Nom : **ARFAL**
Prénom : **Driss**

Filière : **Génie Civil**
Module : **Béton Armé**

Flexion Composée
Section Rectangulaire

❖ Calcul à l'E.L.S

$$\frac{M_s}{N_s} \le \frac{h}{6}$$

OUI → la section est entièrement comprimé

- **OUI** → Armatures Symétriques

$$v = \frac{bh\overline{\sigma_b}}{N_s} \quad ; \quad \overline{\sigma_b} = 0,6 f_{c_{28}}$$

$$\varepsilon = \frac{6M_G}{N_s h} \quad ; \quad \delta_1 = \frac{d'}{h}$$

$$0,27v\left(1-2\delta_1\right)^2 \rho^2 + 0,30\left[v - \varepsilon + 3\left(v-1\right)\left(1-2\delta_1\right)^2\right]\rho - \left(1+\varepsilon - v\right) = 0$$

$$C = 0,27v\left(1-2\delta_1\right)^2 \quad ; \quad E = 1+\varepsilon - v$$

$$D = 0,15\left[v - \varepsilon + 3\left(v-1\right)\left(1-2\delta_1\right)^2\right]$$

$$\rho = \frac{-D + \sqrt{D^2 + EC}}{C}$$

$$A = \frac{\rho b h}{100}$$

→ STOP

- **NON** → Armatures Dissymétriques

$$\rho_2' = \frac{100 A_2'}{bh} \quad ; \quad A' \text{ a donné}$$

$$\overline{\sigma_b} = 0,6 f_{c_{28}} \quad ; \quad \delta_1 = \frac{d'}{h}$$

$$M_{a,i} = M_s + N_s\left(d - \frac{h}{2}\right) \quad ; \quad \mu_1' = \frac{M_{a,i}}{bh^2\overline{\sigma_b}}$$

$$M_{a,s} = M_s - N_s\left(\frac{h}{2} - d'\right) \quad ; \quad \mu_2' = \frac{M_{a,s}}{bh^2\overline{\sigma_b}}$$

$$\lambda = \frac{3\delta_1 - 6\mu_2 - 1 - 0,9\delta_1\left(1-2\delta_1\right)\rho_2'}{0,9\left(1-\delta_1\right)\left(1-2\delta_1\right)\rho_2' + 2 - 3\delta_1}$$

$$\rho_1' = \frac{6\mu_1' - \left[2 - 3\delta_1\left(1-3\delta_1\right)\lambda\right]}{0.9\left(1-\delta_1 + \lambda\delta_1\right)\left(1-2\delta_1\right)}$$

$$A_1' = \frac{\rho_1' b h}{100}$$

→ STOP

NON → la section est partiellement comprimé

$$\mu = \frac{M_1}{b d^2 \sigma_{bc}}$$

$$tableaux \Rightarrow \alpha_1$$

$$\sigma_b = \frac{\alpha_1 \overline{\sigma_s}}{15\left(1-\alpha_1\right)} < \overline{\sigma_b}$$

- **OUI** → Armatures Simple

$$A_{st} = \frac{0,5 b \alpha_1 d \sigma_b - N_s}{\overline{\sigma_s}}$$

→ STOP

- **NON** → Armatures Doubles

$$\sigma_b = \overline{\sigma_b} \quad ; \quad \sigma_s = \overline{\sigma_s}$$

$$\alpha_1 = \frac{15\overline{\sigma_b}}{15\overline{\sigma_b} + \overline{\sigma_s}} \quad ; \quad y_1 = \alpha_1 d$$

$$\sigma_s' = \frac{15\left(y_1 - d'\right)}{y_1}\overline{\sigma_b}$$

$$A_{sc} = \frac{M_1 - \frac{1}{2}by_1\overline{\sigma_b}\left(d - \frac{y_1}{3}\right)}{\left(d-d'\right)\sigma_s'}$$

$$A_{st} = \frac{\frac{1}{2}by_1\overline{\sigma_b} + A_{sc}\sigma_s' - N_s}{\overline{\sigma_s}}$$

→ STOP

Nom : **ARFAL**
Prénom : **Driss**

Filière : **Génie Civil**
Module : **Béton Armé**

Flexion Composée

Section Rectangulaire

- Calcul à l'E.L.U

$$\left(0,337h-0,81d'\right)bh\sigma_{bc}\leq N_u\left(d-d'\right)-M_1$$

$$M_1=M_u+N_u\left(d-\frac{h}{2}\right)$$

OUI → la section est entièrement comprimé

$$N_u\left(d-d'\right)-M_1<\left(0,5h-d'\right)bh\sigma_{bc}$$

OUI → Armatures Simple

$$\psi=\frac{0,3571+\dfrac{N_u\left(d-d'\right)-M_1}{bh^2\sigma_{bc}}}{0,8571-\dfrac{d'}{h}}$$

$$\varepsilon_s^{'}=2\text{‰}+\left(3,437-8,019\frac{d'}{h}\right)\sqrt{1-\psi}$$

$$\sigma_s^1=\begin{cases}E\varepsilon_e & Si\quad \varepsilon_s^{'}<\varepsilon_e\\ f_e/\gamma_s & Si\quad \varepsilon_s^{'}>\varepsilon_e\end{cases}$$

$$A_1=\frac{N_u-\psi bh\sigma_{bc}}{\sigma_s^1}$$

$$A_2=0$$

→ STOP

NON → Armatures Doubles

$$A_1=\frac{M_1-\left(d-0,5h\right)bh\sigma_{bc}}{\left(d-d'\right)\sigma}$$

$$A_2=\frac{N_u-bh\sigma_{bc}}{\sigma}-A_1$$

→ STOP

NON → la section est partiellement comprimé

$$\mu=\frac{M_1}{bd^2\sigma_{bc}}\leq\mu_R$$

OUI → Armatures Simple

$$\alpha=1,25\left(1-\sqrt{1-2\mu}\right)$$

$$Z=d\left(1-0,4\alpha\right)$$

$$A_{st}=\left(\frac{M_1}{Z}-N_u\right)\frac{1}{f_e/\gamma_s}$$

→ STOP

NON → Armatures Doubles

$$M_R=\mu_R bd^2\sigma_{bc}$$

$$Z_R=d\left(1-0,4\alpha_R\right)$$

$$\varepsilon_{sc}=\left(3,5\text{‰}+\varepsilon_e\right)\frac{d-d'}{d}-\varepsilon_e$$

$$\sigma_{sc}=\begin{cases}E\varepsilon_e & Si\quad \varepsilon_{sc}<\varepsilon_e\\ f_e/\gamma_s & Si\quad \varepsilon_{sc}>\varepsilon_e\end{cases}$$

$$A_{st}=\left[\frac{M_1-M_R}{d-d'}+\frac{M_R}{Z_R}-N_u\right]\frac{1}{f_e/\gamma_s}$$

$$A_{sc}=\frac{M_1-M_R}{\left(d-d'\right)\sigma_{sc}}$$

$$A_{st}\leq 0\Rightarrow A_{st}=A_{min}=0,23bd\frac{f_{t_{28}}}{f_e}$$

→ STOP

Nom : **ARFAL**
Prénom : **Driss**

Flexion Composée
Section Rectangulaire

❖ Calcul à l'E.L.U

$N_u \leq 0$
Effort de Traction

→ $|e| = \left|\frac{M_u}{N_u}\right| \leq \frac{h}{2} - d'$

→ Centre de Pression se trouve entre les armatures section entièrement tendue

→ $e_2 = d - \frac{h}{2} - \frac{M_u}{N_u}$; $e_2 = d - d' - e_1$

→ $A_1 = \frac{N_u e_2}{(d-d') f_e / \gamma_s}$ → $A_1 + A_2 > A_{min} = \frac{B f_{t_{28}}}{f_e}$ → $A_1 = A_2 = \frac{N_u}{2 f_e / \gamma_s}$

→ $A_2 = \frac{N_u e_1}{(d-d') f_e / \gamma_s}$

→ $|e| = \left|\frac{M_u}{N_u}\right| \leq \frac{h}{2} - d'$ → Section partiellement comprimé

❖ Calcul à l'E.L.S

$N_s \leq 0$
Effort de Traction

→ $|e| = \left|\frac{M_s}{N_s}\right| \leq \frac{h}{2} - d'$

→ Centre de Pression se trouve entre les armatures section entièrement tendue

→ $e_2 = d - \frac{h}{2} - \frac{M_u}{N_u}$; $e_2 = d - d' - e_1$

→ $A_1 = \frac{N_s e_2}{(d-d') \overline{\sigma_s}}$ → $A_1 + A_2 > A_{min} = \frac{B f_{t_{28}}}{f_e}$ → $A_1 = A_2 = \frac{N_u}{2 \overline{\sigma_s}}$

→ $A_2 = \frac{N_s e_1}{(d-d') \overline{\sigma_s}}$

→ $|e| = \left|\frac{M_s}{N_s}\right| \leq \frac{h}{2} - d'$ → Section partiellement comprimé

❖ Vérification à l'E.L.S

La vérification est seulement pour les FP et FTP

$Z_s = e_1 + e_2 = d - d'$ → $\sigma_{s_1} = \frac{N_s e_2}{Z A_1}$ → $\sigma_{s_2} = \frac{N_s e_1}{Z A_2}$

Nom : **ARFAL** | Filière : **Génie Civil**
Prénom : **Driss** | Module : **Béton Armé**

Flexion Simple
Section
En Té

- <u>Vérification à l'E.L.S</u>

Donné : A_{st}, A_{sc} *réel*

↓

$$H_1 = bh_0^2 + 30A_{sc}\left(h_0 - d'\right) - 30A_{st}\left(d - h_0\right)$$

$H_1 \geq 0$
Axe neutre se trouve dans la table

↓

Calcul des contraintes à ELS pour une section rectangulaire $\left(b \times h\right)$

$H_1 < 0$
Axe neutre se trouve dans la nervure

↓

$$A = by_1^2 + \left[2\left(b-b_0\right)h_0 + 30\left(A_{sc} + A_{st}\right)\right]y_1 - \left[\left(b-b_0\right)h_0^2 + 30\left(A_{sc}d' + A_{st}d\right)\right] = 0$$

↓

$$I_{gg'} = \frac{by_1^3 - \left(b-b_0\right)\left(y_1 - h_0\right)^3}{3} + 15\left[A_{sc}\left(y_1 - d'\right)^2 + A_{st}\left(d - y_1\right)^2\right]$$

↓

$$K = M_s / I_{gg'}$$

↓

$$\sigma_b = K.y_1$$
$$\sigma_s' = 15K\left(y_1 - d'\right)$$
$$\sigma_s = 15K\left(d - y_1\right)$$

FP

$$\overline{\sigma}_b = 0,6 f_{c28}$$
$$\overline{\sigma}_{st} = \min\left(\frac{2}{3}f_e ; 110\sqrt{\eta f_{tj}}\right)$$

FPP

$$\overline{\sigma}_b = 0,6 f_{c28}$$
$$\overline{\sigma}_{st} = f_e / \gamma_s$$

FTP

$$\overline{\sigma}_b = 0,6 f_{c28}$$
$$\overline{\sigma}_{st} = \min\left(\frac{1}{2}f_e ; 90\sqrt{\eta f_{tj}}\right)$$

Flexion Simple
Section
En Té

❖ <u>Calcul à l'E.L.S</u>

$$M_t = \frac{b h_0^2 \left(d - \frac{h_0}{3} \right) \overline{\sigma_s}}{30 \left(d - h_0 \right)}$$

Cas 1 :

$M_s \leq M_t \Rightarrow y_1 \leq h_0$
Axe neutre se trouve dans la table

Calcul à ELS pour une section rectangulaire $(b \times h)$

Cas 2 :

$M_s > M_t \Rightarrow y_1 > h_0$
Axe neutre se trouve dans la nervure

$$\beta = \frac{b_0}{b} \ ; \ \theta = \frac{h_0}{h} \ ; \ 15\mu_1 = \frac{15 M_s}{b d^2 \overline{\sigma_s}}$$

$Abaque \Rightarrow \alpha_1$

$$y_1 = \alpha_1 . d$$

$$Z = d - \frac{h_0}{2} + \frac{b h_0^3 - b_0 \left(y_1 - h_0 \right)^2 \left(2 y_1 + h_0 \right)}{6 \left[b y_1^2 - \left(b - b_0 \right) \left(y_1 - h_0 \right)^2 \right]}$$

$$\sigma_b = \frac{\alpha_1 \overline{\sigma_s}}{15 \left(1 - \alpha_1 \right)}$$

- $\sigma_b \leq \overline{\sigma_b} = 0,6 f_{c_{28}}$

$$A = \frac{M_s}{Z \overline{\sigma_s}}$$

STOP

- $\sigma_b > \overline{\sigma_b} = 0,6 f_{c_{28}}$

$$\sigma_b = \overline{\sigma_b} \ ; \ \sigma_{st} = \overline{\sigma_s} \ ; \ k_1 = \frac{\overline{\sigma_s}}{\overline{\sigma_b}} \ ; \ \alpha_1 = \frac{15}{15 + k_1} \ ; \ y_1 = \alpha_1 d \ ; \ \sigma_s' = \frac{15 \left(y_1 - d' \right)}{y_1} \overline{\sigma_b}$$

$$F_b = \left[b_0 y_1 + \left(b - b_0 \right) h_0 \left(2 - \frac{h_0}{y_1} \right) \right] \frac{\overline{\sigma_b}}{2}$$

$$A' = \frac{M_s - F_b Z}{\left(d - d' \right) \sigma_s'} \rightarrow A = \frac{F_b + A' \sigma_s'}{\overline{\sigma_s}} \rightarrow \text{STOP}$$

Flexion Simple
Section
En Té

❖ Calcul à l'E.L.S

$$M_t = \frac{b h_0^2 \left(d - \frac{h_0}{3} \right) \overline{\sigma_s}}{30\left(d - h_0\right)}$$

$M_s \leq M_t \Rightarrow y_1 \leq h_0$
Axe neutre se trouve dans la table

Calcul à ELS pour une section rectangulaire $(b \times h)$

$M_s > M_t \Rightarrow y_1 > h_0$
Axe neutre se trouve dans la nervure

$$\beta = \frac{b_0}{b} \;;\; \theta = \frac{h_0}{h} \;;\; 15\mu_1 = \frac{15 M_s}{b d^2 \overline{\sigma_s}}$$

$Abaque \Rightarrow \alpha_1$

$$y_1 = \alpha_1 . d$$

$$Z = d - \frac{h_0}{2} + \frac{b h_0^3 - b_0\left(y_1 - h_0\right)^2\left(2y_1 + h_0\right)}{6\left[b y_1^2 - \left(b - b_0\right)\left(y_1 - h_0\right)^2\right]}$$

$$\sigma_b = \frac{\alpha_1 \overline{\sigma_s}}{15\left(1 - \alpha_1\right)}$$

$\sigma_b \leq \overline{\sigma_b} = 0{,}6 f_{c_{28}}$

$$A = \frac{M_s}{Z \overline{\sigma_s}}$$

$\sigma_b > \overline{\sigma_b} = 0{,}6 f_{c_{28}}$

$$\sigma_b = \overline{\sigma_b} \;;\; \sigma_{st} = \overline{\sigma_s} \;;\; k_1 = \frac{\overline{\sigma_s}}{\overline{\sigma_b}} \;;\; \alpha_1 = \frac{15}{15 + k_1} \;;\; y_1 = \alpha_1 d \;;\; \sigma_s' = \frac{15\left(y_1 - d'\right)}{y_1}\overline{\sigma_b}$$

$$F_b = \left[b_0 y_1 + \left(b - b_0\right) h_0 \left(2 - \frac{h_0}{y_1} \right) \right] \frac{\overline{\sigma_b}}{2}$$

$$A' = \frac{M_s - F_b Z}{\left(d - d'\right)\sigma_s'} \longrightarrow A = \frac{F_b + A'\sigma_s'}{\overline{\sigma_s}} \longrightarrow \text{STOP}$$

Nom : **ARFAL**
Prénom : **Driss**

Filière : **Génie Civil**
Module : **Béton Armé**

Flexion Simple
Section
En Té

❖ <u>Calcul à l'E.L.U</u>

$$M_b^T = b\,h_0\,\sigma_{bc}\left(d - \frac{h_0}{2}\right)$$

Cas 1 :

$M_u \le M_b^T$

La table n'est pas entièrement comprimée

↓

Calcul comme si on a une section rectangulaire $(b \times h)$

Cas 2 :

$M_u > M_b^T$

La table est entièrement comprimée

↓

$$M_b^2 = M_u - (b - b_0)\,h_0\,\sigma_{bc}\left(d - \frac{h_0}{2}\right)$$

↓

$$\mu_2 = \frac{M_b^2}{b_0 . d^2 . \sigma_{bc}}$$

Cas 2.1 :

$\mu_2 < \mu_R$

Section avec armatures simples

↓

$$\alpha_2 = 1{,}25\left(1 - \sqrt{1 - 2\mu_2}\right)$$

↓

$$y_2 = \alpha_2 .\ d$$

↓

$$A_{st} = \left[(b - b_0)\,h_0 + 0{,}8\ \alpha_2\ b_0\ d\right]\frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{st}}$$

↓

STOP

Cas 2.2 :

$\mu_2 \ge \mu_R$

Section avec armatures comprimées

↓

$$\mu_2 = \mu_R \quad et \quad \alpha_2 = \alpha_R$$

↓

$$M_b^2 = M_R = \mu_R\ b_0\ d^2 \sigma_{bc}$$

↓

$$M_b^1 = (b - b_0)\,h_0 \sigma_{bc}\left(d - \frac{h_0}{2}\right)$$

↓

$$\varepsilon_{sc} = 3{,}5\left(1 - \frac{d'}{\alpha_R d}\right) = \begin{cases} si \quad \varepsilon_{sc} \le \varepsilon_e \Rightarrow \sigma_{sc} = E_s . \varepsilon_{sc} \\ si \quad \varepsilon_{sc} \ge \varepsilon_e \Rightarrow \sigma_{sc} = f_e / \gamma_s \end{cases}$$

↓

$$A_{sc} = \frac{M_u - M_b^1 - M_R}{(d - d')\,\sigma_{sc}}$$

↓

$$A_{st} = \frac{(b - b_0)\,h_0 \sigma_{bc} + 0{,}8\ \alpha_R\ b_0\ d \sigma_{bc} + A_{sc}\sigma_{sc}}{f_e / \gamma_s}$$

↓

STOP

Nom : **ARFAL**
Prénom : **Driss**

Filière : **Génie Civil**
Module : **Béton Armé**

Flexion Simple

Section Rectangulaire

❖ <u>Calcul à l'E.L.U.</u>

$M_u(MN)$
$b(m)$
$d(m)$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b\,d^2\,\sigma_{bc}}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{0,85}{\theta.\gamma_b}.f_{c28}$$
$$\theta = 1; \quad \gamma_b = 1,5$$

$$y_1 = \alpha_1.d$$
$$d = 0,9h$$
$$b = 0,4h$$

$0 \leq \mu_u \leq 0,104$

Béton travail mal
⬇
Redimensionner la section du béton

$0,104 \leq \mu_u \leq \mu_1$

Béton et l'Acier sont bien utilisés
⬇
Armatures simples

$\mu_u \geq \mu_1$

Acier mal utilisé
⬇
Introduire les armatures comprimées

$$\mu = 0,8.\alpha_1.(1-0,4\alpha_1)$$
$$\alpha_1 = \frac{\varepsilon_{bc}}{\varepsilon_{bc} + \varepsilon_{es}}$$

$$\alpha = 1,25\left(1-\sqrt{1-2\mu_u}\right)$$

$$Z = d\,(1-0,4\alpha)$$

$M_u(MN.m)$
$f_e/\gamma_s\,(MPa)$
$Z(m)$
$\Big\} \times 10^4$

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z\,.\,f_e/\gamma_s}$$

$$\varepsilon_{sc} = (3,5+\varepsilon_e)\frac{d-d'}{d} - \varepsilon_e$$

$b(m)$
$d(m)$

$$M_R = \mu_1.b.d^2.\sigma_{bc}$$

$$M_r = M_u - M_R$$

$$A_{st} = \frac{1}{\sigma_{st}}\left(\frac{M_r}{d-d'} + \frac{M_R}{d\,(1-0,4\alpha_1)}\right)$$

$M_r(MN.m)$
$\sigma_{sc}(MPa)$
$d, d'(m)$
$\Big\} \times 10^4$

$$A_{sc} = \frac{M_r}{(d-d')\,\sigma_{sc}}$$

$$si \quad \varepsilon_{sc} \leq \varepsilon_e \Rightarrow \sigma_{sc} = E_s.\varepsilon_{sc}$$
$$si \quad \varepsilon_{sc} \geq \varepsilon_e \Rightarrow \sigma_{sc} = f_e/\gamma_s$$

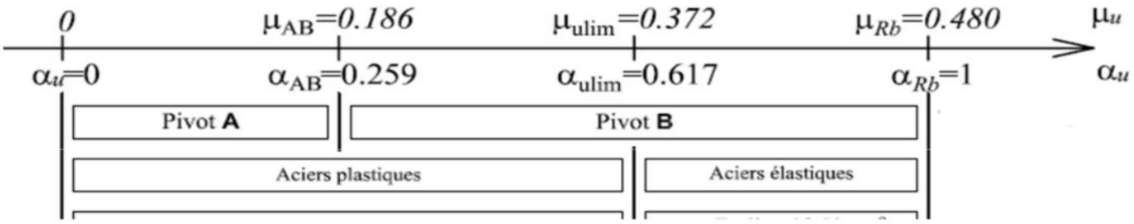
Nom : **ARFAL**
Prénom : **Driss**

Les différentes valeurs de α_1 et μ_1 suivant les nuances d'acier

Nuance	FeE215		FeE235		FeE400		FeE500	
	$\gamma_s = 1$	$\gamma_s = 1{,}15$	$\gamma_s = 1$	$\gamma_s = 1{,}15$	$\gamma_s = 1$	$\gamma_s = 1{,}15$	$\gamma_s = 1$	$\gamma_s = 1{,}15$
f_e/γ_s	215	187	235	204	400	348	500	435
$\varepsilon_{es}(‰)$	1,075	0,935	1,175	1,02	2,00	1,74	2,5	2,175
α_1	0,765	0,789	0,749	0,774	0,636	0,668	0,583	0,617
μ_1	0,425	0,432	0,420	0,427	0,379	0,392	0,358	0,372

Exemple :

Pour FeE500 dans le cas général $\gamma_s = 1{,}15$

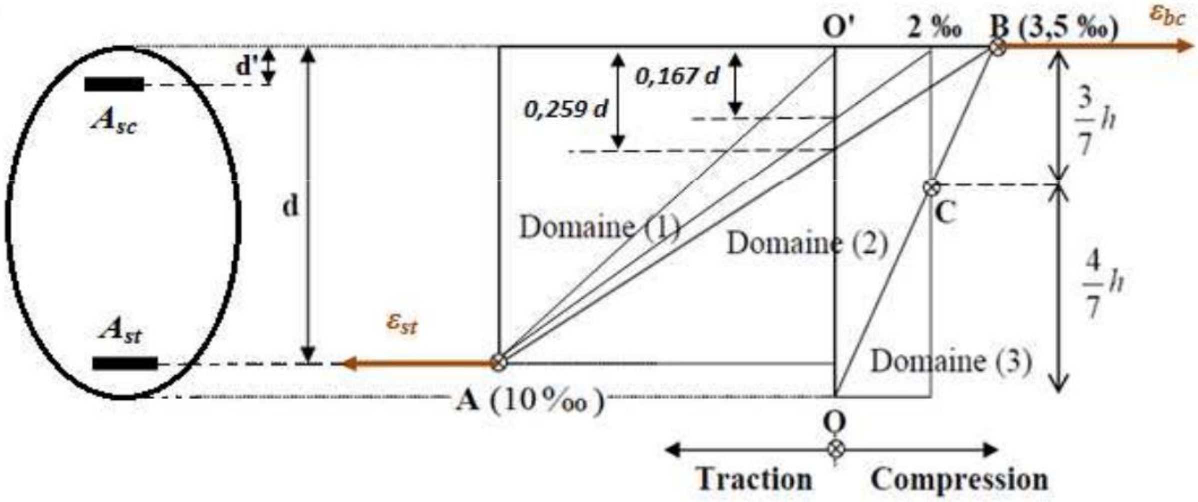


Les domaines définis par la règle des 3 pivots sont :

Domaine 1 → $\mu \leq 0{,}186$ ⇔ $0 < \alpha \leq 0{,}259$

Domaine 2-a → $0{,}186 < \mu \leq \mu_1$ ⇔ $0{,}259 < \alpha \leq \alpha_1$

Domaine 2-b → $\mu_1 < \mu \leq 0{,}48$ ⇔ $\alpha_1 < \alpha \leq 1$



Nom : **ARFAL**
Prénom : **Driss**

Filière : **Génie Civil**
Module : **Béton Armé**

Section réelles d’armatures

Section en cm² 1 à 20 armatures de diamètre ϕ en mm

Nbr \ ϕ	**5**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**16**	**20**	**25**	**32**	**40**
1	0,20	0,28	0,50	0,79	1,13	1,54	2,01	3,14	4,91	8,04	12,57
2	0,39	0,57	1,01	1,57	2,26	3,08	4,02	6,28	9,82	16,08	25,13
3	0,59	0,85	1,51	2,36	3,39	4,62	6,03	9,42	14,73	24,13	37,70
4	0,79	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,64	32,17	50,27
5	0,98	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	15,71	24,54	40,21	62,83
6	1,18	1,70	3,02	4,71	6,79	9,24	12,06	18,85	29,45	48,25	75,40
7	1,37	1,98	3,52	5,50	7,92	10,78	14,07	21,99	34,36	56,30	87,96
8	1,57	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	25,13	39,27	64,34	100,5
9	1,77	2,54	4,52	7,07	10,18	13,85	18,10	28,27	44,18	72,38	113,1
10	1,96	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	31,42	49,09	80,42	125,7
11	2,16	3,11	5,53	8,64	12,44	16,93	22,12	34,56	54,00	88,47	138,2
12	2,36	3,39	6,03	9,42	13,57	18,47	24,13	37,70	58,91	96,51	150,8
13	2,55	3,68	6,53	10,21	14,70	20,01	26,14	40,84	63,81	104,6	163,4
14	2,75	3,96	7,04	11,00	15,83	21,55	28,15	43,98	68,72	112,6	175,9
15	2,95	4,24	7,54	11,78	16,96	23,09	30,16	47,12	73,63	120,6	188,5
16	3,14	4,52	8,04	12,57	18,10	24,63	32,17	50,27	78,54	128,7	201,1
17	3,34	4,81	8,55	13,35	19,23	26,17	34,18	53,41	83,45	136,7	213,6
18	3,53	5,09	9,05	14,14	20,36	27,71	36,19	56,55	88,36	144,8	226,2
19	3,73	5,37	9,55	14,92	21,49	29,25	38,20	59,69	93,27	152,8	238,8
20	3,93	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	62,83	98,17	160,8	251,3
21	4,12	5,94	10,56	16,49	23,75	32,33	42,22	65,97	103,1	168,9	263,9
22	4,32	6,22	11,06	17,28	24,88	33,87	44,23	69,12	108,0	176,9	276,5
23	4,52	6,50	11,56	18,06	26,01	35,41	46,24	72,26	112,9	185,0	289,0
24	4,71	6,79	12,06	18,85	27,14	36,95	48,25	75,40	117,8	193,0	301,6
25	4,91	7,07	12,57	19,63	28,27	38,48	50,27	78,54	122,7	201,1	314,2

Nom : **ARFAL** Filière : **Génie Civil**
Prénom : **Driss** Module : **Béton Armé**

Flexion Simple
Section Rectangulaire

❖ Vérification à l'E.L.S

Donné : A_{st}, A_{sc} *réel*

↓

$$by_1^2 + 30(A_{sc} + A_{st})y_1 - 30(A_{sc}d' + A_{st}d) = 0$$

↓

$$D = \frac{15(A_{st} + A_{sc})}{b} \quad et \quad E = \frac{30(A_{sc}d' + A_{st}d)}{b}$$

Tout en cm

↓

$$y_1 = \sqrt{D^2 + E} - D$$

cm

↓

$$I_{gg'} = \frac{by_1^3}{3} + 15A_{sc}(y_1 - d')^2 + 15A_{st}(y_1 - d)^2$$

$\times 10^{-8} cm^4 = m^4$

↓

$$K = M_s / I_{gg'}$$

MN/m^3

↓

$$\sigma_b = K.y_1$$
$$\sigma_s' = 15K(y_1 - d')$$
$$\sigma_s = 15K(d - y_1)$$

$y_1(m)$
$d(m)$
$d'(m)$

↓

FP	FPP	FTP
$\overline{\sigma}_b = 0,6f_{c28}$ $\overline{\sigma}_{st} = \min\left(\frac{2}{3}f_e ; 110\sqrt{\eta f_{tj}}\right)$	$\overline{\sigma}_b = 0,6f_{c28}$ $\overline{\sigma}_{st} = f_e/\gamma_s$	$\overline{\sigma}_b = 0,6f_{c28}$ $\overline{\sigma}_{st} = \min\left(\frac{1}{2}f_e ; 90\sqrt{\eta f_{tj}}\right)$

$f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{c28}$

$$\eta = \begin{cases} 1 & R.L \ et \ T.S \\ 1,6 & H.A \\ 1,3 & H.A \ de \ \phi \le 6mm \end{cases}$$

Flexion Simple
Section Rectangulaire

❖ <u>Calcul à l'E.L.S</u>

$$\mu = \frac{M_s}{b d^2 \overline{\sigma}_s}$$

$M_s (MN.m)$
$b(m)$
$d(m)$

β_1 *et* K_1 *dans le tableau en fonction de* μ

$$\sigma_b = \frac{\overline{\sigma}_s}{K_1}$$

$$\sigma_b \le \overline{\sigma}_b = 0,6 f_{c28}$$

Armatures Simples

$$A = \frac{M_s}{\beta_1 \, d \, \overline{\sigma}_s}$$

$\left.\begin{matrix} M_s (MN.m) \\ \overline{\sigma}_s (MPa) \\ d(m) \end{matrix}\right\} \times 10^4 = cm^2$

$$\sigma_b \ge \overline{\sigma}_b = 0,6 f_{c28}$$

Armatures Doubles

$$\sigma_b = \overline{\sigma}_b \; ; \; \sigma_s = \overline{\sigma}_s$$

$$K_1 = \frac{\overline{\sigma}_s}{\overline{\sigma}_b} \; ; \; \alpha_1 = \frac{15}{15 + K_1}$$

$$y_1 = \alpha_1 d \; ; \; F_b = \frac{b y_1 \overline{\sigma}_b}{2} \; ; \; \sigma_s' = \frac{15 (y_1 - d') \overline{\sigma}_b}{y_1}$$

$\sigma_s' (MPa)$
$b(m)$
$y_1 (m)$

$$A' = \frac{M_s - F_b \left(d - \frac{y_1}{3} \right)}{\overline{\sigma}_s (d - d')}$$

$\left.\begin{matrix} M_s (MN.m) \\ F_b (MN) \\ \overline{\sigma}_s (MPa) \\ d; d'; y_1 (m) \end{matrix}\right\} \times 10^{-2} = cm^2$

$$A = \frac{F_b + A' \sigma_s'}{\overline{\sigma}_s}$$

$\left.\begin{matrix} F_b (MN) \\ \sigma_s' ; \overline{\sigma}_s (MPa) \\ A'(m^2) \end{matrix}\right\} \times 10^4 = cm^2$

$$A_{st} = \frac{0,8.b.d.\sigma_{bc} + A_{sc}.\sigma_{sc}}{\sigma_{st}}$$