

CHAPITRE I : Formulation et propriétés mécaniques du béton armé

I.1. Introduction :

Le béton armé a été inventé au milieu de 19^{ème} siècle. C'est en effet en 1855 que **Joseph Louis LAMBOT** (1814-1887) présentait un bateau (une barque) en ciment armé à l'exposition de Paris.

Depuis, il a été le principale matériau universellement utilisé dans les ouvrages de génie civil. Ceci est dû à sa durabilité, sa mise en œuvre facile et les différentes formes possibles à réaliser.

Les constituants du béton à part le ciment sont d'un coût réduit, ce qui lui permet d'être compétitif par rapport d'autres matériaux.

En fait depuis son invention, le principe du béton armé n'a pas varié : le béton résiste bien à la compression, mais très médiocrement à la traction. Il s'agit de renforcer le béton en disposer des armatures.

a) Le béton :

Le béton est un matériau composite constitué de :

Un mélange granulaire de sable et graviers formant le squelette du matériau.

Un liant hydraulique, le ciment assurant la cohésion entre les différents grains du squelette.

L'eau est le réactif chimique provoquant la prise de ciment (hydratation).

Éventuellement, et en faible quantité, des produits d'addition, les adjuvants influençant certaines propriétés ou comportement du matériau béton.

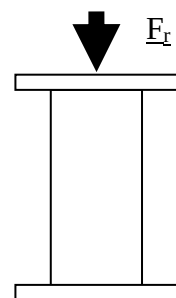
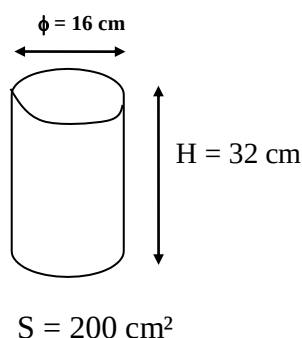
b) Le béton armé :

Le béton peut être défini comme l'association judicieuse de deux matériaux, le béton et l'acier. Ces aciers sont appelés armatures.

On distingue les armatures longitudinales disposées suivant l'axe longitudinal de la pièce et les armatures transversales disposées dans les plans perpendiculaires à l'axe de la pièce.

1- Résistance à la compression:

a- Essai de compression : l'essai est effectué sur des cylindres en béton comme suit :



$$\sigma = \frac{4.F_r}{\pi.\phi^2}$$

Elle est définie par une valeur de la résistance à la compression du béton à l'âge de 28 jours par essais sur éprouvette cylindrique ($\phi = 16$, $h = 32$ cm). BAEL 91 (A.2.1.11)

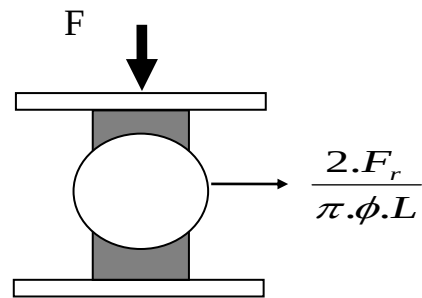
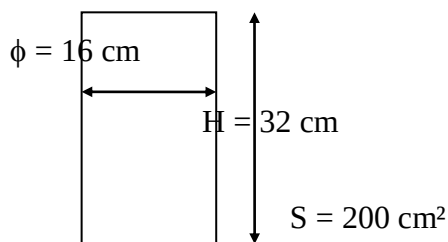
Les résistances à « j » jours des bétons, non traités thermiquement peuvent être évoluées par les formules approchées des tableaux suivants :

f_{cj}	$f_{c28} \leq 40Mpa$	f_{cj}	$40Mpa < f_{c28} \leq 60Mpa$
$j < 60$	$\frac{j}{4,76 + 0,83j} \cdot f_{c28}$	$j \leq 28$	$\frac{j}{1,40 + 0,95j} \cdot f_{c28}$
$j \geq 60$	$1,10 \cdot f_{c28}$	$28 < j < 60$	Béton à haute résistance voir BAEL A.2.1,11

C. Résistance caractéristique à la traction :

2- Résistance à la traction :

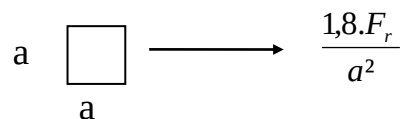
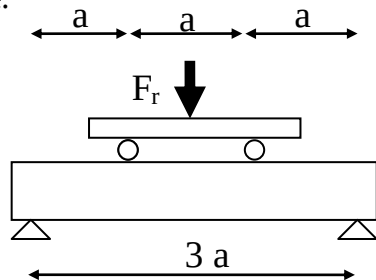
a- Traction par fendage :



b- Traction par flexion :

a : une valeur donnée.

F_r : force de rupture.



c- Résistance caractéristique à la traction :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{cj} \Rightarrow f_{t28} = 0,6 + 0,06 \cdot 25 = 2,1Mpa$$

f_{cj} : la résistance à la compression à j jour.

f_{tj} : la résistance à la traction à j jour.

D. Déformation du béton:

➔ Déformation longitudinale :

Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24 heures, on admet, à défaut de mesures, qu'à l'âge de j jours, le module de déformation longitudinale instantanée du béton E_{ij} est égal à :

$$E_{ij} = 11000(f_{cj})^{1/3}$$

Module de déformation différée (longue durée d'application)

$$E_{vj} = 3700(f_{cj})^{1/3}$$

➔ Déformation transversale :

Elle se traduit par le coefficient de poisson :

ν = Déformation transversale / Déformation longitudinale

$$\nu = \frac{\frac{\Delta a}{a}}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{\text{déformation transversale}}{\text{déformation longitudinale}}$$

Le coefficient de poisson est pris égal à :

$\nu = 0,20$ -----par la justification aux ELS (section non fissurée)

$\nu = 0$ -----dans le cas des ELU.

Le coefficient de Poisson du béton est pris égal à 0 (zéro) pour le calcul des sollicitations et à 0,2 pour le calcul des déformations.

♣ Diagramme contrainte déformation:

Si l'on exerce une sollicitation de compression sur une éprouvette de béton et que l'on enregistre l'évaluation de la déformation $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$ au fur et à mesure qu'augmente la contrainte $\sigma = \frac{F}{S}$ on, obtient une courbe dont l'allure est présentée ci-dessous (fig.1)

➔ Diagramme Parabole rectangle :

Dans les calculs relatifs à l'E.L.U.R on utilise pour le béton un diagramme conventionnel dit "parabole rectangle". Ce diagramme qui représente la contrainte de béton en fonction de son raccourcissement (fig.1) est constitué comme suit:

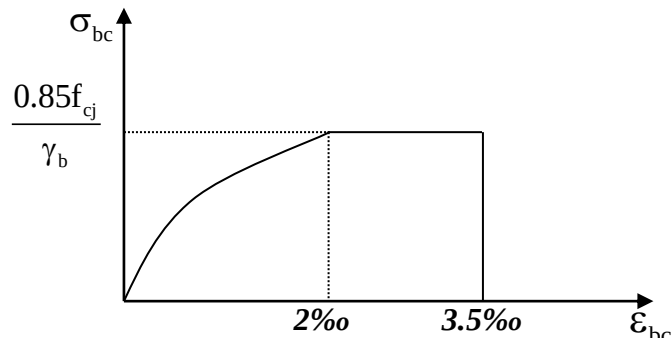


Fig.1 diagramme parabole rectangle

On a entre 0 et 2‰ un arc de parabole passant par l'origine $\left(\varepsilon_{bc} = 2\text{‰}, \sigma_{bc} = \frac{0.85}{\gamma_b} f_{cj} \right)$

En pratique $f_{cj} = f_{c28}$: entre 2‰ et 3,5‰ par une parallèle à l'axe des déformations et tangente en "S" à la parabole.

- ✱ Le raccourcissement du béton est limité à 3,5‰
- ✱ Pour le calcul à l'E.L.S on suppose que l'on reste dans le domaine élastique. (fig.1).
- ✱ La contrainte de béton est limitée à $\sigma_{bc} = \frac{0.85}{\gamma_b} f_{cj}$

Le coefficient de sécurité, γ_b a pour valeur : $\begin{cases} \gamma_b = 1.15 & \text{pour les situations accidentelles} \\ \gamma_b = 1.5 & \text{pour les autres cas} \end{cases}$

A-Masse volumique:

- La masse volumique béton à granulats courants (normal) $\rightarrow 2200 \div 2400 \text{ kg/m}^3$
- La masse volumique béton à granulats légers $\rightarrow 700 \div 1500 \text{ kg/m}^3$
- La masse volumique béton à granulats lourds $\rightarrow 3500 \div 4000 \text{ kg/m}^3$
- La masse volumique du béton armé $\rightarrow 2500 \text{ kg/m}^3$

Coefficient de dilatation

Le Coefficient de dilatation du béton vaut de $9 \text{ à } 12 \cdot 10^{-6}$, et on adoptera une valeur forfaitaire de 10^{-5} pour le béton armé. On notera que la valeur du Coefficient de dilatation de l'acier ($11 \cdot 10^{-6}$) est très proche de celle du béton. Une variation de température de 10°C induit une déformation de 10^{-4} , c'est à dire qu'un élément de 10m de long verra son extrémité libre se déplacer de 1mm. Dans la pratique, les éléments ne sont pas libres, et les variations de température entraînent des contraintes internes de traction. Pour éviter des désordres, on placera régulièrement sur les éléments (dalle, voile de façade) ou bâtiments de grandes dimensions des joints de dilatation espace de 25 à 50 mètres selon la région. Notons que ces joints de dilatation sont aussi un moyen de lutter contre les désordres dus au retrait.

B. Acier :

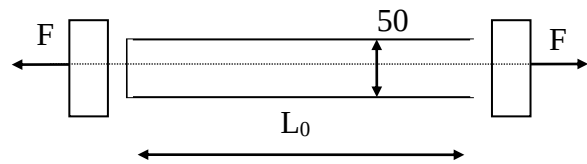
1. Généralité :

Le matériau acier est un alliage fer et carbone en faible pourcentage. Les aciers en BA sont les aciers de nuance douce (0,15 à 0,25% de carbone) et les aciers de nuance mi-dure (0,25 à 0,40% de carbone).

Acier doux → % carbone 0,15 - 0,25 %

Acier mi dur et dur → % carbone 0,25 - 0,45 %

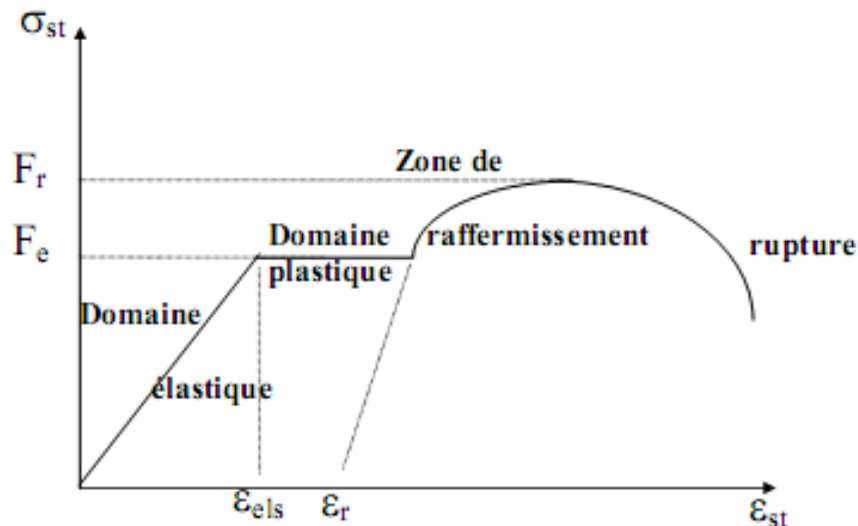
2. Essai de traction :



Enregistrer F et ΔL
contrainte / déformation

$$\sigma_{st} = \frac{F}{S_0} \quad \epsilon_{st} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

le diagramme contrainte - déformation pour les aciers doux aura l'allure suivante :



Dans le domaine élastique, l'expression de la contrainte en fonction de l'allongement sera : $\sigma_{st} = E \cdot \epsilon$

avec : $E = 200\,000$ MPa le module de young

ϵ : la déformation.

La contrainte correspondante à la limite de proportionnalité entre contrainte et déformation est appelée limite élastique ou limite d'élasticité, elle est notée par F_e .

Dans la zone de raffermissement la contrainte atteint un maximum; on appelle contrainte de rupture et elle sera notée par F_r .

3- Différent types d'aciers :

On distingue trois types d'aciers :

- Acier rond lisse.
- Acier haute adhérence.
- Treillis soudés.

1. **Acier rond lisse :**

L'acier se forme de barre, en principe d'une longueur de **12 m** et une section circulaire et ils ont une surface qui est lisse. Les diamètres généralement utilisés sont les suivants :

6 ; 8 ; 10 ; 12 ; 14 ; 16 ; 20 ; 25 ; 32 ; 40mm.

Les ronds lisses sont utilisés en deux nuances (catégories).

Qui sont notées par : FeE220 ou FeE215 $f_e = 215$ Mpa.

FeE240 ou FeE235 $f_e = 235$ Mpa.

Nuance	Fe (MPa)	ϵ	F _r
FeE215	215	1,075	330 - 490
FeE235	235	1,175	410 - 490

2. **Acier haute adhérence :**

Les barres à haute adhérence ont une section sensiblement circulaire qui présente des nervures d'une hauteur de 0,5 à 3 mm (la hauteur est suivant le diamètre) pour améliorer l'adhérence entre l'acier et le béton. Les diamètres ou les barres à haute adhérence utilisés sont :

6 ; 8 ; 10 ; 12 ; 14 ; 16 ; 20 ; 25 ; 25 ; 32 ; 40 mm.

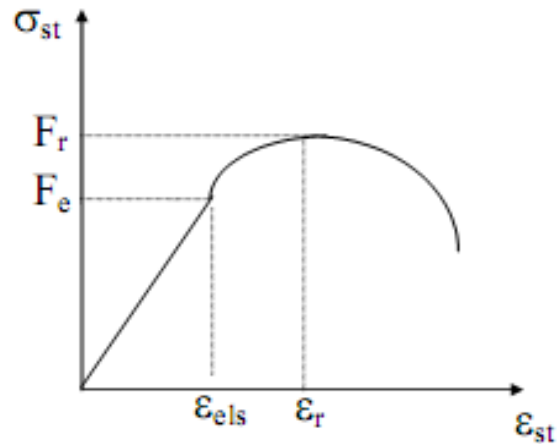
Les hautes adhérences se divisent en deux nuances :

FeE400 → $f_e = 400$ MPa.

FeE500 → $f_e = 500$ MPa.

Nuance	Fe (MPa)	ϵ	F _r
FeE400	400	2	480
FeE500	500	2,5	550

le diagramme contrainte - déformation pour les hautes adhérences sont les suivant :



3- Les treillis soudés :

Certain élément dans le B.A tel que les dalles, les murs voile sont armé suivant deux directions perpendiculaire. On utilise pour cela les treillis soudés qui sont constitués par des fils se croisant et qui seront soudés aux point du croisement. Les treillis soudés sont composés de fils porteurs de diamètre plus important disposés dans le sens des efforts principaux et de fils de répartition de diamètre plus faible, disposés dans le sens perpendiculaire.

Les diamètres couramment utilisés sont les suivants :

3 - 3,5 - 4 - 4,5 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 - 12 mm.

Les espacements entre fils porteurs : 75 - 100 - 125 - 150 - 200 mm.

Les espacements entre fils de répartition : 100 - 150 - 200 - 250 - 300 mm.

4-Désignation des aciers :

Rond lisse : $\rightarrow n \phi d$

$\swarrow$ Nombre de barres utilisées
 $\searrow$ Rond lisse
 $\rightarrow$ Le diamètre

Exemple :

4 ϕ 16 = 4 barres rond lissent de diamètre 16 mm

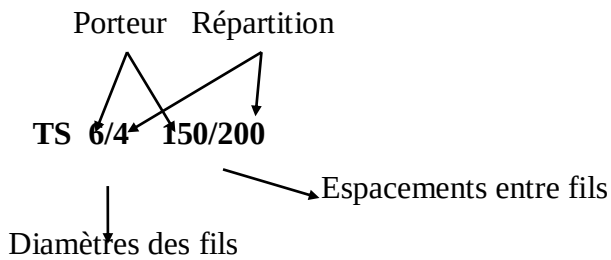
Haute adhérence (HA , T) :

Exemple : 3 HA 12

3 T 12

3 barres haute adhérence de diamètre 12 mm

Les treillis soudés (TS) :



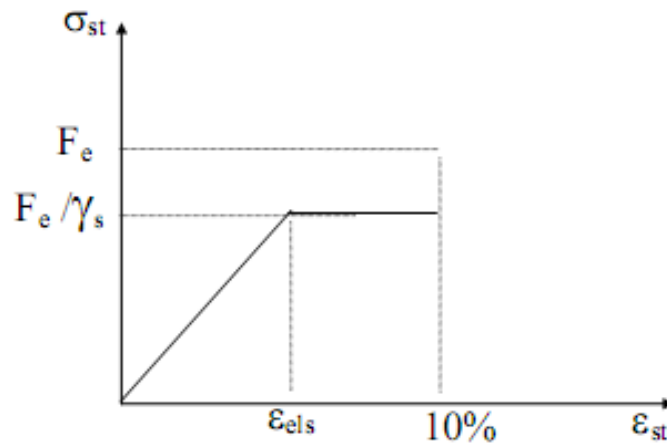
5- Diagramme Contrainte - Déformation de calcul :

5.1-E.L.U : en limite d'allongement des aciers à la valeur à 10 %.

γ_s : coefficient de sécurité

$\gamma_s = 1,15$ dans le cas général.

$\gamma_s := 1$ dans le cas accidentel.



5.2-E.L.S : En adopte le diagramme linéaire suivant :

E_s : module d'élasticité sera limité uniquement dans l'état limité d'ouverture des fissures.

1- Fissuration peu préjudiciable $\Rightarrow$ limitation à F_e (aucune vérification)

2-Fissuration préjudiciable : $\sigma_{st} \leq \min \left(\frac{2}{3} F_e ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{t28}} \right)$

3- Fissuration très préjudiciable : $\sigma_{st} \leq \min \left(\frac{1}{2} F_e ; 90 \sqrt{\eta \cdot f_{t28}} \right)$

η : Coefficient de fissuration $\Rightarrow \eta = 1$ pour rond lisse