	3.00	selon 4.4.3.2.4	
Fissuration:	$(1-20\rho')/(10\rho^{0.7})$ =	2.01	selon 4.4.3.2.5, éq (102), 1er facteur	
	(0.75+0.1φ) =	0.95	selon 4.4.3.2.5, éq. (102), 2e facteur	
	$(H/d)^3$ =	1.54	selon 4.4.3.2.5, éq. (102), 3e facteur	
Déformations	w / w_c =	2.93		

L	w_c	$w_{c\varphi}$	w	w / L
		§4.4.3.2.4	§4.4.3.2.5	
mm	mm	éq(101) mm	éq(102) mm	
4 950	1.28	3.8	3.8	1 / 1319



W_{fiss} = 3.8 mm < L/(15v - 400) = 4.5 mm OK

2.6 Vérification de la fissuration

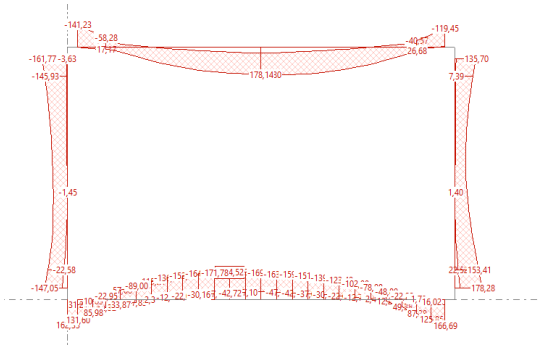
Le moment de fissuration minimal est calculé à la p. 4 pour l'armature minimale (Ø18 e = 150)

$M_{fiss\ Rd}$ = 178 kNm/m

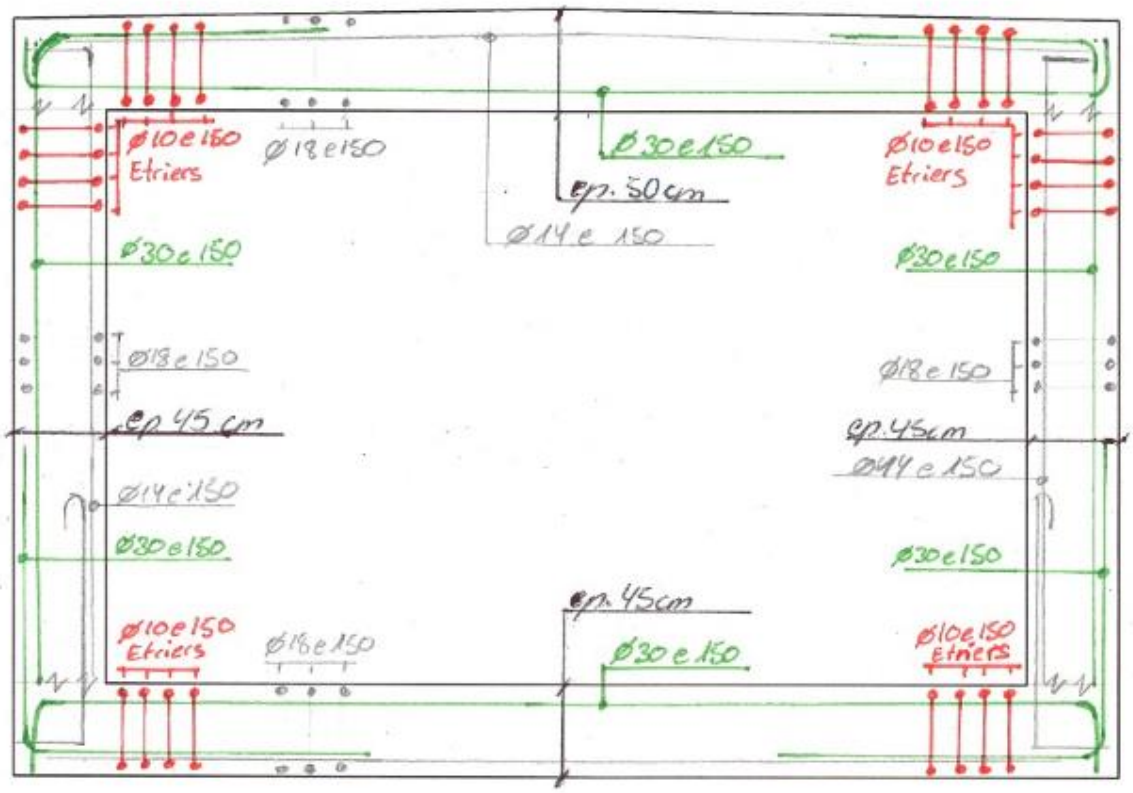
En regardant le schéma des moments à l'état limite de service fréquent, l'armature minimale satisfait les conditions élevées presque partout.

Le moment de résistance à la fissuration aux angles de cadre est pour un (Ø30 e = 150) $M_{fiss\ Rd}$ =401 kNm/m

Les ouverture des fissures respectent les conditions élevées de la norme SIA 262 (w_{max} = 0.2 mm)



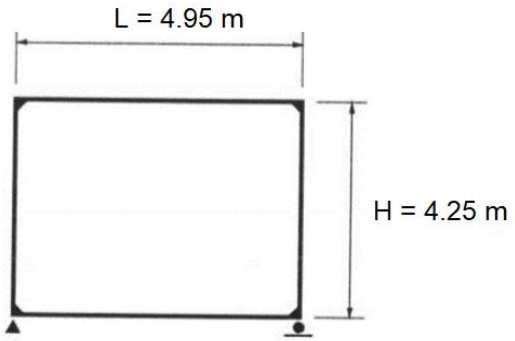
2.7 Schéma d'armature



3 Coupe dans le PI routier

3.1 Système statique

Le système modélisé est un cadre fermé appuyé sur un appui fixe et un appui rotulé.



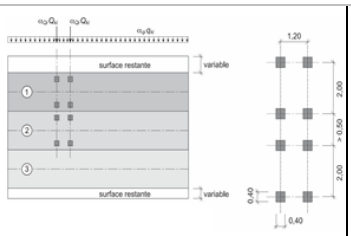
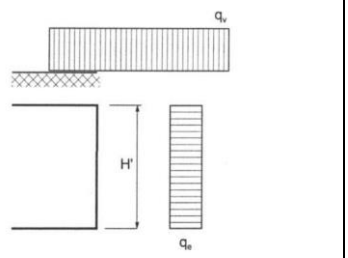
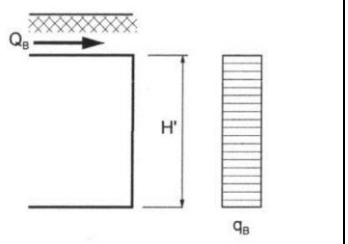
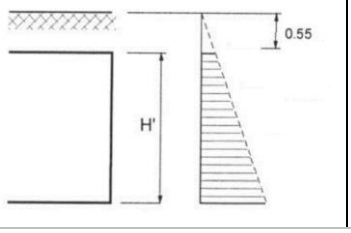
Ep. Dalle	hd	0.45	m
Ep. Murs	hm	0.45	m
Ep.radier	hr	0.45	m
Ep. milieu dalle	hd'	0.50	m

Le passage inférieur est modélisé comme une section tubulaire rectangulaire. Les angles du cadre sont considérés comme parfaitement encastrés.

Le radier du PI repose sur des appuis ressorts linéaires. Le module de réaction vertical est défini selon l'abaque de Chardeisson. Ainsi, pour des sols avec une cohésion de 3 kN/m^2 et un angle de frottement de 35°, le coefficient admis est Ks = 40 MN/m^3.

Les valeurs obtenues ont été contrôlés avec des valeurs de Ks deux fois plus élevées et deux fois plus faible. Les différences sont négligeables.

3.1.1 Charges routières

Modèle de charge 1	Dimensionnement/ calcul statique		Q_{k1} = 4 x 300 kN qk_1 = 9.0 kN/m^2
Poussées des terres dues aux charges routières	Dimensionnement/ calcul statique		qe = Ko * q_{Ek} Ko = 1-sin φ
Charges au freinage au démarrage	On suppose que cette charge est accompagnée d'une butée uniformément répartie dont la résultante vaut la moitié de Qb		QA_x = 336 kN qb = Q / (2 x H)
Poussée des terres	Poussée des terres répartie triangulairement		

Modèle de charges routières

Charge Q_{k1}	300	kN	(répartis sur deux carrés de 0.4 m de coté)
Charge q_{k1}	9.0	kN/m2	

Coefficients

α_{Qi} , α_{qi} et α_{qr} =	0.9
Poussée des terres au repos	0.55

3.1.2 Charges sur le cadre (largeur 1.00m)

Poids propre	12.5	kN/m	
Ch.permanente	2.5	kN/m	
Poussée des terres inf.	45	kN/m	
Poussée des terres sup.	4.0	kN/m	
Ch. Routière vert. ponctuelle	375	kN/m	Charge multipliée par α_{Qi} répartie sur 0.4 m
Ch. Routière vert. répartie	8.1	kN/m	Charge multipliée par α_{qi}
Ch. Routière horiz	17.1	kN/m	Charge multipliée par α_{qi} et k_o
Ch. Routière, accel.	60.5	kN	Charge multipliée par α_{Qi} Hypothèse : diffusée sur la largeur de la route (5 m)

3.2 Resistance structurale

3.2.1 Armature minimale de flexion

Exigence de fissuration accrues pour le retrait

Géométrie:	Epaisseur **h** =	450	mm	
zoom	Largeur **b** =	1000	mm	
	Ø armature =	18	mm	
	Espacement **e** de l'armature =	150	mm	
Matériau:	Classe de **béton** :	C30/37		Pour les ouvrages d'art, il faut augmenter de 2 classes pour tenir compte de sur-résistances
	Classe d'acier d'**armature** :	B500B		
Sollicitation:	flexion (**F**) or traction (**T**):	T		
	Ouverture nominale de fissures w_{nom} =	0.5	mm	
	Niveau d'exigences :	Accrues		
	Coefficient k_1 =	0.82	voir 4.4.1.3 (99)	
A_s = 1 696 mm², ρ (%) = 0.428	$f_{ctd} = k_t * f_{ctm}$ =	2.37	N/mm², (98)	
	$T_{Rd,c}$ =	1065	kN	
	$\sigma_{\sigma,adm}$ selon fig. 31 resp. éq. 100a =	386	N/mm²	
	$A_{s,min}$ de fissuration (par côté) =	1382	mm²	$A_s / A_{s,min}$ ⇩
Solution 1: -> Ø 18 e 150	A_s =	1696	mm²	123%

Exigence de fissuration élevées pour la flexion

Géométrie:	Epaisseur **h** =	450	mm	
zoom	Largeur **b** =	1000	mm	
	Enrobage **c** =	45	mm	
	Ø armature =	18	mm	
	Espacement **e** de l'armature =	150	mm	
Matériau:	Classe de **béton** :	C30/37		Pour les ouvrages d'art, il faut augmenter de 2 classes pour tenir compte de sur-résistances
	Classe d'acier d'**armature** :	B500B		
Sollicitation:	flexion (**F**) or traction (**T**):	F		
	Ouverture nominale de fissures w_{nom} =	0.2	mm	
	Niveau d'exigences :	Élevées		
A_s = 1 696 mm², ρ (%) = 0.428	$f_{ctd} = k_t * f_{ctm}$ =	3.51	N/mm², (98)	
	$\sigma_{\sigma,adm}$ selon fig. 31 resp. éq. 100a =	244	N/mm²	
	max M_{serv} =	178	kNm/m	

3.2.2 Résistance ultime à la flexion

Zoom

Béton f_{cd} =	20.0	N/mm²	C30/37
Acier d'armature f_{sd} =	435	N/mm²	B500B
Epaisseur **h** =	**450**	mm (d=h-c-½Ø)	
Largeur **b** =	1 000	mm	Choc ? ηt ⇨ Standarc
Enrobage **c** =	45	mm	

Armature de flexion			première nappe				deuxième nappe		
Ø	e=	section	d_x	ρ_x	M_{xRd}	$0.85x_x$	d_y	ρ_y	M_{yRd}
mm	mm	mm²	mm	%	kNm/m	mm	mm	%	kNm/m
8	**150**	335	401	0.08%	57.9	9	393	0.09%	57
10	150	524	400	0.13%	89.7	13	390	0.13%	87
12	150	754	399	0.19%	**128.0**	19	387	0.19%	124
14	150	1 026	398	0.26%	**172.5**	26	384	0.27%	**166**
16	150	1 340	397	0.34%	**222.6**	34	381	0.35%	**213**
18	150	1 696	396	0.43%	**278**	43	378	0.45%	**265**
20	150	2 094	395	0.53%	**338**	54	375	0.56%	**320**
22	150	2 534	394	0.64%	**403**	65	372	0.68%	**379**
24.1	150	3 041	393	0.77%	**475**	78	369	0.82%	**443**
26	150	3 540	392	0.90%	**542**	91	366	0.97%	**502**
28.1	150	4 134	391	1.06%	**620**	106	363	1.14%	**569**
30	150	4 712	390	1.21%	**691**	121	360	1.31%	**630**
34	150	6 053	388	1.56%	**843**		354	1.71%	**754**
40	150	8 378	385	2.18%			345	2.43%	

3.2.3 Résistance ultime à l'effort tranchant

Géométrie :	Epaisseur **h** =	450	mm
	Largeur **b** =	1 000	mm
	Enrobage **c** =	45	mm
	Pénétration du pilier ou du mur **cs** =	0	mm
Efforts :	v'_{zEd} =	**0**	kN/m
	m'_{Ed} =	0	kNm/m
	n'_{xEd} =		kN/m
Armatures :	Ø A_s =	18	mm
	espacement s =	150	mm
	Angle ϑ entre V_d et A_s =	0	° (0<ϑ<45)
	E_s =	205 000	N/mm²
B500B	f_{sd} =	435	N/mm²
Béton : C30/37	D_{max} =	16	mm
choix η_t : Standard	f_{cd} =	20.0	N/mm²
Traction par NON			
	τ_{cd} =	1.10	N/mm²
	f_{ctm} =	2.9	N/mm²
Plastification? NON	τ_d =	0.0	N/mm²
Flexion:	A_s =	1 696	mm²/m
	d_v =	396	mm
	ρ =	0.4284%	
	m_{Rd} =	278	kNm/m
Valeurs auxiliaires:	k_g =	1.50	
Plastification :	ε_v =	0.0000	
	k_d =	1.0000	

Résistance sans armature d'effort tranchant selon SIA262

v'_{zEd}/v'_{zRd} = 0.0% v'_{zRd} = **436** >0 kN/m

3.3 Sécurité structurale

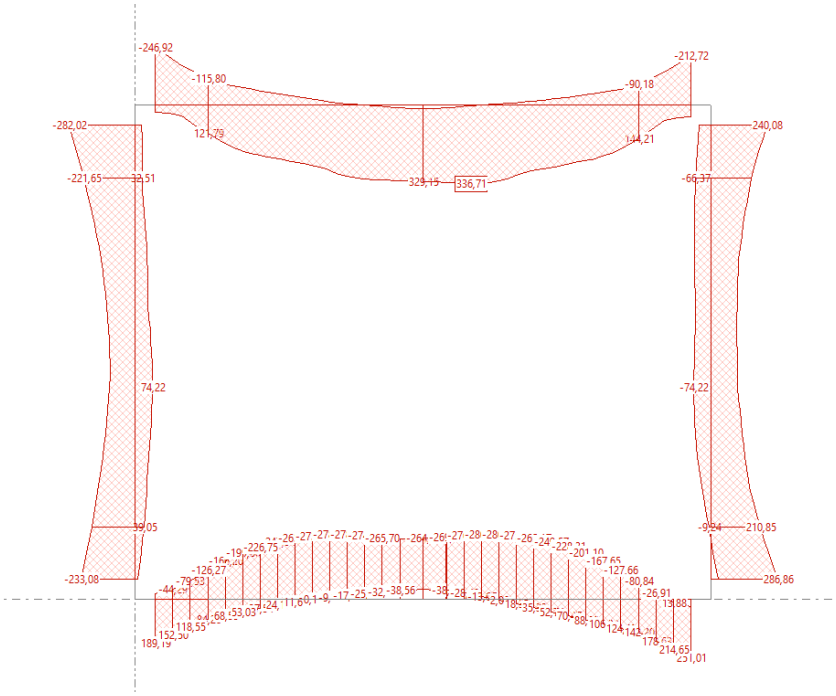
3.3.1 Etat limite ultime

Vérification pour l'état limite type 2 (ultime)

Actions	$\gamma_{Gsup}/\gamma_{Ginf}$
Poids propre	1.35/0.80
Ch. permanente	1.35/0.80
Poussée des terres inf.	1.35/0.70
Poussée des terres sup.	1.35/0.70
Ch. routière vert.	1.50/1.00
Ch. routière horiz	1.50/1.00
Ch. routière, accel.	1.50/1.00

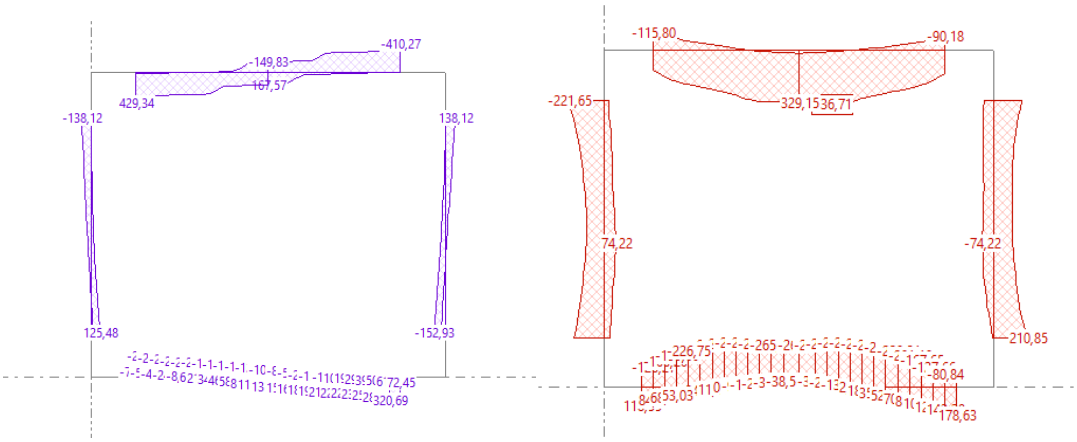
Efforts pour l'état limite type 2 (ultime)

Moments



	M_{Ed} [kNm/m]	As min
Dalle angle de cadre	247	1660
Dalle travée supérieur	13	77
Dalle travée inférieur	337	2002
Murs angle de cadre sup.	283	1902
Murs angle de cadre inf.	287	1929
Murs travée interne	75	504
Murs travée externe	112	753
Radier angle de cadre	252	1694
Radier travée supérieur	281	1889
Radier travée inférieur	45	302

Efforts tranchants



	V_{Ed} [kN/m]	M_{Ed} [kNm/m]
Dalle angle de cadre	430	116
Murs angle de cadre sup.	139	222
Murs angle de cadre inf.	153	211
Radier angle de cadre	321	179

Vérification du radier et de la dalle à l'effort tranchant avec plastification des armatures (cas le plus critique)

Radier

Géométrie :	Epaisseur **h** =	450	mm
	Largeur **b** =	1 000	mm
	Enrobage **c** =	45	mm
Pénétration du pilier ou du mur **cs** =		0	mm
Efforts :	V'_{zEd} =	321	kN/m
	m'_{Ed} =	179	kNm/m
	n'_{xEd} =		kN/m
Armatures :	Ø A_s =	30	mm
	espacement s =	150	mm
	Angle ϑ entre V_d et A_s =	0	° (0<ϑ<45)
	E_s =	205 000	N/mm²
B500B	f_{sd} =	435	N/mm²
Béton : C30/37	D_{max} =	16	mm
choix η_f : Standard	f_{cd} =	20.0	N/mm²
Traction par NON			
	τ_{cd} =	1.10	N/mm²
	f_{ctm} =	2.9	N/mm²
Plastification? OUI	τ_d =	1.0	N/mm²
Flexion:	A_s =	4 712	mm²/m
	d_v =	390	mm
	ρ =	1.2083%	
	m_{Rd} =	694	kNm/m
Valeurs auxiliaires:	k_g =	1.50	
Plastification :	ε_v =	0.0032	
	k_d =	0.3495	

Résistance sans armature d'effort tranchant selon SIA262 (2

V'_{zEd}/V'_{zRd} = **214.1%** V'_{zRd} = **150** >321 kN/m

Murs angle de cadre inf.

Géométrie :	Epaisseur **h** =	450	mm
	Largeur **b** =	1 000	mm
	Enrobage **c** =	45	mm
Pénétration du pilier ou du mur **cs** =		0	mm
Efforts :	V'_{zEd} =	153	kN/m
	m'_{Ed} =	211	kNm/m
	n'_{xEd} =		kN/m
Armatures :	Ø A_s =	30	mm
	espacement s =	150	mm
	Angle ϑ entre V_d et A_s =	0	° (0<ϑ<45)
	E_s =	205 000	N/mm²
B500B	f_{sd} =	435	N/mm²
Béton : C30/37	D_{max} =	16	mm
choix η_f : Standard	f_{cd} =	20.0	N/mm²
Traction par NON			
	τ_{cd} =	1.10	N/mm²
	f_{ctm} =	2.9	N/mm²
Plastification? OUI	τ_d =	0.5	N/mm²
Flexion:	A_s =	4 712	mm²/m
	d_v =	390	mm
	ρ =	1.2083%	
	m_{Rd} =	694	kNm/m
Valeurs auxiliaires:	k_g =	1.50	
Plastification :	ε_v =	0.0032	
	k_d =	0.3495	

Résistance sans armature d'effort tranchant selon SIA262 (2

V'_{zEd}/V'_{zRd} = **102.0%** V'_{zRd} = **150** >153 kN/m

Dalle			
Géométrie :	Epaisseur **h** =	450	mm
	Largeur **b** =	1 000	mm
	Enrobage **c** =	45	mm
Pénétration du pilier ou du mur **cs** =		0	mm
Efforts :	V'_{zEd} =	430	kN/m
	m'_{Ed} =	116	kNm/m
	n'_{xEd} =		kN/m
Armatures :	Ø A_s =	30	mm
	espacement s =	150	mm
	Angle ϑ entre V_d et A_s =	0	° (0<ϑ<45)
	E_s =	205 000	N/mm²
B500B	f_{sd} =	435	N/mm²
Béton : C30/37	D_{max} =	16	mm
choix η_f : Standard	f_{cd} =	20.0	N/mm²
Traction par NON			
	τ_{cd} =	1.10	N/mm²
	f_{ctm} =	2.9	N/mm²
Plastification? OUI	τ_d =	1.3	N/mm²
Flexion:	A_s =	4 712	mm²/m
	d_v =	390	mm
	ρ =	1.2083%	
	m_{Rd} =	694	kNm/m
Valeurs auxiliaires:	k_g =	1.50	
Plastification :	ε_v =	0.0032	
	k_d =	0.3495	
Résistance sans armature d'effort tranchant selon SIA262 (20			
V'_{zEd}/V'_{zRd} = 286.8%	V'_{zRd} =	150	>430 kN/m

Murs angle de cadre sup			
Géométrie :	Epaisseur **h** =	450	mm
	Largeur **b** =	1 000	mm
	Enrobage **c** =	45	mm
Pénétration du pilier ou du mur **cs** =		0	mm
Efforts :	V'_{zEd} =	139	kN/m
	m'_{Ed} =	222	kNm/m
	n'_{xEd} =		kN/m
Armatures :	Ø A_s =	30	mm
	espacement s =	150	mm
	Angle ϑ entre V_d et A_s =	0	° (0<ϑ<45)
	E_s =	205 000	N/mm²
B500B	f_{sd} =	435	N/mm²
Béton : C30/37	D_{max} =	16	mm
choix η_f : Standard	f_{cd} =	20.0	N/mm²
Traction par NON			
	τ_{cd} =	1.10	N/mm²
	f_{ctm} =	2.9	N/mm²
Plastification? OUI	τ_d =	0.4	N/mm²
Flexion:	A_s =	4 712	mm²/m
	d_v =	390	mm
	ρ =	1.2083%	
	m_{Rd} =	694	kNm/m
Valeurs auxiliaires:	k_g =	1.50	
Plastification :	ε_v =	0.0032	
	k_d =	0.3495	
Résistance sans armature d'effort tranchant selon SIA262 (2			
V'_{zEd}/V'_{zRd} = 92.7%	V'_{zRd} =	150	>139 kN/m

Il est nécessaire de prévoir de l'armature à l'effort tranchant dans le radier le bas des murs et la dalle.

Armatures d'effort tranchant

Radier			
Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	321	kN
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_w =		kN (compres
Géométrie	Hauteur h =	450	mm Recta
z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Øétrier) =			mm
Largeur (si P_w avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =		1000	mm
Enrobage des étriers =		70	mm
Inclinaison des bielles α =		30	°
Inclinaison de la précontrainte β_P =			°
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc.
	Distance des étriers s :	150	mm
	Inclinaison des étriers β =	90	°
Matériaux	Classe de **béton** : C30/37		
	choix η_f : Standard		SIA262 4.2
	Classe d'acier d'**armature** : B500B		
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262.4.2
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	435	N/mm²
Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =		11.0	N/mm²
Inclinaison des contraintes principales α_o =		45.0	°
	σ_{cd} =	2.2	N/mm²
	σ_{sd} =	159	N/mm²
	ρ_w =	0.87%	
z donné resp. calculé :		333	mm
Vérification	$A_{sw,req}$ =	1280	mm²/m
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.37	<1: o.k.

Murs			
Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	153	kN
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_w =		kN (compr
Géométrie	Hauteur h =	450	mm Rec
z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Øétrier) =			mm
Largeur (si P_w avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =		1000	mm
Enrobage des étriers =		70	mm
Inclinaison des bielles α =		30	°
Inclinaison de la précontrainte β_P =			°
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc.
	Distance des étriers s :	150	mm
	Inclinaison des étriers β =	90	°
Matériaux	Classe de **béton** : C30/37		
	choix η_f : Standard		SIA262 4
	Classe d'acier d'**armature** : B500B		
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262.4
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	435	N/mm²
Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =		11.0	N/mm²
Inclinaison des contraintes principales α_o =		45.0	°
	σ_{cd} =	1.1	N/mm²
	σ_{sd} =	76	N/mm²
	ρ_w =	0.87%	
z donné resp. calculé :		333	mm
Vérification	$A_{sw,req}$ =	610	mm²/m
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.17	<1: o.k.

Dalle			
Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	430	kN
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_w =		kN (compressi
Géométrie	Hauteur h =	450	mm Rectang
z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Øétrier) =			mm
Largeur (si P_w avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =		1000	mm
Enrobage des étriers =		70	mm
Inclinaison des bielles α =		30	°
Inclinaison de la précontrainte β_P =			°
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc.
	Distance des étriers s :	150	mm
	Inclinaison des étriers β =	90	°
Matériaux	Classe de **béton** : C30/37		
	choix η_f : Standard		SIA262 4.2.1
	Classe d'acier d'**armature** : B500B		
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262.4.2.1
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	435	N/mm²
Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =		11.0	N/mm²
Inclinaison des contraintes principales α_o =		45.0	°
	σ_{cd} =	3.0	N/mm²
	σ_{sd} =	213	N/mm²
	ρ_w =	0.87%	
z donné resp. calculé :		333	mm
Vérification	$A_{sw,req}$ =	1715	mm²/m
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.49	<1: o.k.

3.4 Vérification pour l'état limite type 4 (fatigue)

La vérification du béton armé à la fatigue se fait pour l'acier et pour le béton:

Pour l'acier: en limitant la différence entre les contraintes maximales et minimales sous la sollicitation de fatigue

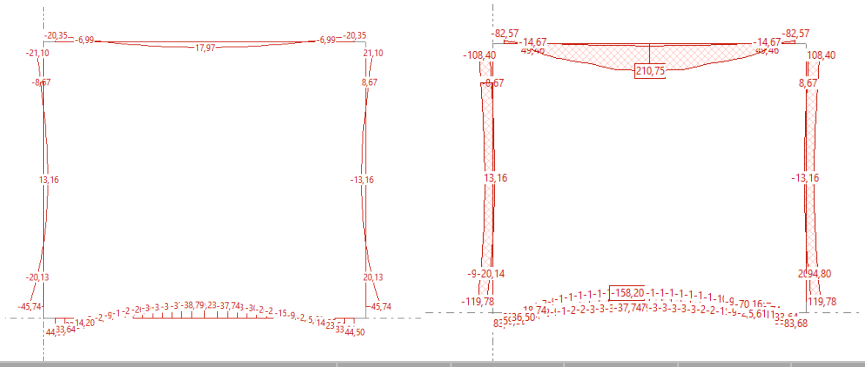
Pour le béton : en limitant la contrainte de compression maximale sous l'effet des sollicitations permanentes et de fatigue.

Les facteurs de charge et le coefficient alpha sont pris égaux à 1.00. Les forces de freinage et de démarrage sont négligées (SIA 261 § 11.4.2.3).

3.4.1 Charges sur le cadre (largeur 1.00m)

Poids propre	12.5	kN/m	
Ch. permanente	2.5	kN/m	
Poussée des terres inf.	45	kN/m	
Poussée des terres sup.	4.0	kN/m	
Ch. Routière vert. ponctuelle	375	kN/m	Charge multipliée par α_{Qi} répartie sur 0.4 m
Ch. Routière vert. répartie			Négligée
Ch. Routière horiz			Négligée
Ch. Routière, accel.			Négligée

3.4.2 Moments



	$M_{Ed.max}$ [kNm/m]	$M_{Ed.min}$ [kNm/m]	ΔM_{Ed} [kNm/m]	As min	As min k ϕ
Dalle angle de cadre	83	21	62	1888	**2552**
Dalle travée	211	18	193	**5195**	
Murs angle de cadre sup.	109	21	88	2680	**3622**
Murs angle de cadre inf.	110	45	65	1980	**2675**
Murs travée	64	13	51	**1553**	
Radier angle de cadre	84	45	39	1188	**1606**
Radier travée	159	40	119	**3625**	

Le diam. de façonnage est choisi afin d'obtenir un facteur de réduction de contrainte k ϕ =0.74

Limite de fatigue

ø ≤ 20 mm $\Delta\sigma_{sd,D}$ = 0.8 x 145 = 116 N/mm2
ø > 20 mm $\Delta\sigma_{sd,D}$ = 0.8 x 120 = 96 N/mm2

Choix des armatures

	ELU type 2 As,nec [mm2]	ELU type 4 As,nec [mm2]	Choix armature
Dalle angle de cadre	Ø18 e=150	Ø26 e=150	Ø26 e=150
Dalle travée	Ø20 e=150	Ø34 e=150	Ø34 e=150
Murs angle de cadre sup.	Ø20 e=150	Ø30 e=150	Ø30 e=150
Murs angle de cadre inf.	Ø20 e=150	Ø26 e=150	Ø26 e=150
Murs travée	Ø18 e=150	Ø18 e=150	Ø18 e=150
Radier angle de cadre	Ø20 e=150	Ø18 e=150	Ø20 e=150
Radier travée	Ø20 e=150	Ø30 e=150	Ø30 e=150

Compression dans le béton

Efforts maximaux ΔM_{Edmax} = 193 kNm/m (dalle travée)

Contrainte dans le béton $\sigma_{cd,min}$ = 0.8 N/mm2

$\sigma_{cd,max}$ = 7.9 N/mm2

k_c = 0.8

$\sigma_{cd,max} = 0.5 \times k_c \times f_{cd} + 0.45 \times \sigma_{cd,min}$ = 8.3 N/mm2 > $\sigma_{Ed,max}$ = 7.9 N/mm2 OK

Efforts tranchants

	$V_{Ed.max}$ [kN/m]	$V_{Ed.min}$ [kN/m]	ΔV_{Ed} [kN/m]
Dalle angle de cadre	245	49	156
Murs angle de cadre sup.	33	18	33
Murs angle de cadre inf.	48	39	34
Radier angle de cadre	206	65	126

Vérification à la fatigue des étriers

Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	156	kN					Pieu ? :	Non
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_∞ =		kN (compression)					η_i =	1.00
Géométrie	Hauteur h =	450	mm	Rectangle				(44)	(46)
	z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Øétrier) =		mm						
	Largeur (si P_∞ avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =	1000	mm						
	Enrobage des étriers =	70	mm	Ø	nb.	section	s	$V_{Rd.s}$	$V_{Rd.c}$
	Inclinaison des bielles α =	30	°	mm	pc.	mm²/m	mm	kN	kN
	Inclinaison de la précontrainte β_P =		°	10	6.67	3492	150	272	1 586
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm	Inclinaison des bielles:					
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc.			30°<alpha<45°		SIA 262, 4.3.3.3.2	
	Distance des étriers s :	150	mm					SIA262, 5.5.2.2:	
	Inclinaison des étriers β =	90	°					max s =	250 mm
Matériaux	Classe de **béton** :	C30/37							
	choix η_1 :	Standard	SIA262 4.2.1.3						
	Classe d'acier d'**armature** :	B500fat							
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262.4.2.1.7						
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	135	N/mm²	Reprise de la traction F_{Tvd} =				135 kN	
	Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =	11.0	N/mm²					req A_{sL} =	1001 mm²/m
	Inclinaison des contraintes principales α_σ =	45.0	°					ØA_{sL} =	20 mm
	σ_{cd} =	1.1	N/mm²					req nb ΔA_{sL} =	4
	σ_{sd} =	77	N/mm²					Choix de ΔA_{sL} =	4Ø20
	ρ_W =	0.87%						min ρ_W =	0.10% éq (110)
	z donné resp. calculé :	333	mm					ΔA_{sL} = / req A_{sL} =	125%
Vérification	$A_{sw,req}$ =	2003	mm²/m						
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.57	<1: o.k.						

Vérification à la fatigue dans le béton

	$M_{Ed.max}$ [kNm/m]	$M_{Ed.min}$ [kNm/m]	ΔM_{Ed} [kNm/m]
Dalle angle de cadre	83	21	62
Murs angle de cadre sup.	109	21	88
Murs angle de cadre inf.	110	45	65
Radier angle de cadre	84	45	39

Efforts maximaux ΔM_{Edmax} = 88 kNm/m (murs angle de cadre)

Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	109	kN
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_∞ =		kN (compression)
Géométrie	Hauteur h =	450	mm Rectangle
	z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Øétrier) =		mm
	Largeur (si P_∞ avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =	1000	mm
	Enrobage des étriers =	70	mm Ø nb.
	Inclinaison des bielles α =	30	° mm pc.
	Inclinaison de la précontrainte β_P =		° 10 6.67
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm Inclinaison c
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc. 3
	Distance des étriers s :	150	mm
	Inclinaison des étriers β =	90	°
Matériaux	Classe de **béton** :	C30/37	
	choix η_f :	Standard	SIA262 4.2.1.3
	Classe d'acier d'**armature** :	B500fat	
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262,4.2.1.7
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	135	N/mm² Reprise
	Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =	11.0	N/mm²
	Inclinaison des contraintes principales α_c =	45.0	°
	σ_{cd} =	0.8	N/mm²
	σ_{sd} =	54	N/mm²
	ρ_w =	0.87%	
	z donné resp. calculé :	333	mm
Vérification	$A_{sw,req}$ =	1400	mm²/m
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.40	<1: o.k.

Efforts	Effort tranchant V_{zEd} =	21	kN
zoom	Force normale N_{Ed} ou P_∞ =		kN (compression)
Géométrie	Hauteur h =	450	mm Rectangle
	z donné, sinon z = 0.9 *(h-c-Øétrier) =		mm
	Largeur (si P_∞ avec gaines, 4.3.3.3.5) b_W =	1000	mm
	Enrobage des étriers =	70	mm Ø nb.
	Inclinaison des bielles α =	30	° mm pc.
	Inclinaison de la précontrainte β_P =		° 10 6.67
Etriers	Diametre des étriers :	10	mm Inclinaison c
	Nombre de Ø par étrier :	6.67	pc. 3
	Distance des étriers s :	150	mm
	Inclinaison des étriers β =	90	°
Matériaux	Classe de **béton** :	C30/37	
	choix η_f :	Standard	SIA262 4.2.1.3
	Classe d'acier d'**armature** :	B500fat	
	coefficient de réduction k_c =	0.55	SIA262,4.2.1.7
Calcul intermédiares	Etriers f_{sd} =	135	N/mm² Reprise
	Résistance réduite du béton $f_{c,red} = k_c * f_{cd}$ =	11.0	N/mm²
	Inclinaison des contraintes principales α_c =	45.0	°
	σ_{cd} =	0.1	N/mm²
	σ_{sd} =	15	N/mm²
	ρ_w =	0.87%	
	z donné resp. calculé :	333	mm
Vérification	$A_{sw,req}$ =	400	mm²/m
	V_{zEd} / V_{zRd} =	0.11	<1: o.k.

Contrainte dans le béton $\sigma_{cd,min}$ = 0.1 N/mm2

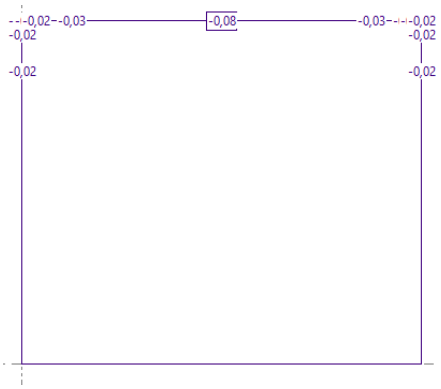
$\sigma_{cd,max}$ = 0.8 N/mm2

k_c = 0.55

$\sigma_{cd,max} = 0.5 \times k_c \times f_{cd} + 0.45 \times \sigma_{cd,min}$ = 5.5 N/mm2 > $\sigma_{Ed,max}$ = 0.8 N/mm2 OK

3.5 Vérification pour l'état limite de service

Cas de charge quasi permanent

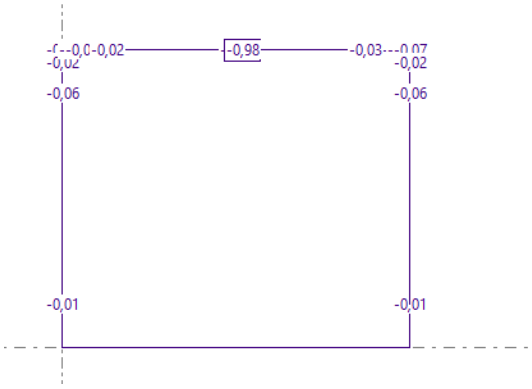


W_{el} = 0.08 mm

Hypothèse : $W_{fiss} = 6 \times W_{el}$

W_{fiss} = 0.48 mm < L/500 = 9 mm OK

Cas de charge fréquent



W_{el} = 0.98 mm

Hypothèse : $W_{fiss} = 6 \times W_{el}$

W_{fiss} = 5.88 mm < L/700 = 6.4 mm OK

3.6 Vérification de la fissuration

Le moment de fissuration minimal est calculé au chapitre 3.2.1.

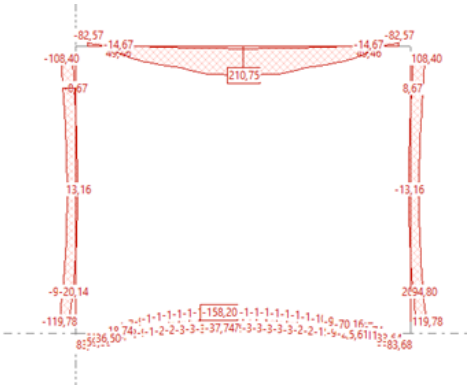
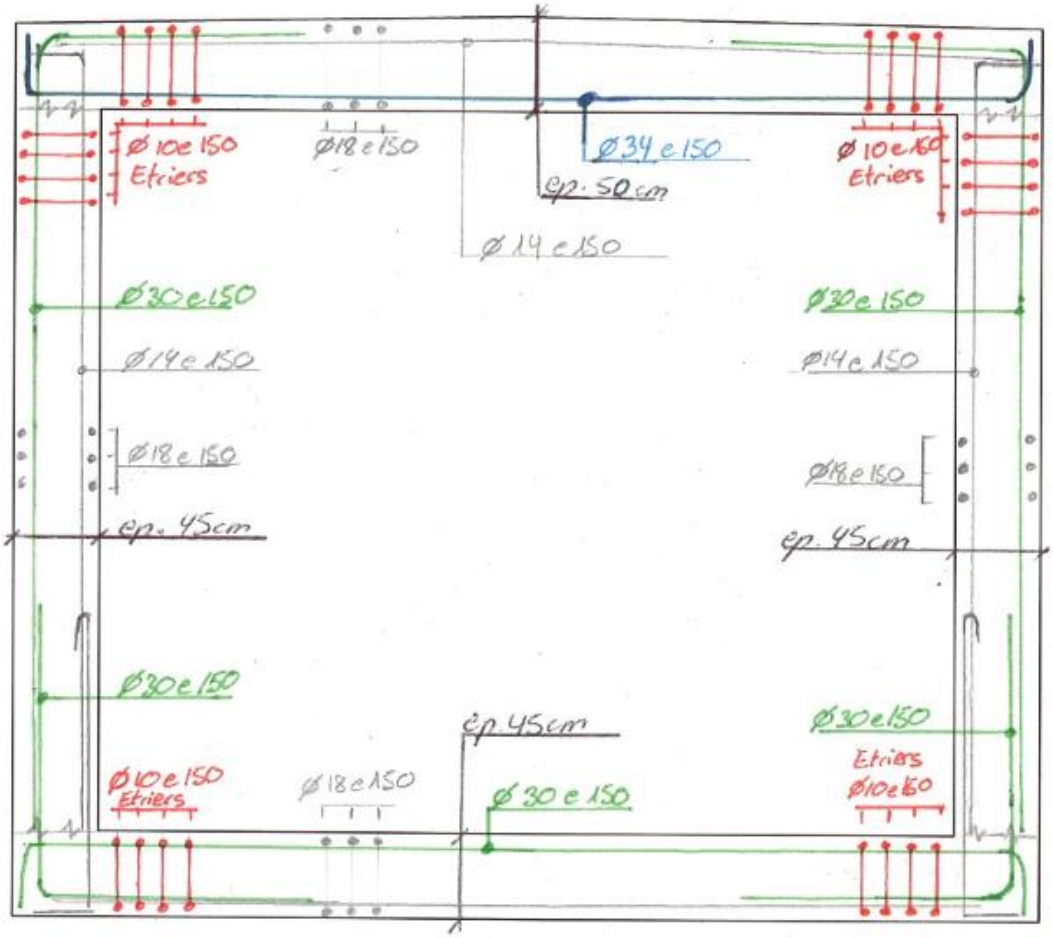
Pour l'armature minimale (Ø18 e = 150)

$M_{fiss\ Rd}$ = 178 kNm/m

En regardant le schéma des moments à l'état limite de service fréquent, l'armature minimale satisfait les conditions élevées presque partout.

Le moment de résistance à la fissuration en travée de la dalle est pour un (Ø30 e = 150) $M_{fiss\ Rd}$ =401 kNm/m

Les ouverture des fissures respectent les conditions élevées de la norme SIA 262 (w_{max} = 0.2 mm)



3.7 Schéma d'armature