

LES MATERIAUX DU BETON ARME

INTRODUCTION

Le béton armé est une technique de construction qui associe le béton et les barres d'aciers (armatures). Cette technique occupe une position prépondérante dans l'industrie de la construction pour la réalisation des ouvrages les plus variés tels que : Bâtiments d'habitation, bâtiments industriels, ponts, Châteaux d'eau, barrages... etc.

1. LE BETON

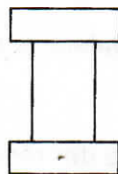
Dans sa forme la plus simple, le béton est un mélange de ciment de granulat et d'eau ; Quelquefois, il est ajouté d'autres produits chimiques ou minéraux. Après le durcissement du mélange, on obtient une pierre artificielle très résistante.

1.1 La résistance à la compression :

La propriété la plus importante du béton est la résistance à la compression. Elle est notée f_c et donnée en MPa (Méga Pascal). Elle est mesurée à partir d'un essai de compression sur une éprouvette cylindrique de diamètre 16 cm et de hauteur 32 cm. La résistance varie en fonction du temps et en fonction de la nature et du dosage des matériaux (ciment, granulats et autres). La résistance d'un béton de qualité moyenne est autour de 20 MPa. Pour un bon béton, elle varie entre 30 et 35 MPa. Lorsqu'on dépasse 60 MPa, le béton est dit de hautes performances (BHP).

Le béton résiste mal à la traction celle ci est reprise par les armatures (voir prochains chapitres)

ESSAI DE COMPRESSION

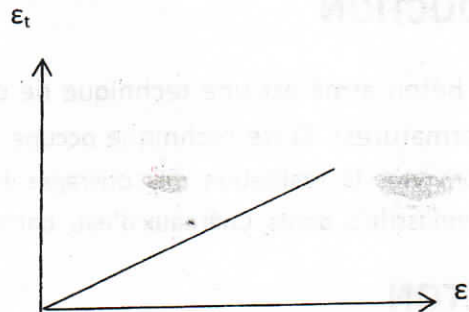
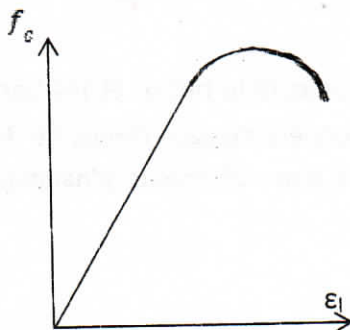


L'éprouvette entre les plateaux de la presse

L'essai est réalisé sur une machine appelée presse. La force F est appliquée progressivement. Sous l'effet de F , l'éprouvette se déforme par raccourcissement dans le sens longitudinal et par gonflement dans le sens transversal. Dans le sens longitudinal, l'éprouvette passe de la longueur initial l_0 à une autre longueur l , la déformation longitudinal est ainsi :

$$\epsilon_l = \frac{l_0 - l}{l_0}$$

La résistance du béton augmente avec le temps mais elle atteint son optimum à 28 jours. On parle de l'âge du béton ; lorsqu'on écrit f_{cj} , il s'agit d'un béton âgé de « j » jours. A 28 jours on écrit (f_{c28}).



Le module de Young E : C'est également une caractéristique importante du béton, il indique sur sa déformabilité. Il est mesuré à partir de la pente de la courbe (f_c, ϵ_l) obtenue à partir de l'essai de compression.

Le coefficient de Poisson ν : Il associe les deux déformations, longitudinale ϵ_l et transversale ϵ_t du béton. Il varie très peu et souvent pris égal à 0,2.

Résistance caractéristique ou nominale du béton : Sur chantier la qualité du béton doit être contrôlée régulièrement à partir de l'écrasement (essai de compression) d'éprouvettes cylindriques 16x32 prélevées du béton utilisé. Ainsi, il est obtenu un nombre important de valeurs f_c tout le long de la vie du chantier. Pour différentes raisons, ces valeurs sont plus ou moins dispersées. Un calcul statistique permet de déterminer la résistance caractéristique du béton du chantier en fonction du risque accepté.

La résistance caractéristique en compression de ce béton est définie à partir de la résistance moyenne et de l'écart type issus des essais.

Si n est le nombre de prélèvement (la valeur pour n prélèvement étant la moyenne de trois

éprouvettes), soit \bar{f}_{cj} la valeur moyenne des résultats d'écrasement à j jours $\bar{f}_{cj} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{cji}}{n}$

Si $n \geq 15$, on calcule l'écart type S
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{cji} - \bar{f}_{cj})^2}{n-1}}$$

La résistance caractéristique en compression f_{cj} est bornée par la double inégalité suivante :

$$\begin{cases} f_{cj} \leq \bar{f}_{cj} - ks & k = 1,2 \\ f_{cj} \leq f_{c,jmin} + 4MPa \end{cases}$$

1.2 Règlements et codes:

Le règlement fixe les règles de conception et de calcul des structures en béton armé. En Algérie le règlement en vigueur est le CBA93 (Code du Béton Armé) complété par le RPA (Règles Parasismiques Algériennes), en Europe, c'est l'Eurocode.

Le CBA 93 fixe la contrainte minimale du béton à 15MPa, il donne également des formules pour évaluer, à priori :

- la résistance caractéristique en compression (f_{cj}) à un âge $j < 28$ jours

$$f_{cj} = \frac{j}{4,76+0,83j} f_{c28} \quad \text{pour} \quad f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$$

$$f_{cj} = \frac{j}{1,40+0,95j} f_{c28} \quad \text{pour} \quad f_{c28} > 40 \text{ MPa}$$

A long terme (j très élevé) on peut admettre:

$$f_c \approx 1,1 f_{c28}.$$

- la résistance caractéristique en traction (f_{tj})

Elle est définie conventionnellement (à j jours) par la relation :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{cj} \quad (\text{en MPa}) \quad \text{à condition que} \quad f_{cj} \leq 60 \text{ MPa}$$

- le Module de déformation longitudinale (module de Young)

$$E_{Ij} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}} \quad \text{en MPa ; à court terme (chargement instantané} < 24 \text{h)}$$

$$E_{Vj} = \frac{E_{Ij}}{3} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} \quad \text{en MPa ; à long terme (chargement de longue durée et charges permanentes)}$$

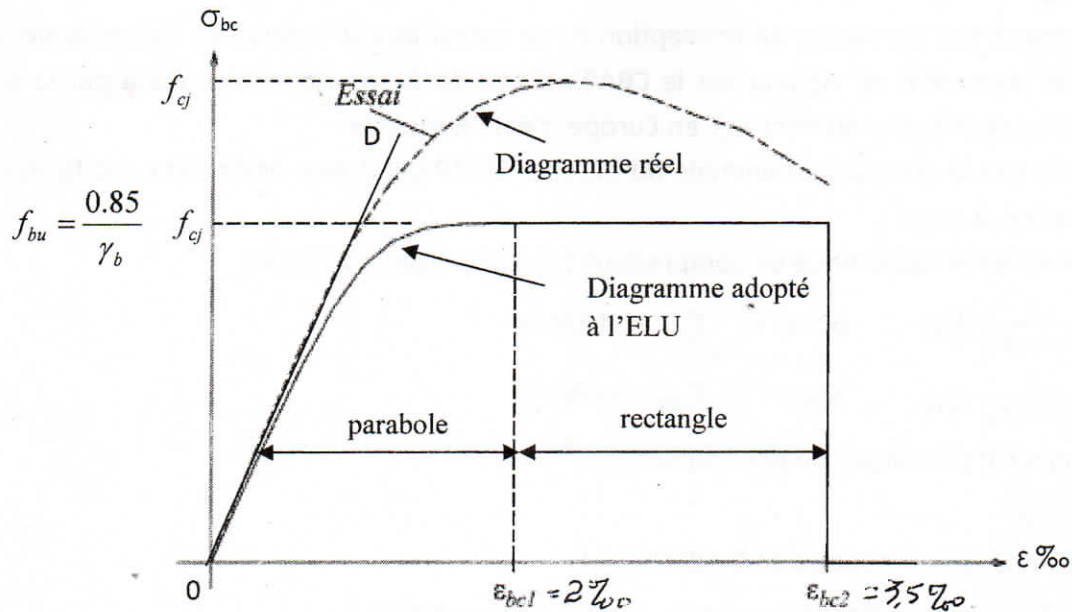
Dans ces deux formules f_{cj} est pris en MPa

1.2 Les états limites

Les calculs du béton armé sont menés dans le but de garantir une résistance, une sécurité et une durabilité durant la vie de la construction. Le règlement prévoit deux états limites :

- Un état limite de service **ELS** : Où l'exploitation de la structure ne doit pas être gênée par des fissures ou des déformations excessives.
- Un état limite ultime **ELU** : Où on évite la perte de stabilité de la structure ou sa ruine totale.

Dans ces cas, les contraintes et les déformations de l'acier et du béton sont limitées à des valeurs inférieures à celles de la rupture. (voir diagramme contrainte-déformation ci-dessous).



Contraintes limites du béton :

Les contraintes limites à ne pas dépasser en compression sont :

ELS : $\bar{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28}$

ELU : $f_{bu} = \frac{0,85 f_{c28}}{\theta \cdot \gamma_b}$

θ est un coefficient qui tient compte de la durée de chargement,

- $\theta = 1$ durée > 24 heures
- $\theta = 0.9$ heure < durée ≤ 24 heures
- $\theta = 0.85$ durée ≤ 1 heure

γ_b est un coefficient de sécurité du matériau béton ; il tient compte d'éventuels défauts localisés ainsi que de la réduction possible de la résistance du matériau mis en œuvre par rapport à sa résistance caractéristique définie préalablement.

$\gamma_b = 1,5$ en situation durable ou transitoire SDT (détails dans les chapitres suivants).

$\gamma_b = 1,15$ en situation accidentelle SA (détails dans les chapitres suivants).

2. LES ARMATURES

Le béton est armé par des barres d'acier, celles-ci se distinguent par le diamètre, par la nuance et par l'aspect de la surface.

Il existe : des aciers lisses et des aciers à haute adhérence HA

2.1 Propriétés des armatures :

Le diamètre nominal :

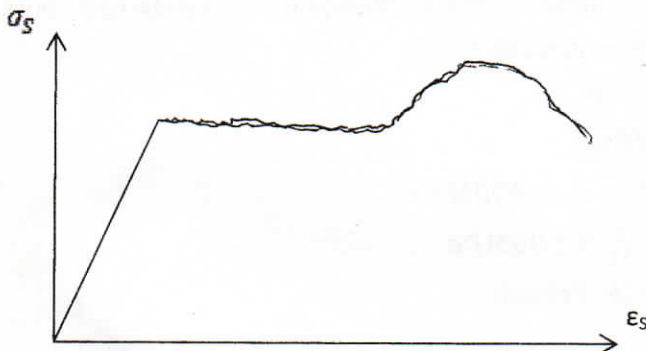
- C'est le diamètre de la barre si elle est lisse
- Si la barre est à haute adhérence, on considère le diamètre d'une barre lisse ayant le même poids que la barre HA.
- Les diamètres nominaux existants sont :

$\Phi = 6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 25, 32, 40$ [mm]

La limite élastique : Elle est notée (f_e), et mesurée expérimentalement par un essai de traction.

ESSAI DE TRACTION

L'essai est réalisé sur une presse où une barre d'acier est soumise à chacune de ses extrémités à un effort de traction F . La courbe expérimentale a la forme suivante :



L'indice S est une référence aux aciers (de l'anglais : Steel)

Contrairement au béton, l'acier est caractérisé par de grandes déformations avant de se rompre, on dit qu'il a un comportement plastique. L'essai est réalisé en traction, mais les aciers résistent aussi bien en compression qu'en traction.

Dans le règlement CBA93 et ailleurs la courbe est simplifiée et prend la forme suivante :

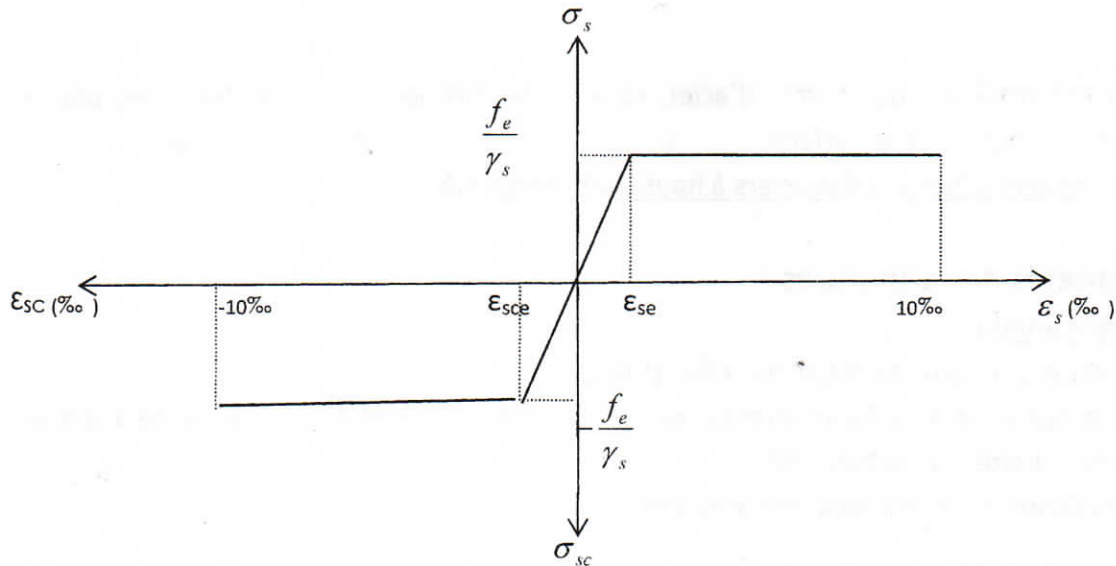


Diagramme contrainte-déformation de calcul CBA93 (art : A.2.2.2)

γ_s est un coefficient supérieur à 1, dit coefficient de sécurité, il prend deux valeurs distinctes selon les situations de chargement (chapitre suivant):

$\gamma_s = 1,15$ en situations durables ou transitoires (SDT)

$\gamma_s = 1$ en situations accidentelles (SA)

Les nuances de l'acier : La nuance de l'acier traduit sa qualité en terme de résistance. Pour les armatures courantes, il existe quatre nuances :

Barres lisses FeE215 $f_s = 215 \text{ MPa}$

FeE235 $f_s = 235 \text{ MPa}$

Barres à haute adhérence FeE400 $f_s = 400 \text{ MPa}$

FeE500 $f_s = 500 \text{ MPa}$

Les armatures les plus courantes sont les FeE400 ,

le symbole Fe \rightarrow fer

E400 \rightarrow limite élastique $f_s = 400 \text{ MPa}$

Le module de Young : Sa valeur est fixe pour l'acier, elle est prise égale à $E_s = 2.10^5$. De façon similaire au cas du béton, il est possible de le déterminer à partir du diagramme contrainte-déformation (σ_s, ϵ_s).

Les valeurs de ϵ_{se} :

Les valeurs de ϵ_{se} :

	Nuance	FeE215	FeE235	FeE400	FeE500
$\epsilon_{se}‰$	SDT	0,935	1,022	1,739	2,174
	SA	1,075	1,175	2,000	2,500

Contraintes limites de l'acier :

ELS : Les contraintes limites sont liés à l'état de fissuration accepté. Si la fissuration est considérée,

- peu préjudiciable FPP, la contrainte de l'acier n'est pas limitée
- préjudiciable FP, la contrainte limite de l'acier est :

$$\sigma_s \leq \min \left(\frac{2}{3} f_s, 110 \sqrt{\eta f_{tj}} \right)$$

- très préjudiciable FTP, la contrainte limite de l'acier est :

$$\sigma_s \leq \min \left(\frac{1}{2} f_s, 90 \sqrt{\eta f_{tj}} \right)$$

η coefficient dit de fissuration, $\eta = 1$ lorsque les aciers sont des ronds lisses et $\eta = 1,6$ lorsqu'ils sont à haute adhérence