

### 3. INTRODUCTION :

Dans notre étude, nous avons utilisé, le règlement du béton armé aux états limite à savoir le BAEL 91, ainsi que le règlement parasismique Algérien RPA 99/2003, Le règlement BAEL 91 est basé sur les états limite définies ci-dessous :

#### 3.1 DEFINITION :

Un état limite est celui pour lequel une condition requise d'une construction ou d'une de ces éléments (tel que la stabilité et la durabilité) est strictement satisfaite et ces serait de l'être en cas de modification défavorable d'une action (majoration ou minoration selon le cas).

On distingue deux états limites:

➤ **a) Etat limite ultime: (ELU)**

Correspondant à la limite:

- ❖ Soit de l'équilibre statique de la construction (pas de renversement).
- ❖ Soit de la résistance de l'un des matériaux (pas de rupture).
- ❖ Soit de la stabilité de forme.

➤ **b) Etat limite de service:(ELS)**

Définissant les conditions que doit satisfaire l'ouvrage pour que son usage normal et sa durabilité soient assurés.

- ❖ Etat limite de compression du béton.
- ❖ Etat limite d'ouverture des fissures.
- ❖ Etat limite de déformation.

#### 3.2 LE BETON :

On appelle béton un matériau constitué par le mélange, dans des proportions convenables de ciment, de granulats (sables et gravier) et de l'eau et éventuellement de produits d'addition (adjuvant). Le matériau ainsi obtenu sera coulé et son durcissement aura les qualités suivantes :

- ❖ La résistance mécanique, essentiellement résistance à la compression simple, et pour certains usages spéciaux, la résistance à la traction.
- ❖ La résistance aux agents agressifs, eau de mer, acides, etc.,

## Chapitre 3 : Caractéristique des Matériaux

---

- ❖ Les déformations instantanées et surtout différées, que l'on souhaite généralement la plus faible possible.
- ❖ La maniabilité au moment de la mise en œuvre, que peut être définie comme l'aptitude du béton à remplir parfaitement le moule qui lui est offert sans ségrégation.
- ❖ L'on peut enfin rechercher certaines qualités spéciales, telles que la masse spécifique, aussi élevée que possible (béton lourd) ou aussi faible que possible (béton léger).

### 3.2.1 Dosage du béton :

Dans un mètre cube de béton, on a les proportions suivantes :

- ❖ Ciment (CPA 325)                      dosé à 350kg /m<sup>3</sup>
- ❖ Sable grossier                         0 < Dg ≤ 5mm → 400 L
- ❖ Gravier                                    5 < Dg ≤ 25mm → 800L
- ❖ Eau de gâchage                        175 L

Le béton obtenu aura une masse volumique qui varie entre 2200 Kg/m<sup>3</sup> et 2400Kg /m<sup>3</sup>

### 3.2.2 Résistances mécaniques du béton :

- **Résistances à la compression  $f_{cj}$  : (BAEL 91/Art 2-1-11).**

Dans les constructions courantes, le béton est défini, du point de vue mécanique, par sa résistance caractéristique à la compression (à 28 jours d'âge noté " $f_{c28}$ ") déterminée par essai sur éprouvettes cylindriques de 16cm de diamètre et 32cm de hauteur.

Pour un dosage courant de 350 Kg/m<sup>3</sup> de ciment CPA325, la caractéristique en compression à 28 jours est estimée à 25 MPA ( $f_{c28} = 30$  MPA).

Selon le CBA 93 : Avant durcissement total à  $j$  jours tel que  $j \leq 28$  jours, la résistance à la compression est :

$$f_{cj} = 0.685 f_{c28} \log^{10} (j+1)$$

Et pour  $j \geq 28$  jours

$$f_{cj} = 1.1 f_{c28}$$

### ➤ Résistances à la traction $f_{cj}$ : (BAEL91/Art A-2 12)

La mesure directe de la résistance à la traction par un essai de traction axiale étant délicate on a recours à deux modes opératoires différents :

- ❖ Flexion d'éprouvettes prismatiques non armées.
- ❖ Fendage diamétral d'une éprouvette cylindrique (essai Brésilien).

La résistance caractéristique à « J » jours se déduit conventionnellement par la relation :

$$f_{t28} = 0.6 + 0.06f_{c28} \text{ Avec : } f_{cj} \leq 40 \text{ MPa}$$

$$\text{Pour } f_{c28} = 30 \text{ MPa} \Rightarrow f_{t28} = 2.4 \text{ MPa}$$

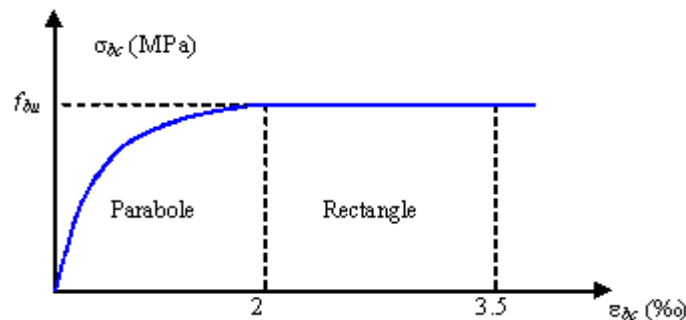
### 3.2.3 Contrainte limite :

#### a. État limite ultime (ELU) :

##### ➤ Contrainte ultime du béton : (BAEL91/Art 4 -3 -41)

Pour le calcul à l'E.L.U, on adopte le diagramme dit "parabole rectangle" (Fig3.1). En compression pure, le diagramme est constitué par la partie parabole du graphe ci-dessous, les déformations relatives étant limitées à 2‰.

En compression avec flexion (ou induite par la flexion), le diagramme qui peut être utilisé dans tous les cas et le diagramme de calcul dit parabole rectangle.



**Figure 3.1** Diagramme parabolique rectangle des Contraintes Déformations du béton

Avec :

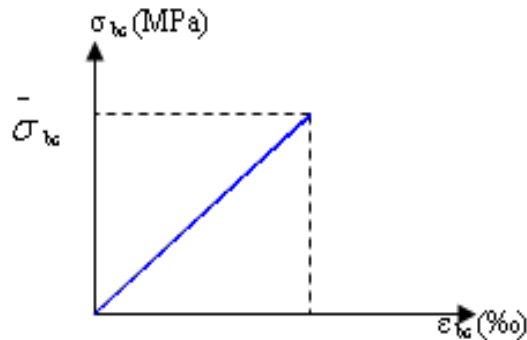
- ❖  $f_{bu}$  : Contrainte ultime du béton en compression  $f_{bu} = \frac{0.85 f_{cj}}{\theta \gamma_b}$
- ❖  $\gamma_b$  : Coefficient de sécurité du béton, il vaut 1.5 pour les combinaisons normales et 1.15 pour les combinaisons accidentelles.
- ❖  $\theta$  : coefficient qui dépend de la durée d'application du chargement. Il est fixé à 1 lorsque la durée probable d'application de la combinaison d'actions considérée est supérieure à 24 h, 0.9 lorsque cette durée est comprise entre 1 h et 24 h, et à 0.85 lorsqu'elle est inférieure à 1 h.

➤ **Contrainte ultime de cisaillement** : (BAEL91/Art A – 5-1-21)

- La contrainte ultime de cisaillement est limitée par :  $\tau \leq \bar{\tau}$
- $\bar{\tau} = \min(0.13 f_{c28}, 4\text{MPa}) = 3.2\text{MPa}$       cas normal (fissuration peu nuisible).
- $\bar{\tau} = \min(0.10 f_{c28}, 3\text{MPa}) = 2.5\text{MPa}$       cas où la fissuration est préjudiciable.

**b. État limite de service (ELS) :**

Dans le cas de l'ELS on suppose que le diagramme parabole rectangle reste dans le domaine élastique linéaire, est défini par son module d'élasticité. (Fig. 3.2)



**Figure 3.2** Diagramme des Contraintes Déformations du béton dans le domaine élastique linéaire

➤ **La contrainte limite de service en compression du béton** : (CBA93/Art A – 4-5-2)

Limitée par :

$$\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$$

Avec :  $\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28}$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 15\text{MPa}$$

## Chapitre 3 : Caractéristique des Matériaux

---

Le module de déformation longitudinale instantanée, pour un chargement de durée d'application inférieure à 24 heures, est donné par : (BAEL91 /Art A – 2-1-21)

$$E_{ij} = 11000 \cdot \sqrt[3]{f_{cj}}$$

On a pour  $f_{c28} = 25\text{MPa} \Rightarrow E_{ij} = 32164.195\text{MPa}$

Le module de déformation longitudinal différée du béton  $E_{vj}$  est donné par la formule suivante :

(BAEL91/Art A – 2-1-22)

$$E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}}$$

On a pour  $f_{c28} = 25\text{Mpa} \Rightarrow E_{vj} = 10818.16\text{MPa}$

**c) Coefficient de poisson  $\nu$  :** (BAEL91/CBA93/Art A.2-1-3)

On appelle coefficient de poisson le rapport de la déformation transversale relative à la déformation longitudinale relative.

$\nu = 0.2$  dans le cas des états limitent de services.

$\nu = 0$  dans le cas des états limites ultimes.

### 3.3 ACIER :

#### 3.3.1 Définition :

L'acier est un alliage fer carbone en faible pourcentage, leur rôle est d'absorber les efforts de traction, de cisaillement et de torsion, on distingue deux types d'aciers :

❖ Aciers doux ou mi-durs pour 0.15 à 0.25 % de carbone.

❖ Aciers durs pour 0.25 à 0.40 % de carbone.

Le module d'élasticité longitudinal de l'acier est pris égale à :  $E_s = 200\,000\text{ Mpa}$ .

#### 3.3.2 Caractéristiques mécaniques :

Les valeurs de la limite d'élasticité garantie  $f_e$  sont données par le tableau [I.1] suivant :

## Chapitre 3 : Caractéristique des Matériaux

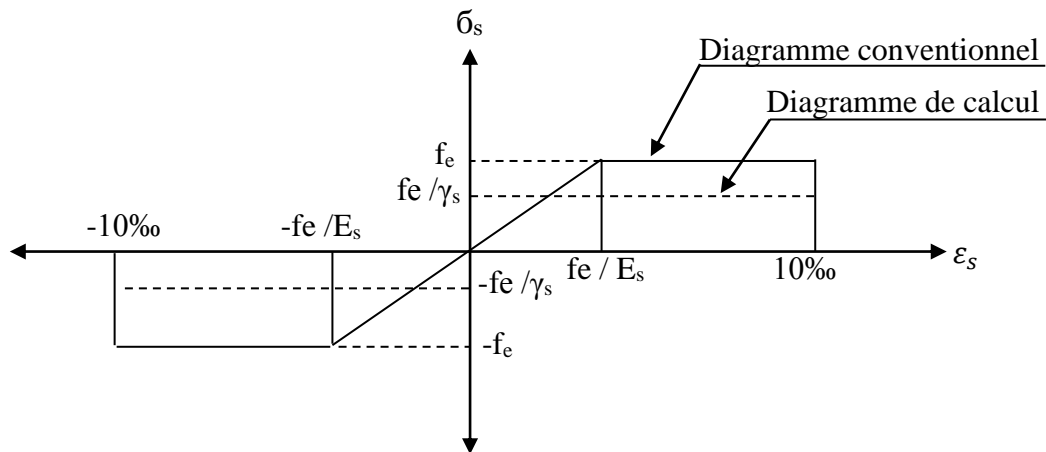
**Tableau 3.1** Valeurs de la limite d'élasticité garantie  $f_e$

Type	Nuance	$f_e$ (Mpa)	Emploi
Ronds lisses	$F_e E 220$	215	Emploi courant Epingle de levage des pièces préfabriquées
	$F_e E 240$	235	
Barre HA Type 3	$F_e TE 400$	400	Emploi courant
	$F_e TE 500$	500	
Fils tréfilés HA type 3	$F_e TE400$	400	Emploi sous forme de Barres droites ou de treillis
	$F_e TE 500$	500	
Fils tréfilés lisses type 4	$TL 500 \phi > 6mm$	500	Treillis soudés uniquement emploi courant
	$TL 520 \phi \leq 6mm$	520	

Dans notre cas on utilise des armatures à haute adhérence avec un acier de nuance FeTE40 type 1,  $f_e = 400$  Mpa.

### 3.3.3 Contrainte limite :

**3.3.3.1 Etat limite ultime :** Pour le calcul on utilise le diagramme contrainte déformation de la figure (3.3).



**Figure 3.3** Diagramme des Contraintes Déformations de l'acier.

Où :

$$\epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s} ; \text{ Avec } E_s = 200\,000 \text{ Mpa.} \quad \text{Avec :} \quad \sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

$\gamma_s$  : Coefficient de sécurité.

$\gamma_s = 1$  cas de situations accidentelles.

$\gamma_s = 1.15$  cas de situations durable ou transitoire.

### 3.3.3.2 Etat limite de service :

On ne limite pas la contrainte de l'acier sauf en état limite d'ouverture des fissures :

❖ Fissuration peu nuisible : pas de limitation. (BAEL91 / Art 4-5-32)

❖ Fissuration préjudiciable :  $\sigma_s \leq \bar{\sigma}_{st} = \min \{ 2/3 f_e ; \max (0.5 f_e ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{t28}}) \}$  Mpa  
(BAEL91/Art 4-5-33)

❖ Fissuration très préjudiciable :  $\sigma_s \leq \bar{\sigma}_{st} = \min (0,5 f_e, \sqrt{\eta \cdot f_{t28}})$  Mpa  
(BAEL91 / Art 4-5.34)

$\eta$  : Coefficient de fissuration.

$\eta = 1$  pour les ronds lisses (RL).

$\eta = 1.65$  pour les armatures à hautes adhérence (HA).

### 3.4 Protection des armatures : (BAEL91/Art A.7-2-4)

Dans le but d'avoir un bétonnage correct et prémunir les armatures des effets intempéries et des agents agressifs. On doit veiller à ce que l'enrobage (C) des armatures soit conforme aux prescriptions suivantes :

- $C \geq 5$  cm : Pour les éléments exposés à la mer, aux embruns ou aux brouillards salins ainsi que pour les éléments exposés aux atmosphères très agressives.
- $C \geq 3$  cm : Pour les éléments situés au contact d'un liquide (réservoir, tuyaux, canalisations)
- $C \geq 1$  cm : Pour les parois situées dans des locaux non exposés aux condensations.

### 3.5 Actions et sollicitations :

#### 3.5.1 Définitions :

##### a) Les actions :

Les actions sont les forces directement appliquées à une construction (charges permanentes, d'exploitation, climatique, etc.,...) ou résultant de déformations imposées (retrait, fluage, variation de température déplacement d'appuis, etc. ...).

##### b) Les sollicitations :

Les sollicitations sont les efforts (effort normal, effort tranchant, moment de flexion, moment de torsion) développés dans une combinaison d'action donnée.

### 3.5.2 Hypothèses de calcul :

#### a) Calcul aux états limites de services :

- ❖ Les sections droites restent planes avant et après déformation, et il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures et le béton.
- ❖ La résistance de traction de béton est négligée.
- ❖ Le béton et l'acier sont considérés comme des matériaux linéaires élastiques.
- ❖ Le coefficient d'équivalence  $n$  donné par le rapport entre les modules d'élasticités longitudinaux de l'acier et de béton ( $n = E_s / E_b$ ) est pris égal à 15.

#### b) Calcul aux états limites de résistance :

- ❖ Les sections droites restent planes avant et après déformation, et il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures et le béton.
- ❖ Le béton tendu est négligé.
- ❖ Le raccourcissement relatif de l'acier est limité à : 10‰.
- ❖ Le raccourcissement ultime du béton est limité à :

$$\varepsilon_{bc} = 3.5 \text{ ‰} \quad \text{en flexion}$$

$$\varepsilon_{bc} = 2 \text{ ‰} \quad \text{en compression centrée}$$

- ❖ La règle des trois pivots qui consiste à supposer que le domaine de sécurité est défini par un diagramme des déformations passant par l'un des trois pivots A, B ou C définis par la figure(2.3) tel que :

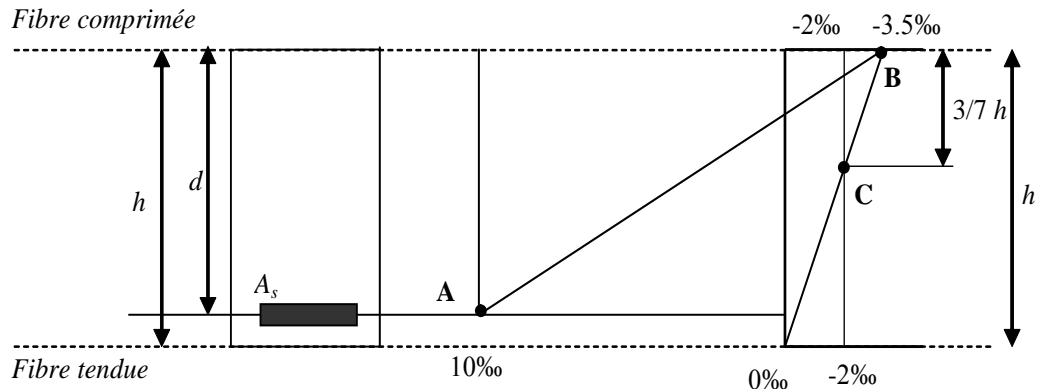
**A** : correspond à un allongement de  $10 \times 10^{-3}$  de l'armature la plus tendue, supposée concentrée.

**B** : correspond à un raccourcissement de  $3.5 \times 10^{-3}$  du béton de la fibre la plus comprimée.

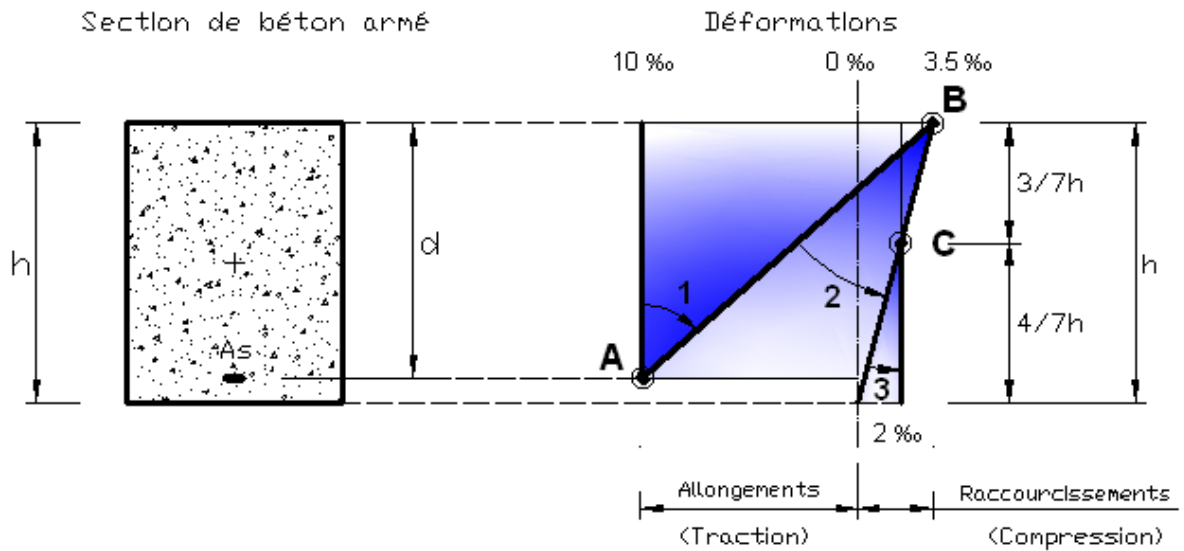
**C** : correspond à un raccourcissement de  $2 \times 10^{-3}$  du béton de la fibre située à 3/7h de la fibre la plus comprimée.



## Chapitre 3 : Caractéristique des Matériaux



**Figure 3.4** Diagramme des déformations limité de la section.



**Figure 3.5** Règles des trois pivots

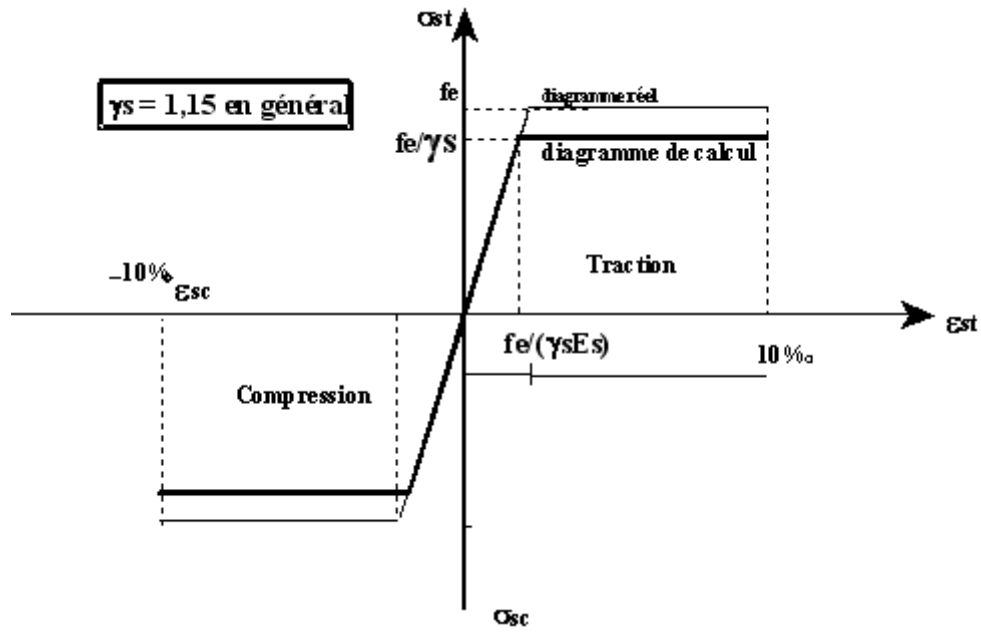


Figure 3.6 diagramme de calcul d'acier

## Hypothèse 7

Le diagramme de calcul du béton:

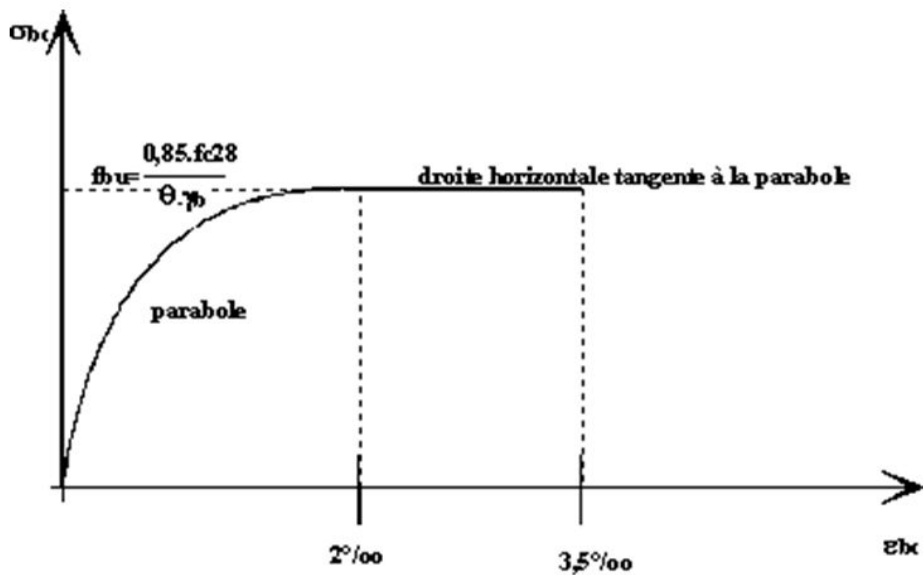


Figure 3.7 diagramme de calcul de béton