

Matériaux

Matériaux

1. Béton

- 1.1. Loi de comportement
- 1.2. Contraintes admissibles et facteurs de sécurité
 - 1.2.1. Annexe nationale français (NF P94-282)
 - 1.2.2. Annexe nationale belge

2. Acier

- 2.1. Loi de comportement
- 2.2. Facteurs de sécurité
- 2.3. Contrainte admissible

3. Notations

- 3.1. Contraintes
- 3.2. Déformations

4. Bibliographie

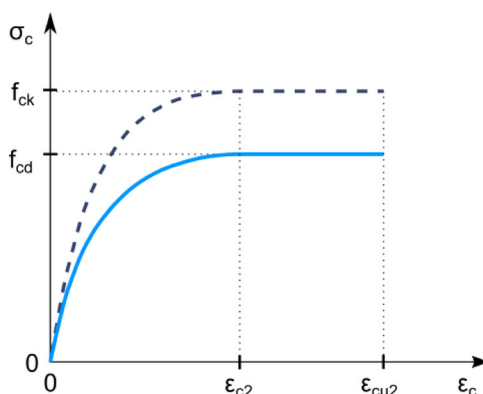
1. Béton

1.1. Loi de comportement

La loi de comportement du béton est de type élastoplastique (parabole-rectangle).

$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2}$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2} \quad (1)$$



Loi de comportement du béton (parabole-rectangle)

Tableau 1 – Caractéristiques de résistance et de déformation des bétons (tableau 3.1 de l'EC2)															Expression analytique Commentaires
Classes de résistance du béton															
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck, cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \ln(1 + (f_{cm}/10))$ > C50/60
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0,05} = 0,7 f_{ctm}$ fractile 5 %
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0,95} = 1,3 f_{ctm}$ fractile 95 %
E_{cm} (GPa) (1)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22 [(f_{cm})/10]^{0,3}$ (f_{cm} en MPa)
ε_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	voir figure 2 $\varepsilon_{c1} (\text{‰}) = 0,7 f_{cm}^{0,31} \leq 2,8$
ε_{cu1} (‰)	3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	2,8	voir figure 2 pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu1} (\text{‰}) = 2,8 + 27 [(98 - f_{cm})/100]^4$
ε_{c2} (‰)	2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	voir figure 3 pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{c2} (\text{‰}) = 2,0 + 0,085 (f_{ck} - 50)^{0,53}$
ε_{cu2} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	voir figure 3 pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu2} (\text{‰}) = 2,6 + 35 [(90 - f_{ck})/100]^4$
n	2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $n = 1,4 + 23,4 [(90 - f_{ck})/100]^4$
ε_{c3} (‰)	1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	(cf. § 3.1.7) pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{c3} (\text{‰}) = 1,75 + 0,55 [(f_{ck} - 50)/40]$
ε_{cu3} (‰)	3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	(cf. § 3.1.7) pour $f_{ck} \geq 50$ MPa $\varepsilon_{cu3} (\text{‰}) = 2,6 + 35 [(90 - f_{ck})/100]^4$

(1) Selon l'Annexe Nationale, des valeurs différentes peuvent être prises, si elles sont justifiées par des essais.

Valeurs numériques des caractéristiques mécaniques des bétons

1.2. Contraintes admissibles et facteurs de sécurité

1.2.1. Annexe nationale français (NF P94-282)

Dans ce chapitre, nous fournissons un calcul de contraintes admissibles pour un béton C30/37, conformément à la NF P94-282 §6.4.

Contrainte admissible de compression du béton (valeur caractéristique à 28 jours) :

$$f_{ck} = 30MPa \quad (2)$$

Résistance caractéristique à la compression à la mise en œuvre (Table 6.4.1.1) :

$$C_{max} = 35MPa \quad (3)$$

Coefficients empiriques (Table 6.4.1.1) :

$$k_1 = 1.30 \quad (4)$$

$$k_2 = 1.05 \quad (5)$$

Nous considérons l'absence de contrôle renforcé (Table 6.4.1.1), par conséquent :

$$k_3 = 1.00 \quad (6)$$

Résistance caractéristique à la compression :

$$f_{ck}^* = \frac{\min(f_{ck}, C_{max})}{k_1 k_2} = 21.98MPa \quad (7)$$

Conformément à la NF P94-282 §6.4.2 (7) Note 1, f_{ck}^* ne doit être utilisée que pour les vérifications de la résistance à la compression du béton.

Résistance moyenne à la compression :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8MPa = 38MPa \quad (8)$$

Résistance moyenne à la traction :

$$f_{ctm} = 0.3f_{cm}^{2/3} = 2.90MPa \quad (9)$$

Contrainte admissible en traction, valeur caractéristique (5%) :

$$f_{ct;k;0.05} = 0.7f_{ctm} = 2.03MPa \quad (10)$$

Contraintes admissibles à l'ELS (NF P94-282 §6.4.1 (8)):

- Compression moyenne :

$$\sigma_{c,mean} = 0.3k_3f_{ck}^* = 6.6MPa \quad (11)$$

- Compression maximale :

$$\sigma_{c,max} = 0.6 \cdot \min(k_3f_{ck}^*; f_{ck}) = 13.2MPa \quad (12)$$

Résistances de calcul à l'ELU (Eurocode 2 §3.1.6) :

$$\alpha_{cc} = 1.0, \alpha_{ct} = 1.0, \gamma_c = 1.5$$

- Compression :

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{\min(k_3 f_{ck}^*; C_{max})}{\gamma_c} = 14.7 MPa \quad (13)$$

- Traction :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 1.35 MPa \quad (14)$$

Résistances de calcul à l'ELU Accidentel (Eurocode 2 §3.1.6) :

$$\alpha_{cc} = 1.0, \alpha_{ct} = 1.0, \gamma_c = 1.2$$

- Compression :

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{\min(k_3 f_{ck}^*; C_{max})}{\gamma_c} = 18.3 MPa \quad (15)$$

- Traction :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 1.7 MPa \quad (16)$$

1.2.2. Annexe nationale belge

Dans ce chapitre, nous fournissons un calcul de contraintes admissibles pour un béton C30/37, conformément à l'annexe nationale belge (BNA).

Contrainte admissible de compression du béton (valeur caractéristique à 28 jours) :

$$f_{ck} = 30 MPa \quad (17)$$

Résistance caractéristique à la compression à la mise en œuvre (Table 6.4.1.1) :

$$C_{max} = 35 MPa \quad (18)$$

Coefficients empiriques (BNA §2.4.2.5 (2)) :

$$k_f = 1.1 \quad (19)$$

Nous considérons l'absence de contrôle renforcé, par conséquent :

$$k_3 = 1.0 \quad (20)$$

Résistance moyenne à la compression :

$$f_{ck}^* = \frac{\min(f_{ck}, C_{max})}{k_f} = 27.27 MPa \quad (21)$$

Résistance moyenne à la compression :

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 MPa = 38 MPa \quad (22)$$

Résistance moyenne à la traction :

$$f_{ctm} = 0.3 f_{cm}^{2/3} = 2.90 MPa \quad (23)$$

Contrainte admissible en traction, valeur caractéristique (5%) :

$$f_{ct;k;0.05} = 0.7 f_{ctm} = 2.03 MPa \quad (24)$$

Contraintes admissibles à l'ELS :

- Compression moyenne :

$$\sigma_{c,mean} = 0.3k_3f_{ck}^* = 8.2MPa \quad (25)$$

- Compression maximale :

$$\sigma_{c,max} = 0.6 \cdot \min(k_3f_{ck}^*; f_{ck}) = 16.4MPa \quad (26)$$

Résistances de calcul à l'ELU (Eurocode 2 §3.1.6) :

$$\alpha_{cc} = 0.85, \alpha_{ct} = 1.0, \gamma_c = 1.5$$

- Compression :

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{\min(k_3f_{ck}^*; C_{max})}{\gamma_c} = 15.5MPa \quad (27)$$

- Traction :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 1.35MPa \quad (28)$$

Résistances de calcul à l'ELU Accidentel (Eurocode 2 §3.1.6) :

$$\alpha_{cc} = 0.85, \alpha_{ct} = 1.0, \gamma_c = 1.2$$

- Compression :

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{\min(k_3f_{ck}^*; C_{max})}{\gamma_c} = 19.3MPa \quad (29)$$

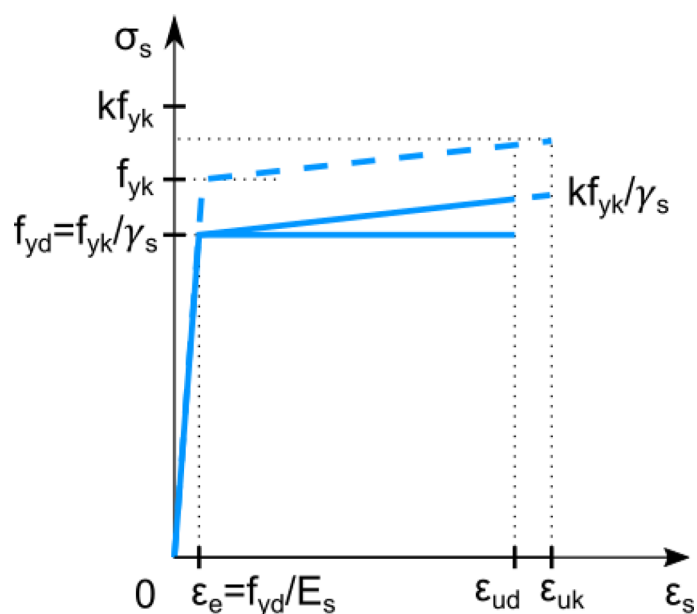
- Traction :

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \frac{f_{ctk,0.05}}{\gamma_c} = 1.7MPa \quad (30)$$

2. Acier

2.1. Loi de comportement

La loi de comportement de l'acier est de type élastoplastique.



Loi de comportement de l'acier

L'Eurocode 2, suivant la normale EN 10080, définit trois classes de ductilité :

- **Classe A** : ductilité normale (treillis soudés formés à froid)

$$\sigma_s = 432.71 + 952.38 \epsilon_s \not\geq 454 MPa \quad (31)$$

- **Classe B** : haute ductilité (barres HA laminées à chaud)

$$\sigma_s = 433.20 + 727.27 \epsilon_s \not\geq 466 MPa \quad (32)$$

- **Classe C** : très haute ductilité (aciers réservés à des usages spéciaux; constructions parasismiques)

$$\sigma_s = 432.84 + 895.52 \epsilon_s \not\geq 493 MPa \quad (33)$$

L'annexe nationale fournit le rapport entre la valeur ultime et la valeur caractéristique de la déformation de l'acier:

Annexe nationale	$\epsilon_{ud} / \epsilon_{uk}$
Française	0.9
Belge	0.8

Par exemple, conformément à l'annexe française :

Ductilité	ε_{ud}	ε_{uk}
A	22.5 ‰	25 ‰
B	45 ‰	50 ‰
C	67.5 ‰	75 ‰

La déformation ultime de la zone élastique (ε_e) dépend en toute règle de la combinaison de calcul considérée. Dans le cas d'une combinaison à l'ELU (durable ou transitoire):

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500MPa}{1.15} = 435MPa \quad (34)$$

$$E_s = 200000MPa \quad (35)$$

$$\varepsilon_e = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435MPa}{200000MPa} = 2.175‰ \quad (36)$$

2.2. Facteurs de sécurité

- **ELU**
 - Situation durable et transitoire : $\gamma_s = 1.15$
 - Situation accidentelle : $\gamma_s = 1.20$
- **ELS**
 - Situation caractéristique ou Fréquente : $\gamma_s = 1.00$
 - Situation quasi-permanente: $\gamma_s = 1.00$

2.3. Contrainte admissible

- **ELU**

$$\sigma_{s,adm} = f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s \quad (37)$$

- **ELS**

$$\sigma_{s,adm} = 0.8f_{yk} \quad (38)$$

Si la maîtrise de l'ouverture de fissures est requise, il est usuelle de considérer:

$$\sigma_{s,adm} = 1000w_k \quad (39)$$

où w_k est l'ouverture de fissures à ne pas dépasser (mm).

3. Notations

3.1. Contraintes

Symbol	Unité	Description
f_{ck}	MPa	Contrainte admissible de compression du béton (valeur caractéristique à 28 jours)
C_{max}	MPa	Résistance caractéristique à la compression à la mise en œuvre
k_1	-	Coefficient empirique tenant compte du mode de mise en place dans le sol
k_2	-	Coefficient empirique tenant compte des difficultés de bétonnage liées à la géométrie de la structure
k_3	-	Coefficient empirique tenant compte des contrôles d'intégrité effectués
f_{ck}^*	MPa	Résistance caractéristique à la compression à considérer dans les calculs de fondations et écrans de soutènement
f_{cm}	MPa	Contrainte admissible de compression moyenne
f_{ctm}	MPa	Contrainte admissible de compression maximale
$f_{ct;k;0.05}$	MPa	Contrainte admissible en traction, valeur caractéristique (5%)
f_{cd}	MPa	Contrainte admissible de compression du béton (valeur de calcul)
α_{cc}	-	Coefficient tenant compte des effets à long terme sur la résistance en compression du béton > Annexe nationale française = 1.0 > Annexe nationale belge = 0.85
α_{ct}	-	Coefficient tenant compte des effets à long terme sur la résistance en traction du béton > Annexe nationale française = 1.0 > Annexe nationale belge = 1.0
f_{yd}	MPa	Contrainte admissible de l'acier (valeur de calcul)
f_{yk}	MPa	Contrainte admissible de l'acier (valeur caractéristique)
γ_c	-	Coefficient partiel sur la résistance du béton

3.2. Déformations

Symbol	Unité	Description
ε_{a1}	-	Déformation de la section d'acier tendue
ε_{a2}	-	Déformation de la section d'acier comprimée
ε_c	-	Déformation du béton
ε_e	-	Déformation élastique maximale de l'acier

4. Bibliographie

- Eurocode 2
- Techniques de l'ingénieur (C 2 330)

