



TOUR MAJUNGA

Projet de béton armé

LACHAT Ambroise-LETI Bénédicte-NEUBURGER Yannis

20/12/2018

Plan

- I. Présentation du projet
- II. Classes d'expositions et formulation du béton
- III. Enrobage
- IV. Descente de charges
- V. Ferrailages
 - a. *Poteau E1*
 - b. *Poutre A1-J1*
 - c. *Plancher D2-J1*

TOUR MAJUNGA

Présentation du projet



Tour Majunga

Plancher haut : PH31.

Proposer les bétons les moins chers répondant aux exigences structurelles.

Détermination de l'enrobage, la descente de charges et des ferrailages sur une partie du PH31.

CLASSES D'EXPOSITIONS ET FORMULATION

Classe d'exposition

Gel/dégel négligeable → ~~XF~~

Pas de chlorures → ~~XD, XS~~

Pas en zone agricole → ~~XA~~

Présence d'armatures → ~~X0~~

Béton en façade : XC3 (humidité modérée)

Béton intérieur : XC1 (sec en permanence)

Formulation du béton C50/60

Exposition : XC3

Classe de consistance : S3

Granulats maximum $\leq 22\text{mm}$

Mise en œuvre : Pompe à béton

Enrobage

4) Enrobage

$$C_{nom} = \max \left[C_{min} + \underbrace{\Delta C_{dev}}_{\geq 10 \text{ mm}} ; \underbrace{C_{nom, min, sol}}_{= 0 \text{ avec pas de contact des sol}} \right]$$

$$C_{min} = \max \left[C_{min, b} ; C_{min, dis} + \underbrace{\Delta C_{dis, y}}_{\geq 0 \text{ mm}} - \underbrace{\Delta C_{dis, ot}}_{\geq 0 \text{ mm}} - \underbrace{\Delta C_{dis, add}}_{\geq 0 \text{ mm}} ; 10 \text{ mm} \right] + \underbrace{\Delta_{parcement}}_{\geq 0 \text{ mm}} + \underbrace{\Delta_{abercion}}_{\geq 0 \text{ mm}}$$

$$\Phi_{granulat} = 22 \text{ mm}$$

$$\Phi_{base} = 40 \text{ mm (HA40)} \text{ et } 32 \text{ mm (HA32)}$$

$$nb = 2 \text{ HA40} + 1 \text{ HA32} = 3$$

$$C_{min, b} \geq \Phi_{base} \geq \Phi_n = \Phi_{base} \times \sqrt{nb} \quad \text{avec } \Phi_n \leq 55 \text{ mm}$$

$$\Phi_n = 69,3 \text{ mm} \rightarrow 55 \text{ mm}$$

$$C_{min, b} = 55 \text{ mm}$$

Enrobage

$C_{min, dur}$

↳ XC 3

↳ 50 ans

↳ $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$

↳ CEM I

↳ Enrobage compact

⇒ S.d →

$C_{min, dur} = 10 \text{ mm}$

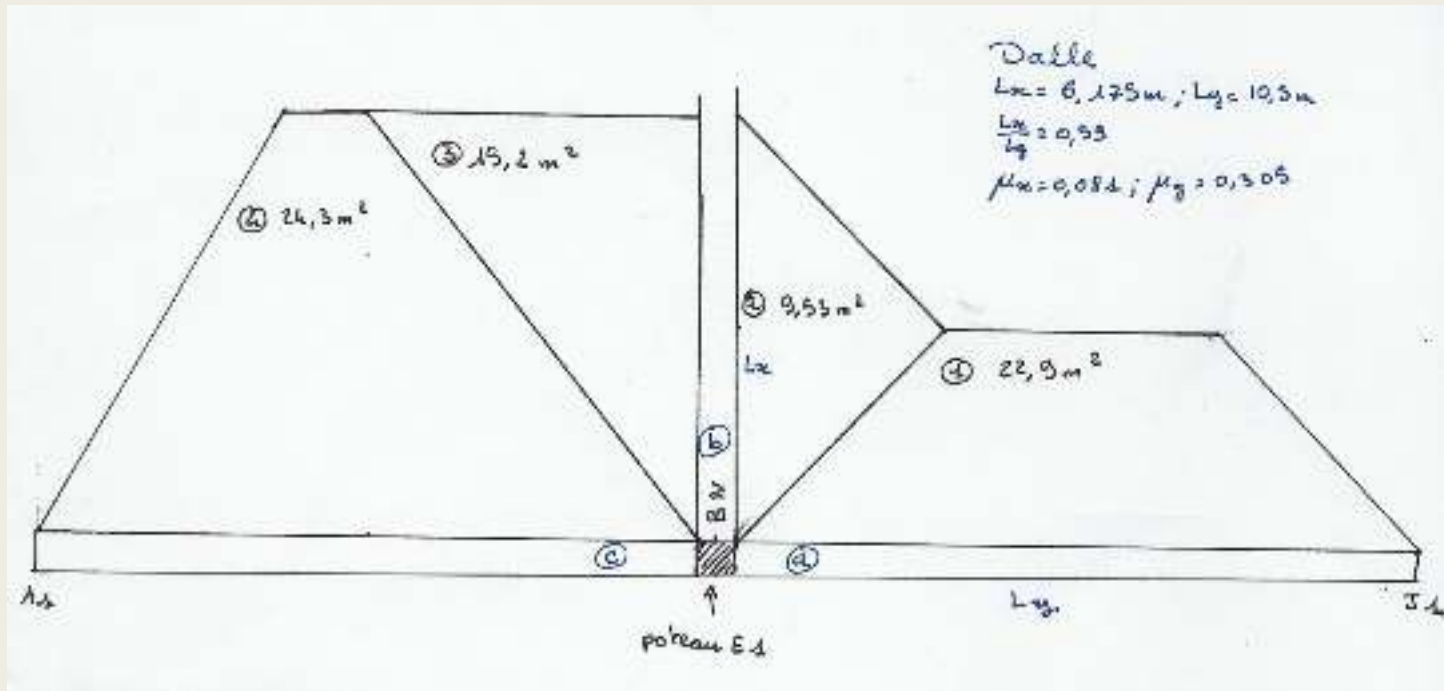
$$\Rightarrow C_{min} = \max(55 \text{ mm}; 10 \text{ mm}; 10 \text{ mm}) = 55 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow C_{nom} = \max(65 \text{ mm}; 0 \text{ mm})$$

$C_{nom} = 65 \text{ mm}$

DESCENTE DE CHARGES

Poids de la dalle

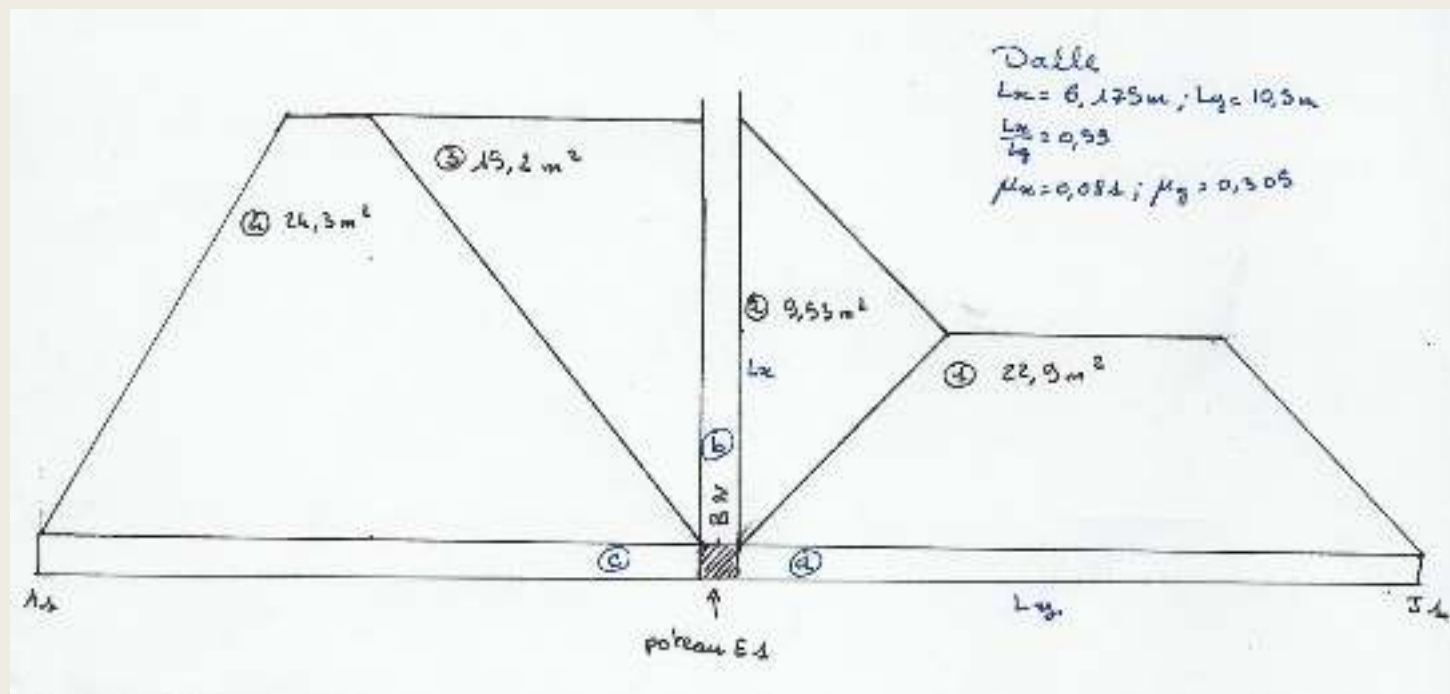


$$g' = 1,7 \text{ kN/m}^2$$

$$q' = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{\text{dalle}} = 5,75 \text{ kN/m}^2$$

Poids de la poutre A1-J1 et de la bande noyée



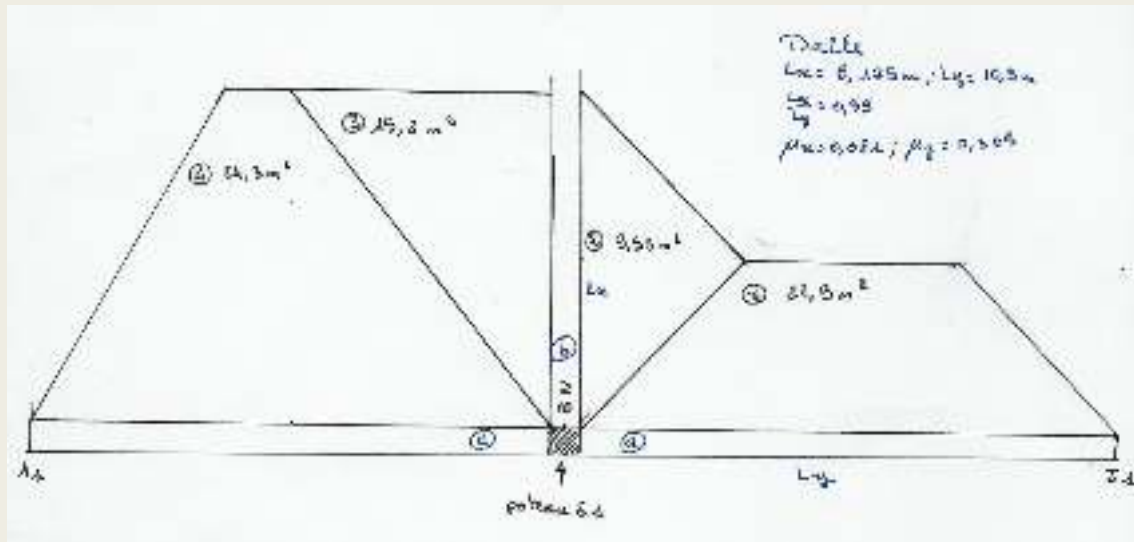
a) $0,5 * 0,7 * 25 * 5,25 = 45,9 \text{ kN}$

b) $0,5 * 0,7 * 25 * 4,90 = 42,9 \text{ kN}$

c) $1,0 * 0,23 * 25 * 3,09 = 17,8 \text{ kN}$

Total : $106,6 \text{ kN} \rightarrow$ sur le poteau E1

Surface de dalle par étage et poids total

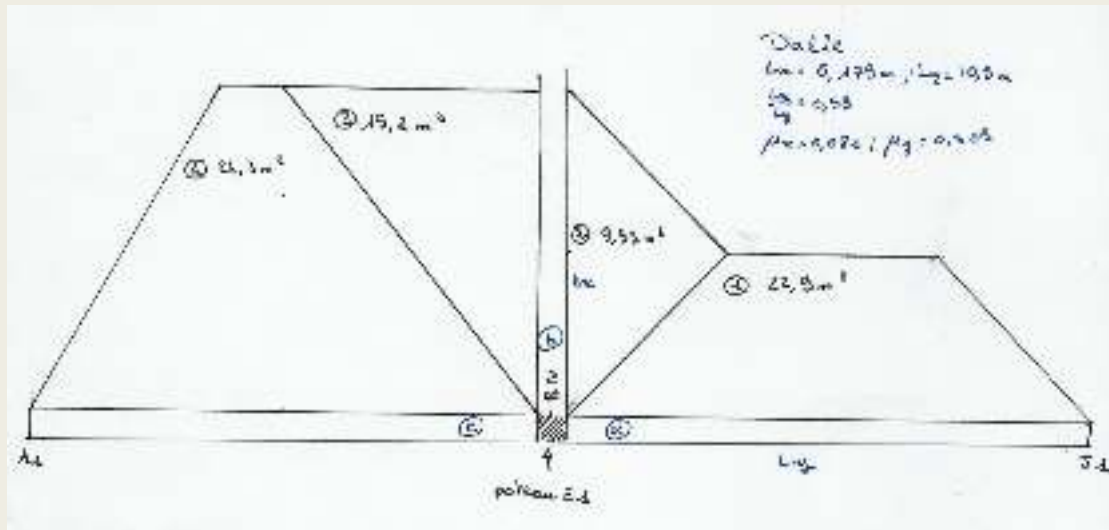


$$\frac{22,9}{2} + \frac{9,53}{2} + 6,13 + \frac{24,3}{2} = 34,5 \text{ m}^2$$

Donc : $g = 257 \text{ kN}$

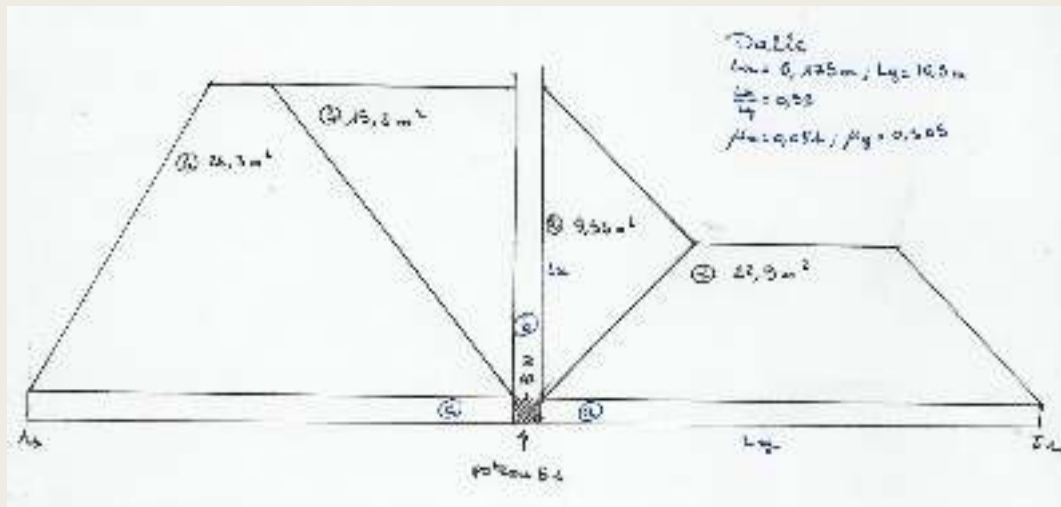
$q = 86,3 \text{ kN}$

Poids du poteau pour un seul étage



$$\pi * \left(\frac{0,7}{2}\right)^2 * 25 * 3,65 = 3,51 \text{ kN}$$

Bilan des poids



$$g = (257 + 106,6 + 35,1) * 8 + 257 + 106,6$$

$$g = 3\ 553,2\ \text{kN}$$

$$q = 86,3 * 8 + 86,3$$

$$q = 776,7\ \text{kN}$$

Descente de charge

Sur la poutre A1-J1

- $ELS, QP = g + 0,3q = 387 \text{ kN}$
- $ELS, CR = g + 0,7q = 431,2 \text{ kN}$
- $ELU = 1,35g + 1,5q = 651,7 \text{ kN}$

$$g = 351,6 \text{ kN}$$

$$q = 118 \text{ kN}$$

Sur le poteau E1

- $ELS, QP = g + 0,3q = 3\,786,2 \text{ kN}$
- $ELS, CR = g + 0,7q = 4\,096,9 \text{ kN}$
- $ELU = 1,35g + 1,5q = 5\,961,9 \text{ kN}$

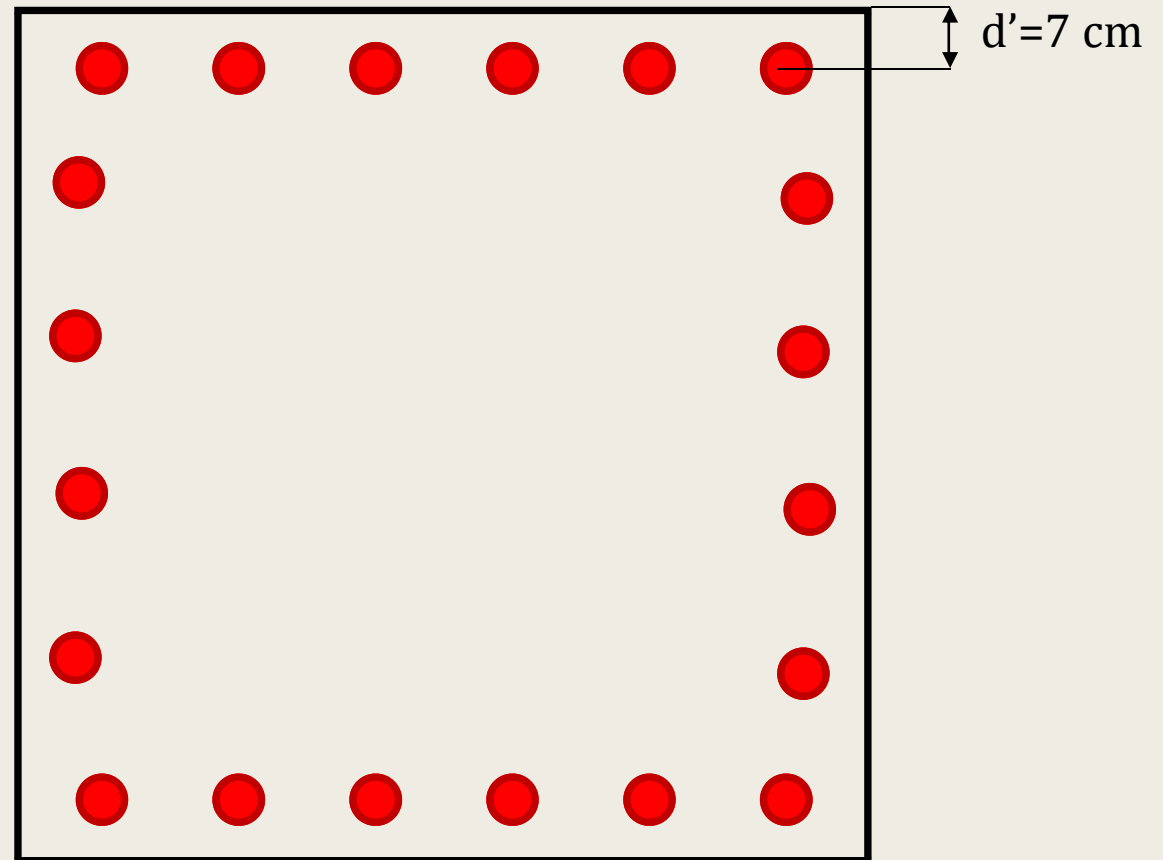
$$g = 3\,553,2 \text{ kN}$$

$$q = 776,7 \text{ kN}$$

FERRAILLAGE DU POTEAU E1

Ferraillage d'un poteau carré

f_{ck}	50 MPa
$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5}$	33,3 MPa
f_{yk}	500 MPa
$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15}$	435 MPa
H	3,65 m
$A_s : 12 \text{ HA32}$	90,5 cm ²
Ned:ELU	5 961,9 kN
$a=b = \sqrt{\frac{Ned}{12}}$	70,5 → 70 cm
$\delta = \frac{d'}{a}$	0,1
$\rho = \frac{A_s}{A_c}$	1,8%



Vérification

i_z	0,202 cm
λ_z	18,1
α	0,79
k_h	1
k_s	1
$N_{Rd} = \alpha \cdot k_s \cdot k_h \cdot (a \cdot b \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd})$	16 000 kN

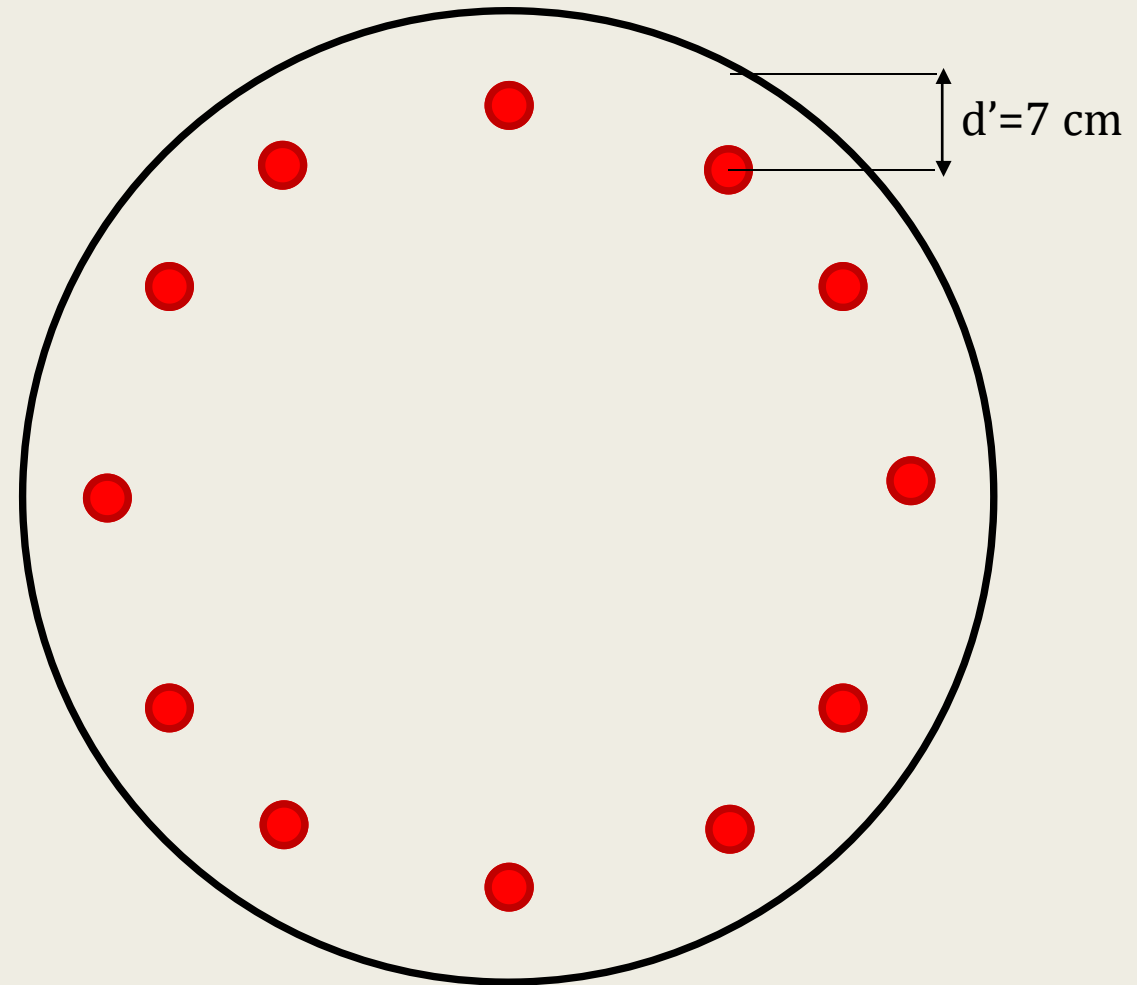
Car $a > 50$ cm

Car $f_{yk} \leq 500$ MPa

$> N_{Ed} = 5\,962$ kN → **OK**

Ferraillage d'un poteau circulaire

f_{ck}	50 MPa
$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5}$	33,3 MPa
f_{yk}	500 MPa
$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15}$	435 MPa
H	3,65 m
$A_s : 12 \text{ HA32}$	$90,5 \text{ cm}^2$
Ned:ELU	5 961,9 kN
D	70 cm
$\delta = \frac{d'}{D}$	0,1
$\rho = \frac{A_s}{A_c}$	2,4%



Vérification

i_z	17,5 cm
λ_z	20,9
α	0,72
k_h	1
k_s	1
$N_{Rd} = \alpha \cdot k_s \cdot k_h \cdot (a \cdot b \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd})$	14 583 kN

Car $D > 60$ cm

Car $f_{yk} \leq 500$ MPa

$> N_{Ed} = 5\,962$ kN → **OK**

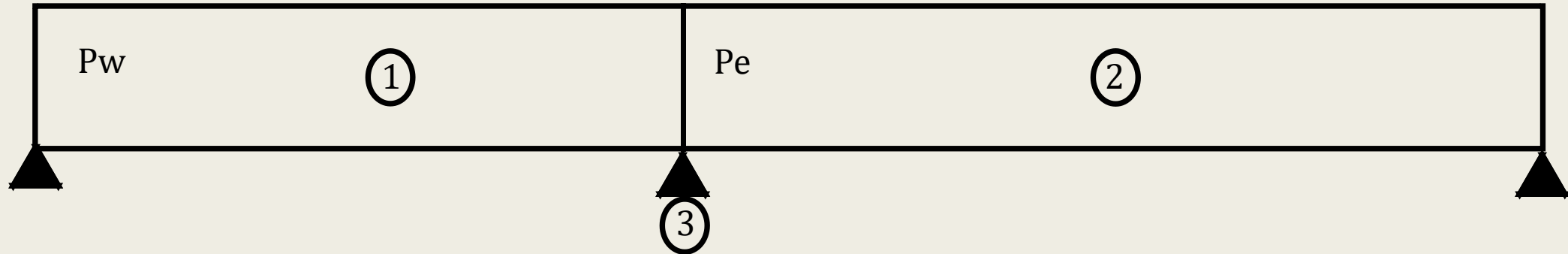
FERRAILLAGE DE LA POUTRE A1-J1

Flexion

Ferraillage de la poutre A1-J1 : flexion

- $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$
 - $f_{cd} = 33,3 \text{ MPa}$
 - $\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$
- Déterminer M_{Ed}

Ferraillage de la poutre A1-J1 : flexion



Partie 1 de la poutre

$$g = 6,175 \cdot (5,75 + 1,7) + 0,5 \cdot 0,7 \cdot 25$$

$$g = 54,8 \text{ kN/ml}$$

$$q = 6,175 \cdot 2,5$$

$$q = 15,4 \text{ kN/ml}$$

$$P_{w,ELU} = 1,35g + 1,5q = 97,08 \text{ kN/ml}$$

$$P_{w,ELS,QP} = g + 0,5q = 59,4 \text{ kN/ml}$$

$$P_{w,ELS,CR} = g + 0,7q = 65,6 \text{ kN/ml}$$

$$P_{w,ELS,0.3q} = 4,62 \text{ kN/ml}$$

$$M(x=L/2) = \frac{P_{Ed} \cdot L^2}{8} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{a}{L} \right)^2 \right]$$

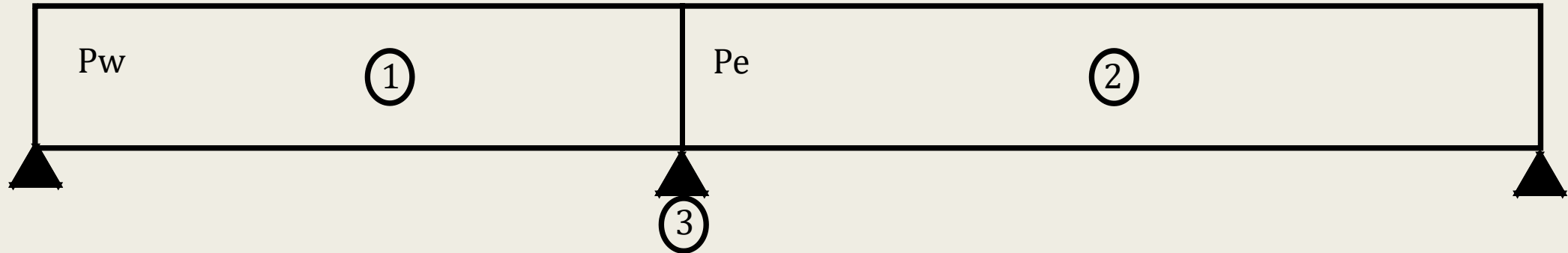
$$M_{ELU} = 784,9 \text{ kN.m}$$

$$M_{ELS,QP} = 480,3 \text{ kN.m}$$

$$M_{ELS,CR} = 530,4 \text{ kN.m}$$

$$M_{ELS,0.3q} = 37,4 \text{ kN.m}$$

Ferraillage de la poutre A1-J1 : flexion



Partie 2 de la poutre

$$g = 3,0875 \cdot (5,75 + 1,7) + 0,5 \cdot 0,7 \cdot 25$$

$$g = 48,2 \text{ kN/ml}$$

$$q = 3,0875 \cdot 2,5$$

$$q = 7,7 \text{ kN/ml}$$

$$P_{e,ELU} = 1,35g + 1,5q = 76,62 \text{ kN/ml}$$

$$P_{e,ELS,QP} = g + 0,5q = 50,51 \text{ kN/ml}$$

$$P_{e,ELS,CR} = g + 0,7q = 53,59 \text{ kN/ml}$$

$$P_{e,ELS,0.3q} = 2,31 \text{ kN/ml}$$

$$M(x=L/2) = \frac{P_{Ed} \cdot L^2}{8} \left[1 - \frac{4}{3} \left(\frac{a}{L} \right)^2 \right]$$

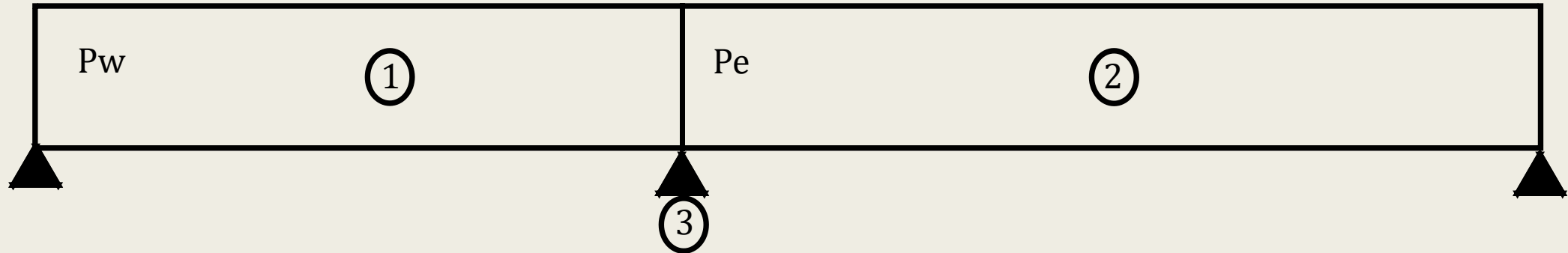
$$M_{ELU} = 934 \text{ kN.m}$$

$$M_{ELS,QP} = 615 \text{ kN.m}$$

$$M_{ELS,CR} = 653 \text{ kN.m}$$

$$M_{ELS,0.3q} = 28,2 \text{ kN.m}$$

Ferraillage de la poutre A1-J1 : flexion



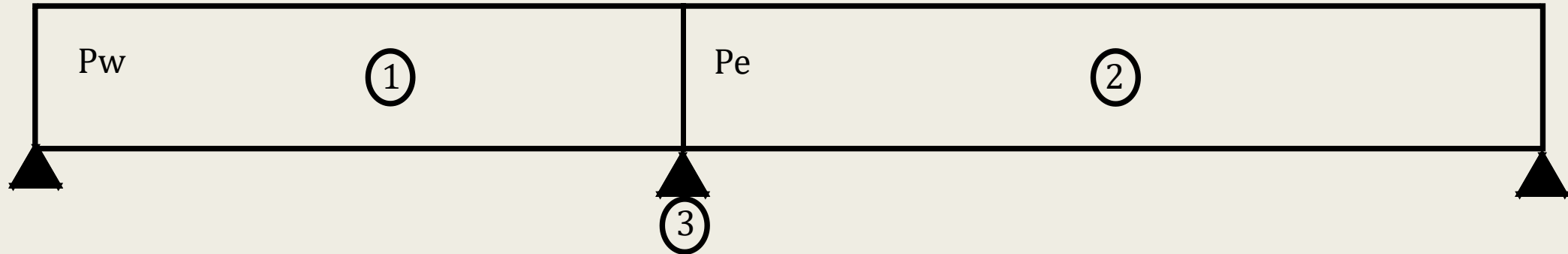
$$M_{\text{appui central}} = -\frac{P_w.L_w^3 + P_e.L_e^3}{8,5(L_w + L_e)}$$

$$M_{\text{appui,ELU}} = -1\,049 \text{ kN.m}$$

$$M_{\text{appui,ELS,QP}} = -666,7 \text{ kN.m}$$

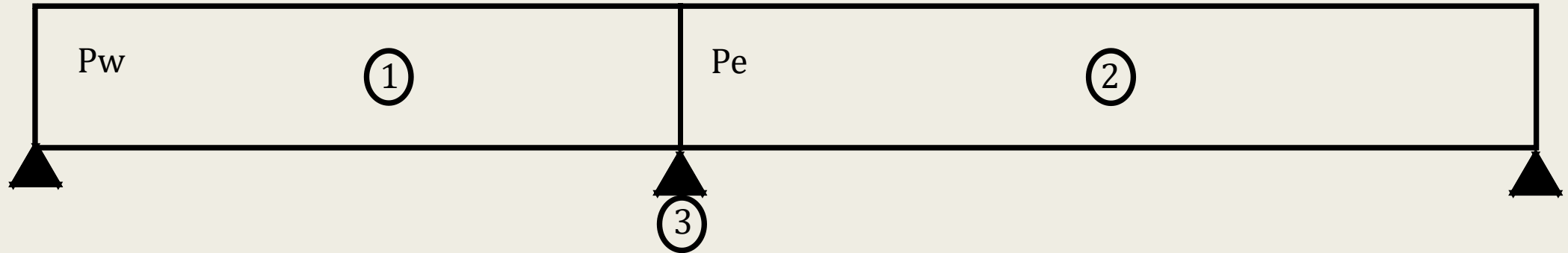
$$M_{\text{appui,ELS,CR}} = -721,1 \text{ kN.m}$$

Ferraillage de la poutre A1-J1 : flexion



	Partie 1	Partie 2	Partie 3
$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$	0,119	0,141	0,158
$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$	0,159	0,191	0,216
$Z = d(1 - 0,4\alpha)$	0,590	0,590	0,580
$A_{st} = \frac{M_{Ed}}{Z \cdot f_{yd}}$	30 cm ²	36 cm ²	42 cm ²
Aciers choisis	2 lits de 6 HA20 → 37,7 cm ²	2 lits de 6 HA20 → 37,7 cm ²	2 lits de 3 HA32 → 48,26 cm ²

Vérification des contraintes acier et béton aux ELS

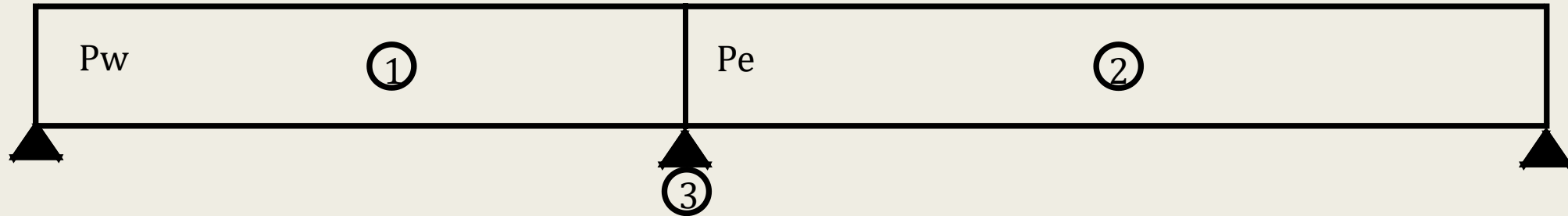


	2 lits de 6 HA20	2 lits de 3 HA32
$X_{sII} = \frac{\alpha_{eq} \cdot A_{st} + \sqrt{\alpha_{eq}^2 \cdot A_{st}^2 + 2b\alpha_{eq} \cdot A_{st} \cdot d}}{b}$	0,28 m	0,30 m
$I_{II} = \frac{b \cdot X_{sII}^3}{3}$	0,0106 m ⁴	0,0112 m ⁴

→ Calcul des contraintes

Vérification des contraintes acier et béton aux ELS

0,45f_{ck}= 22,5 MPa 0,8f_{yk}=400 MPa
0,6f_{ck}= 30 MPa



	Partie 1	Partie 2	Partie 3
$\sigma_{c,QP} = \frac{M_{sd,QP} \cdot X_{sII}}{I_{II}}$	12,68 MPa < 0,45f _{ck} → OK	16,24 MPa < 0,45f _{ck} → OK	17,9 MPa < 0,45f _{ck} → OK
$\sigma_{c,CR} = \frac{M_{sd,CR} \cdot X_{sII}}{I_{II}}$	14,01 MPa < 0,6f _{ck} → OK	17,25 MPa < 0,6f _{ck} → OK	19,3 MPa < 0,6f _{ck} → OK
$\sigma_{st,QP} = \frac{\alpha_{eq} M_{sd,QP} (d - X_{sII})}{I_{II}}$	237,7 MPa < 0,8f _{yk} → OK	304,6 MPa < 0,8f _{yk} → OK	294,65 MPa < 0,8f _{yk} → OK
$\sigma_{st,CR} = \frac{\alpha_{eq} M_{sd,CR} (d - X_{sII})}{I_{II}}$	262,5 MPa < 0,8f _{yk} → OK	323,4 MPa < 0,8f _{yk} → OK	318,7 MPa < 0,8f _{yk} → OK

Vérification de l'ouverture des fissures $\leq 300\mu\text{m}$

Classe XC3 $\rightarrow W_{\text{max}}=0,30$ mm

$$W_k = S_{r,\text{max}} (\epsilon_{\text{sm}} - \epsilon_{\text{cm}})$$

\rightarrow Calcul de $(\epsilon_{\text{sm}} - \epsilon_{\text{cm}})$

\rightarrow Calcul de $S_{r,\text{max}}$

Vérification de l'ouverture des fissures $\leq 300\mu\text{m}$ - Calcul de $(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$

$$f_{ctm} = 4,07 \text{ Mpa}$$

$$k_t = 0,4 \text{ (à long terme)}$$

$$h_{c,eff} = \min \left[2,5(h - d); \frac{h - X_{sII}}{3}; \frac{h}{2} \right] = 0,13\text{m}$$

$$A_{c,eff} = b_w \cdot h_{c,eff} = 0,065 \text{ m}^2$$

	HA20	HA32
$\rho_{\rho,eff} = \frac{A_{st}}{A_{c,eff}}$	5,8%	7,4%

	Partie 1	Partie 2	Partie 3
$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\max \left(\left[(\sigma_{st,II} - k_t \cdot \frac{f_{ctm} (1 + \alpha_{eq} \cdot \rho_{\rho,eff})}{\rho_{\rho,eff}}); 0,6\sigma_{st,II} \right] \right)}{E_s}$	0,00117	0,00151	0,00146

Vérification de l'ouverture des fissures $\leq 300\mu\text{m}$ – Calcul de $S_{r,\text{max}}$

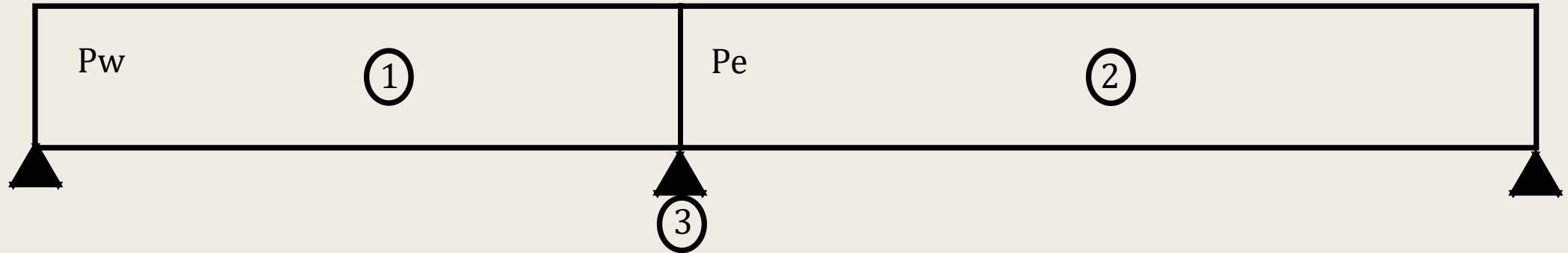
$$c = c_{\text{nom}} + 1,2\Phi_{\text{cadre}} = 79,4 \text{ mm}$$

$$k_1 = 0,8 \text{ (aciers HA)} \quad k_3 = \min \left[3,4; 3,4 * \left(\frac{25}{c} \right)^{\frac{2}{3}} \right] = 1,57$$

$$k_2 = 0,5 \text{ (flexion)} \quad k_4 = 0,425$$

	HA20 (parties 1 et 2)	HA32 (partie 3)
Φ	20 mm	32 mm
$a = \frac{b_w - 2c}{\text{nombre aciers longi du lit inf} - 1}$	68,24 mm	170,6 mm
$a + \Phi$	88,24 mm $\leq 5(c + \frac{\Phi}{2}) = 447$ mm → OK	202,6 mm $\leq 5(c + \frac{\Phi}{2}) = 477$ mm → OK
$S_{r,\text{max}} = \frac{k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \Phi}{\rho_{\rho,\text{eff}}}$	183 mm	198 mm

Vérification de l'ouverture des fissures $\leq 300\mu\text{m}$ – Bilan



	Partie 1	Partie 2	Partie 3
$W_k = S_{r_{\max}}(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$	214 μm → OK	276 μm → OK	289 μm → OK

Calcul des flèches

On ne calcule les flèches que pour les parties 1 et 2

$$X_{sI} = \frac{\alpha_{eq} \cdot A_{st} \cdot d + b \cdot \frac{h^2}{2}}{\alpha_{eq} \cdot A_{st} + b \cdot h} = 0,389$$

$$I_I = b \cdot \frac{X_{sI}^3}{3} + \frac{b(h - X_{sI})^3}{3} + \alpha_{eq} \cdot A_{st} (d - X_{sI})^2 = 0,018$$

$$M_{Cracking} = \frac{f_{ctm} \cdot I_I}{h - X_{sI}} = 0,237$$

$$\beta = 0,5$$

→ Calcul de f_I et f_{II}

Calcul des flèches - Calcul de f_I et f_{II}

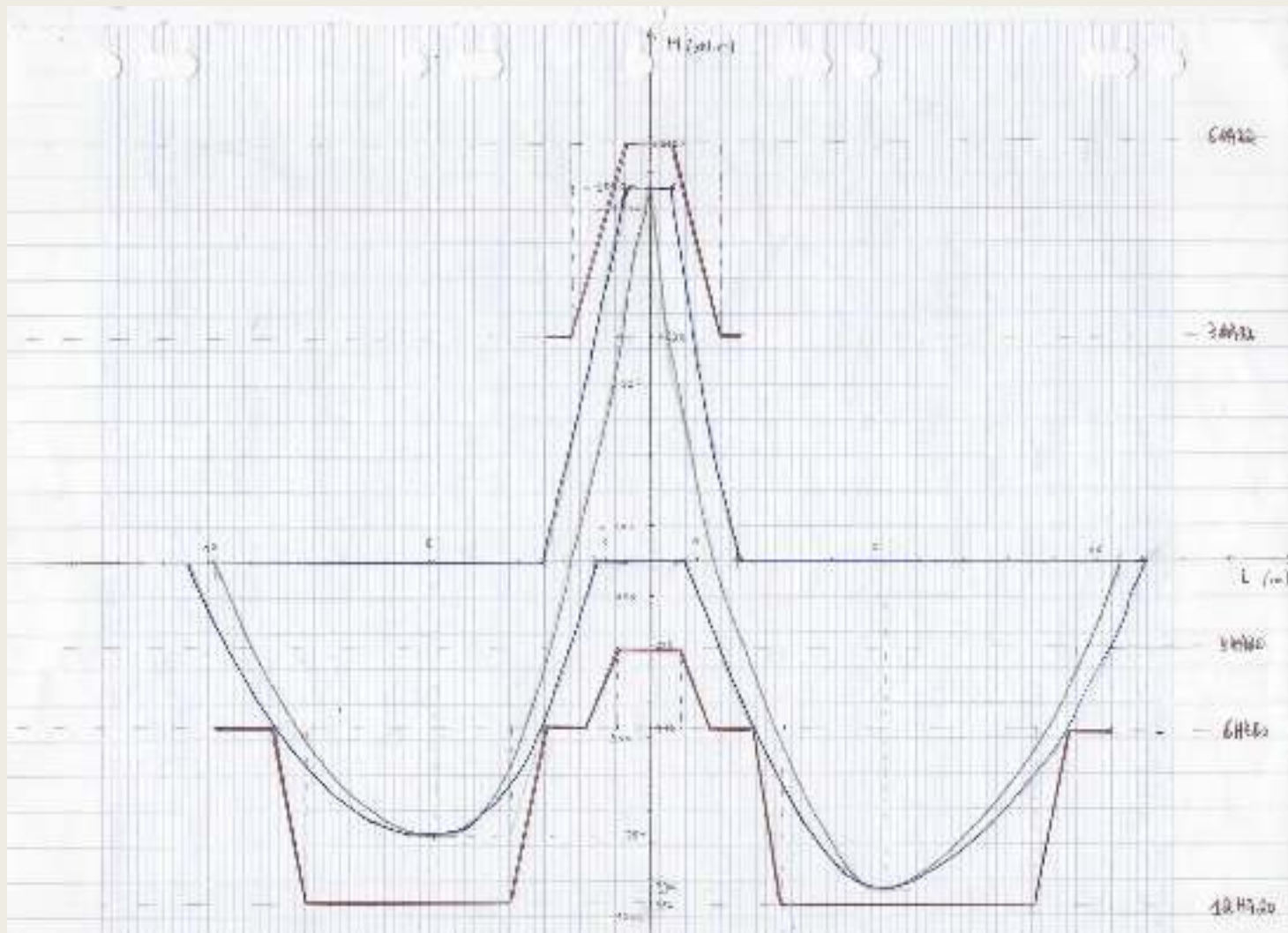
	Partie 1	Partie 2
$\xi = \max \left[1 - \beta - \left(\frac{M_{Cracking}}{M_{ELS,QP}} \right)^2 ; 0 \right]$	88%	93%
$f_I = \frac{M_{ELS,QP} \cdot L^2}{10E_{cm} \cdot I_I}$	6,8 mm	9,9 mm
$f_{II} = \frac{M_{ELS,QP} \cdot L^2}{10E_{cm} \cdot I_{II}}$	11,5 mm	16,8 mm

→ Vérification des flèches

Vérification des flèches – calculs de $f_{\text{diff},M_{\text{els},q}}$ et $f_{\text{diff},0.3q}$

	Partie 1 (L=9,85 m)	Partie 2 (L= 10,5 m)
$f_{\text{inst}M_{\text{ELS}q}} = \xi f_{\text{II}} + (1 - \xi) f_{\text{I}}$	10,9 mm	16,3 mm
$f_{\text{diff}M_{\text{ELS}q}} = f_{\text{inst}M_{\text{ELS}q}} (1 + \varphi)$	32,7 mm < $\frac{L}{250} = 39$ mm → OK	48,9 mm > $\frac{L}{250} = 42$ mm → NOK
$f_{\text{diff}0.3q} = \frac{f_{\text{diff}M_{\text{ELS}q}}}{M_{\text{ELS}q} \cdot M_{0.3q}}$	2,9 mm < $\frac{L}{500} = 20$ mm → OK	3,3 mm < $\frac{L}{500} = 22$ mm → OK

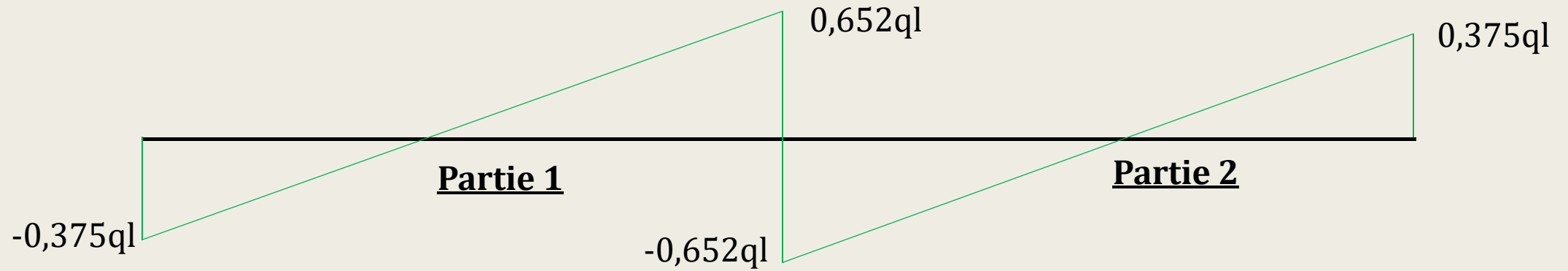
Epure d'arrêt des barres



FERRAILLAGE DE LA POUTRE A1-J1

Effort tranchant

Compression des bielles – V_{Ed}



$g=267,2 \text{ kN/ml}$
 $q=60,75 \text{ kN/ml}$

ELU : $451,8 \text{ kN} \rightarrow 282,4 \text{ kN}$
Partie 1

$g= 262,5 \text{ kN/ml}$
 $q= 57,3 \text{ kN/ml}$

ELU : $451,8 \text{ kN} \rightarrow 282,4 \text{ kN}$
Partie 2

$V_{Ed} = 282,4 \text{ kN}$

Compression des bielles – $V_{Rd,max}$ et $V_{Rd,s}$

$$V_{Rd,max} = 0.27 * b_w \cdot d \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} = 2,04 \text{ MN} > V_{Ed} = 281 \text{ kN} \rightarrow \text{OK}$$

$$V_{Rd,s} = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) \cdot z \cdot f_{ywd} = 516 \text{ kN} > V_{Ed} \rightarrow \text{OK}$$

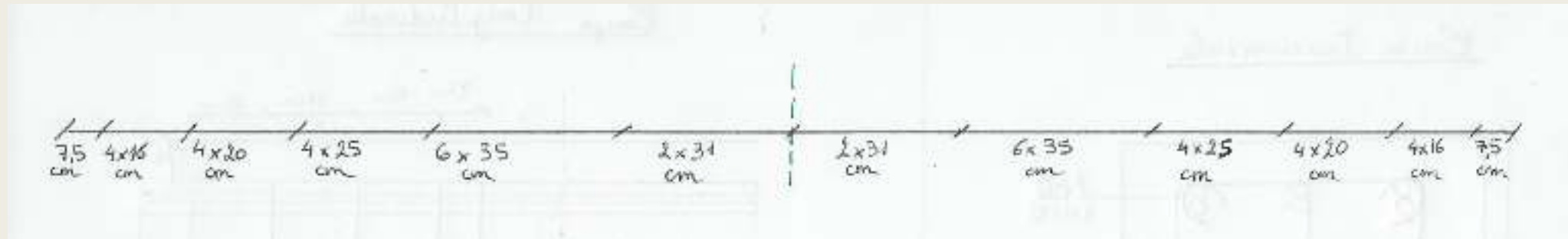
Répartition des cadres – méthode de Caquot

$$S_{l,max} = 0,75d. (1 + \cot(\alpha)) = 47,2 \text{ cm}$$

On choisit un espacement $S_0 = 16 \text{ cm}$

$$\frac{S_0}{2} = 8 \text{ cm}$$

$$n = \left\lfloor \frac{\text{portée}}{2} \right\rfloor = 4$$



Compression et ancrage de la bielle d'about

Compression

$$\sigma_{\text{bielle}} = \frac{V_{\text{Ed}}}{a \cdot b_w \cdot \sin^2 \theta} = 5,62 \text{ MPa}$$

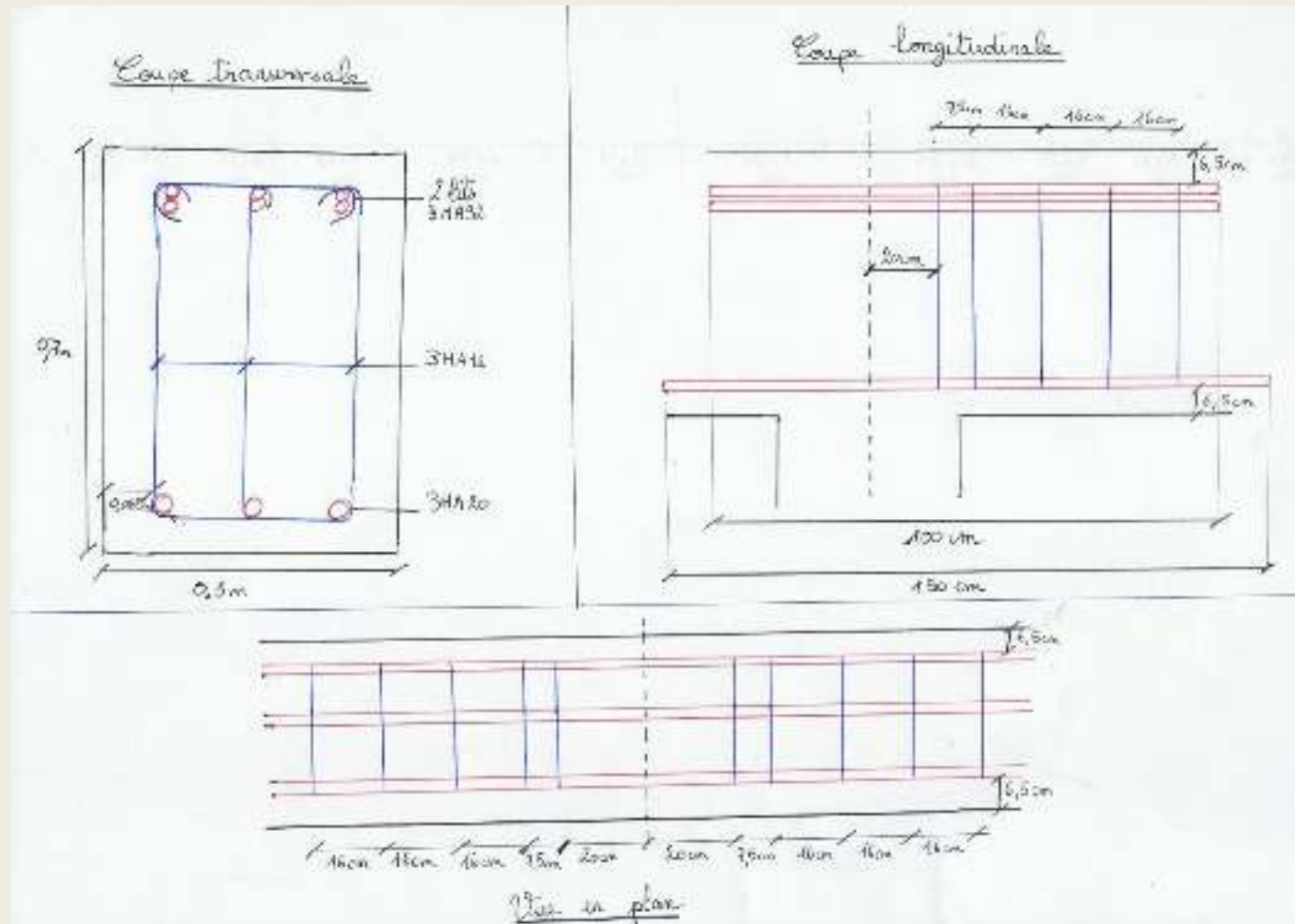
$$\sigma_{\text{Rd,max}} = k_2 \cdot V' \cdot f_{\text{cd}} = 26,64 \text{ MPa} > \sigma_{\text{bielle}} \rightarrow \text{OK}$$

Ancrage

$$\Delta F_{\text{td}} = \frac{V_{\text{Ed}}}{2} = 140,5 \text{ kN}$$

$$F_{\text{trd}} = A_{\text{s,inf,appui}} \cdot f_{\text{yd}} = 409,8 \text{ kN} > \Delta F_{\text{td}} \rightarrow \text{OK}$$

Schémas de ferrailage



FERRAILLAGE DU PLANCHER D2-J1

Flexion

Calcul des moments

$$M_{xx} = \mu_x \cdot p \cdot Lx^2 \text{ et } M_{yy} = \mu_y \cdot M_{xx}$$

$$\text{Avec : } \mu_x = 0,0801 \text{ et } \mu_y = 0,305$$

$$P = 13,8 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{xx} = 42,6 \text{ kN.m (max)}$$

$$M_{yy} = 13,0 \text{ kN.m}$$

$$\text{Appui : } M_{\text{appui}} = 0,15M_{xx} = 6,39 \text{ kN.m}$$

Calcul de la surface d'acier

$f_{ck}=50$ MPa

$f_{cd}=33,3$ MPa

	M_{xx}	M_{yy}	M_{appui}
$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$	0,0299	0,00911	0,0048
$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$	0,0379	0,0114	0,0060
$Z = d(1 - 0,4\alpha)$	0,204	0,206	0,207
$A_{st} = \frac{M_{Ed}}{Z \cdot f_{yd}}$	4,8 cm ²	1,5 cm ²	0,71 cm ²
Treillis choisis	ST50		ST15

Vérification des contraintes acier-béton aux ELS

$$P_{QP}=8,2 \text{ kN/m}^2$$

$$P_{CR}=9,2 \text{ kN/m}^2$$

	M_{xx}	M_{yy}
X_{sII}	0,049 m	0,028 m
I_{II}	$2,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$	$0,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$
$M_{sd,QP}$	25,3 kN.m	7,72 kN.m
$M_{sd,CR}$	28,4 kN.m	8,7 kN.m

Vérification des contraintes acier-béton aux ELS

	M_{xx}	M_{yy}
$\sigma_{c,QP}$	5,43 MPa	2,73 MPa
$\sigma_{c,CR}$	6,20 MPa	3,12 MPa
$\sigma_{st,QP}$	263 MPa	262 MPa
$\sigma_{st,CR}$	295 MPa	295 MPa

FERRAILLAGE DU PLANCHER D2-J1

Effort tranchant

Besoin en aciers d'effort tranchant

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s.bw.\sin\alpha} = 38\% \quad \text{Taux d'acier d'effort tranchant}$$

$$\rho_{w,\min} = \frac{0,08\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,1\% \quad \text{Taux minimal}$$

$$S_{l,\max} = S_{t,\max} = 150 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm}$$

Schéma de ferrailage

