

I-1-Introduction générale :

L'étude des structures est une étape clé et un passage obligatoire dans l'acte de bâtir, faire cette étude vise à mettre en application les connaissances acquises durant les années de formation d'ingénieur à travers l'étude d'un ouvrage en béton armé. Cette étude a pour but d'assurer la stabilité et la résistance des bâtiments afin d'assurer la sécurité du bâtiment.

Quels que soient les types des bâtiments en béton armé, leurs études rencontrent des nombreuses difficultés dans le choix du modèle de comportement. Les règlements parasismiques Algériens définissent des modèles et des approches spécifiques à chaque type de bâtiment.

Une structure doit être calculée et conçue de telle manière à ce :

-Qu'elle reste apte à l'utilisation pour laquelle elle a été prévue, compte tenu de sa durée de vie envisagée et de son coût.

-Elle ne doit pas être endommagé par des événements, tels que : Explosion, choc ou conséquences d'erreurs humaines.

-Elle doit résister à toutes les actions et autres influences susceptibles de s'exercer aussi bien pendant l'exécution que durant son exploitation et qu'elle ait une durabilité convenable au regard des coûts d'entretien.

La stabilité de l'ouvrage est en fonction de la résistance des différents éléments structuraux (poteaux, poutres, voiles...) aux différentes sollicitations (compression, flexion...) dont la résistance de ces éléments est en fonction du type des matériaux utilisés et de leurs dimensions et caractéristiques.

I-2-Présentation de l'ouvrage :

Le projet que nous avons en train d'étudier consiste à un nouveau siège d'APC en R+4 avec sous-sol qui contient quatre (04) blocs définie comme suite :

- Blocs A1 et A2 en R+4 avec sous-sol.
- Blocs B1 et B2 en R+1 avec sous-sol.

Ce projet est implanté à la commune de SOUGUEUR wilaya du TIARET, Qui est une Zone de faible sismicité zone I d'après les règles parasismiques algériennes (RPA 99 / version 2003).

Au sous-sol :

- Les deux blocs A1, A2 contient un parking.
- Le bloc B1 contient un parking et une salle d'archive.
- Le bloc B2 contient une salle d'archive.

AU R.D.C et étage courants :

- Les quatre blocs contiennent des bureaux de différent usage (états civil, affaire sociale, gestion de commune, urbanisme ...etc.).

II-1-1-Caractéristiques géométriques :

Le siège à étudier est constitué du quatre bloc de forme irrégulière en plan de dimensions :

- Hauteur des étages courants..... 3.40m.
- Hauteur de RDC..... 3.40m.
- Hauteur d'étages sous-sols..... 4.80m.
- Hauteur totale de siège.....21.08m.
- Longueur totale du siège à la base en plan.....39.20m.
- Larguer totale du siège à la base en plan..... 65.40m.

I-1-2-Caractéristiques géotechniques du sol :

- Dans notre étude et d'après le rapport du sol on a :
- Le type du sol : SABLO-ARGILEUX non agressif (S_3)
- Avec : $\sigma_{sol} = 02 \text{ bars}$, $\phi=32^\circ$ et $C=0.11 \text{ bars} = 1.16 \frac{T}{m^2}$

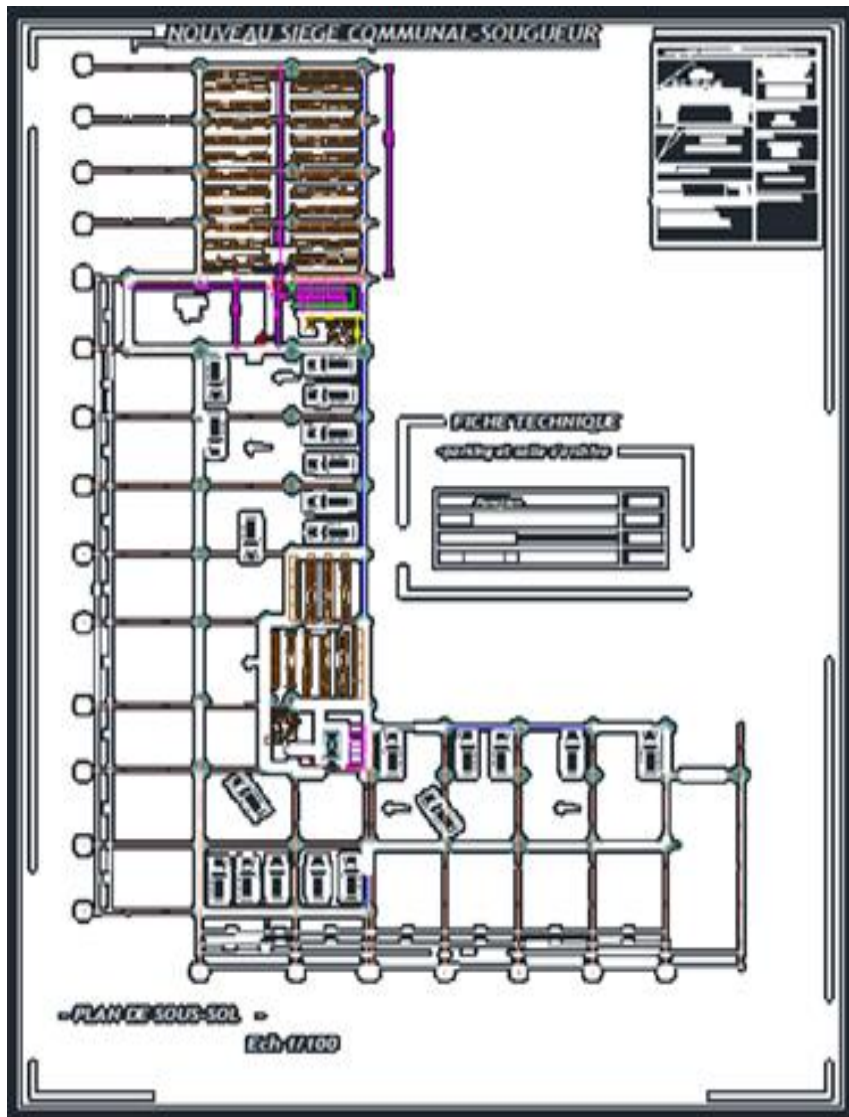


Figure I-1 : vue en plan niveaux sous-sol du siège APC (04 blocs).

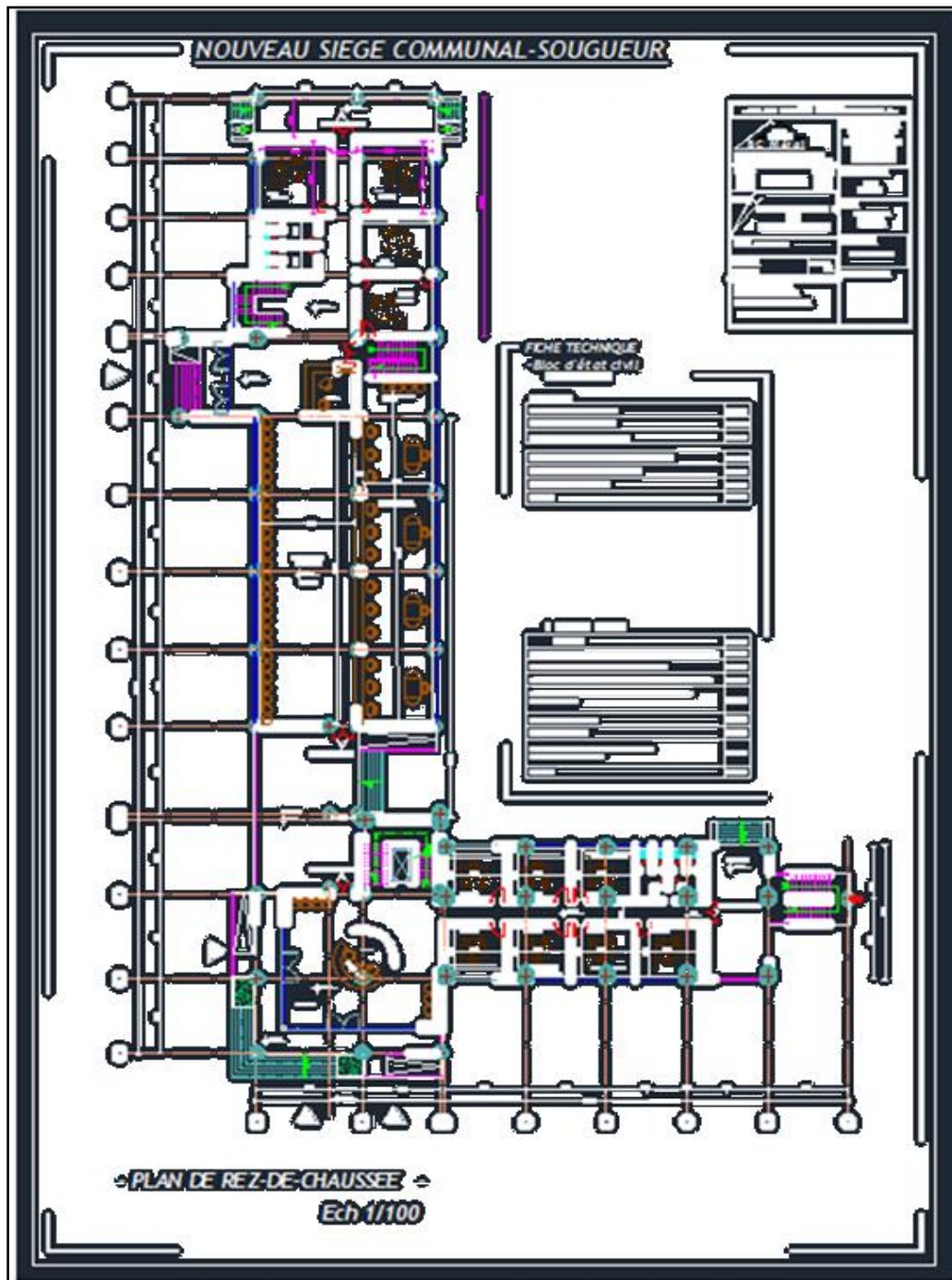


Figure I-2 : vue en plan niveaux R.D.C du siège APC (04 blocs).

I-3-Ossature et système constructif adopté :

• **Ossature :**

Selon le RPA, tout ouvrage dépassant les 17m de hauteur doit être constitué de portiques et voiles en béton armé (contreventement mixte) RPA99 (Art 3.4.A.1.a)

• **Plancher :**

Les planchers sont réalisés en deux types :

- 1^{ère} Type : Corps creux et une dalle de compression pour RDC et les étages courants.
- 2^{ème} Type : Dalle pleine, pour la dalle de l'ascenseur.

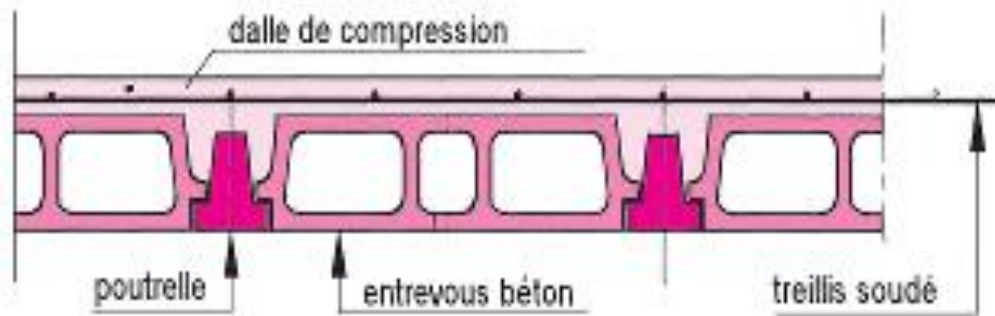


Figure I-3 : plancher à corps creux.

• **Escalier :**

On a deux types d'escalier :

- 1^{ère} Type : Escalier droit à un 01 et deux 02 volée.
- 2^{ème} Type : Escalier balancer.

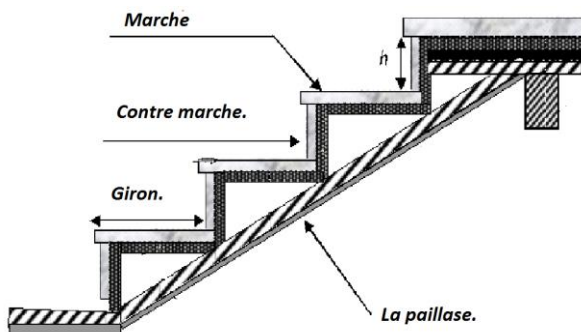


Figure I-4 : 1^{ère} type à une volée.

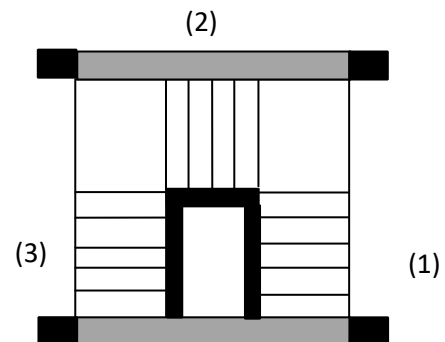


Figure I-5 : 2^{ème} type Escalier balancer.

• **Maçonnerie utilisés :**

- Les murs extérieurs : sont réalisés en double cloisons séparés d'une âme d'air de 5cm pour l'isolation thermique et phonique.
- Les murs intérieurs : sont réalisés d'une seule cloison de 10cm d'épaisseur.

• **Isolation :**

L'isolation acoustique est assurée par le vide de corps creux et la masse du plancher, par contre au niveau de murs extérieurs l'isolation est assurée par le vide d'air entre les deux parois qui compose se dernier, et par la minimisation des ponts thermique en cour de réalisation. A noter que l'isolation thermique est assurée par la couche du polysteur.

I-4-Caractéristique mécanique des matériaux :

I-4-1-Le béton :

Le béton est un matériau constitué par le mélange du ciment granulats (sable, gravillons) et d'eau de gâchage, Le béton armé est obtenu en introduisant dans le béton des aciers (armatures) disposés de manière à équilibrer les efforts de traction.

Nous avons utilisé une méthode pratique dite <<Méthode de DREUX et GORISSE>> Pour obtenir un béton normal (D=20mm) ayant une maniabilité plastique et une résistance à la compression = 25MPa, en supposant que les granulats utilisés sont secs, Nous utilisons l'abaque de Dreux énoncés dans la figure suivant pour déterminer la quantité des matériaux composante d'un mètre cube de béton :

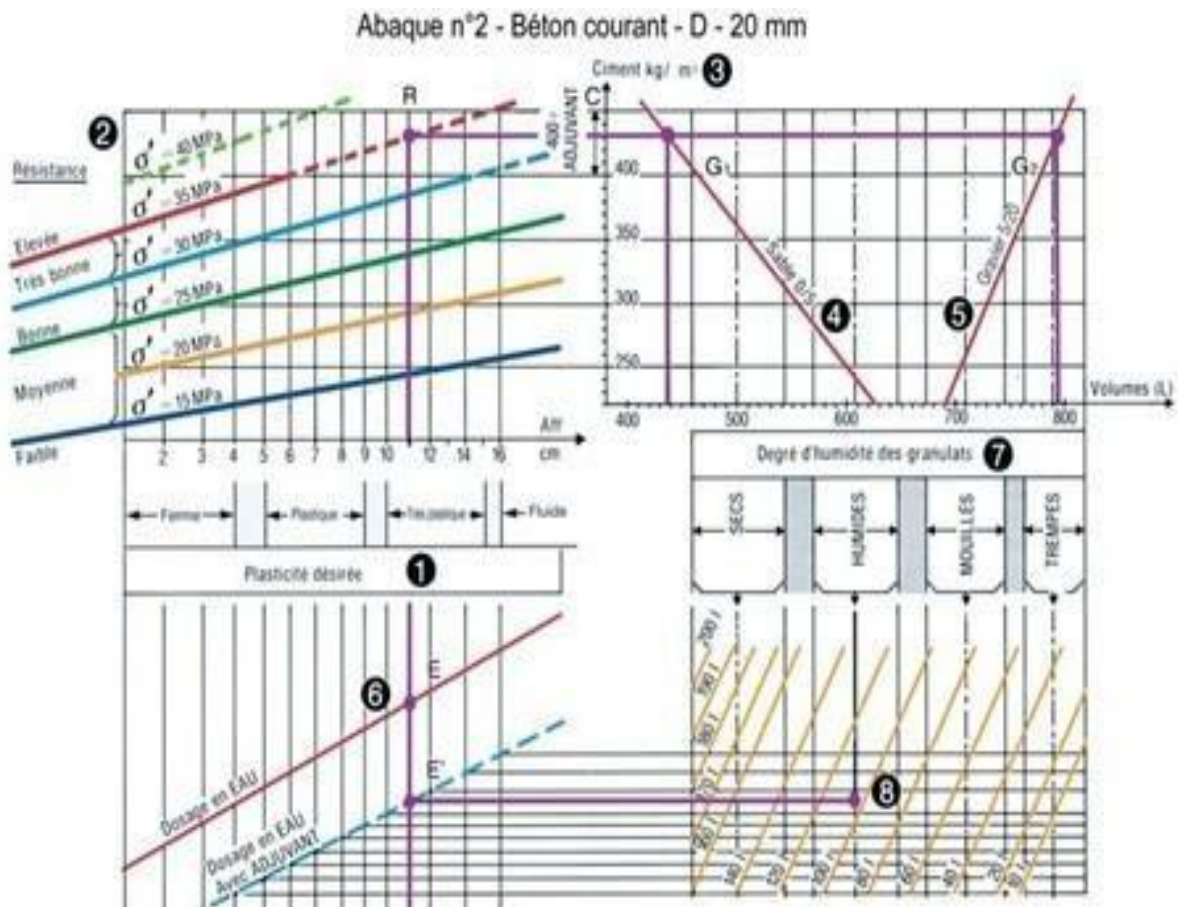


Figure I-6 : Abaque de DREUX

La composition d'un mètre cube du béton est la suivante (précis de calcul en béton armé page :68 et 69) :

- 350 kg de ciment
- 400 L de sable
- 800 L de gravillons
- 175 L d'eau de gâchage

La fabrication des bétons est en fonction de l'importance du chantier, elle peut se forme soit par une simple bétonnière de chantier, soit par l'installation d'une centrale à béton. La centrale à béton est utilisée lorsque les volumes et les cadences deviennent élevés, et la durée de la production sur un site donné est suffisamment longue.

I-4-1-1-Principaux caractéristiques et avantages de béton :

La réalisation d'un élément d'ouvrage en béton armé, comporte les 4 opérations :

1. Exécution d'un coffrage (moule) en bois ou en métal.
2. La mise en place des armatures dans le coffrage.
3. Mise en place et « bétonnage » du béton dans le coffrage.
4. Décoffrage « ou démoulage » après durcissement suffisant du béton.

Les principaux avantages du béton armé sont :

- a) Economie : le béton est plus économique que l'acier pour la transmission des efforts de compression, et son association avec les armatures en acier lui permet de résister à des efforts de traction.
- b) Souplesse des formes : elle résulte de la mise en œuvre du béton dans des coffrages auxquels on peut donner toutes les sortes de formes.
- c) Résistance aux agents atmosphériques : elle est assurée par un enrobage correct des armatures et une compacité convenable du béton.
- d) Résistance au feu : le béton armé résiste dans les bonnes conditions aux effets des incendies.
- e) Fini des parements : sous réserve de prendre certaines précautions dans la réalisation des coffrages et dans les choix des granulats.

En contrepartie, les risques de fissurations constituent un handicap pour le béton armé, et que le retrait et le fluage sont souvent des inconvénients dont il est difficile de palier tous les effets.

I-4-1-2-Résistance mécanique :

Le béton présente une résistance à la compression assez élevée, d'après le RPA99V2003 article (7.2.1) pour les éléments principaux, le béton mise en œuvre doit avoir une résistance f_{c28} au moins égale au 22 MPa et au plus égale à 45 MPa. Par contre ça résistance à la traction est faible et elle est à l'ordre de 1/12 de sa résistance à la compression.

a) Résistance caractéristique à la compression :

La résistance caractéristique à la compression du béton f_{cj} à « j » jour d'âge est déterminer à partir d'essai de compression axiale sur des éprouvettes normaliser de 16cm du diamètre et de 32cm de hauteur, on utilise le plus souvent la valeur à 28 jours de maturité f_{c28} .

- Pour des résistances $f_{c28} \leq 40\text{MPa}$:

$$\begin{cases} f_{cj} = \frac{j}{4.76 + 0.83j} f_{c28} & \text{si: } j < 60 \text{ jours.} \\ f_{cj} = 1.1f_{c28} & \text{si: } j > 60 \text{ jours.} \end{cases} \quad \text{BAEL 91 mod 99 (Art A. 2.1,11)}$$

- Pour des résistances $f_{c28} \geq 40 \text{ MPa}$:

$$\begin{cases} f_{cj} = \frac{j}{1.40 + 0.95j} f_{c28} & \text{si: } j < 28 \text{ jours.} \\ f_{cj} = f_{c28} & \text{si: } j > 28 \text{ jours.} \end{cases} \quad \text{BAEL 91 mod 99 (Art A. 2.1,11)}$$

Pour notre étude on prend $f_{c28} = 25\text{MPa}$

b) Résistance caractéristique à la traction :

La résistance caractéristique à la traction du béton à « j » jours, noté f_{tj} , et conventionnellement notée par les relations suivantes :

$$\begin{cases} f_{tj} = 0.06 + 0.6f_{cj} & \text{si: } f_{c28} \leq 60 \text{ jours.} \\ f_{tj} = 0.275f_{cj}^{2/3} & \text{si: } f_{c28} > 60 \text{ jours.} \end{cases} \quad \text{BAEL 91 mod 99 (Art A. 2.1,12)}$$

c) Déformation et contrainte de calcul :

Un ouvrage doit être conçu et calculé de manière à présenter durant toute sa durée d'exploitation des sécurités appropriées vis-à-vis :

- Sa ruine totale ou partielle.
- Du comportement en service susceptible d'affecter gravement sa durabilité, son aspect, ou encore le confort des usagers.

-Etat limite ultime de résistance

Dans les calculs relatifs à l'état limite ultime de résistance on utilise pour le béton un diagramme conventionnel dit parabole- rectangle, et dans certains cas par mesure de simplification un diagramme rectangulaire.

-Diagramme parabole rectangle :

C'est un diagramme de contrainte-déformation du béton qui peut être utilisé dans le cas de l'ELU (en compression 2‰ et 3.5‰),(BAEL 91 mod 99 page :24) :

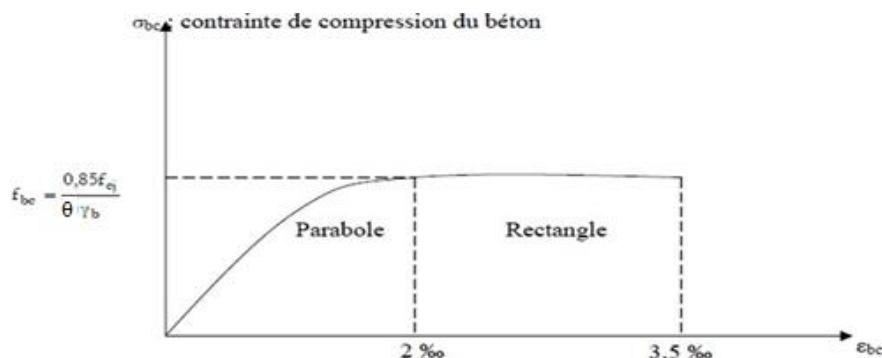


Figure I-7 : Diagramme parabole-rectangle des contraintes-déformations du béton

- ϵ_{bc} : Déformation du béton en compression.
- f_{bc} : La contrainte de calcul pour $2\text{‰} \leq \epsilon_{bc} \leq 3.5\text{‰}$.
- f_{cj} : Résistance caractéristique à la compression du béton à "j" jours.
- γ_b : Coefficient de sécurité ; ou: $\begin{cases} \gamma_b = 1.5 \text{ cas générale.} \\ \gamma_b = 1.15 \text{ cas accidentele.} \end{cases}$
- θ : Coefficient d'application (BAEL 91 mod 99 page: 24); ou: $\begin{cases} 1 \rightarrow \text{duré} > 24h \\ 0.9 \rightarrow 1 \leq \text{duré} \leq 24h \\ 0.85 \rightarrow \text{duré} < 1 \end{cases}$

D'où la contrainte σ_{bc} est en fonction de son raccourcissement :

Diagramme parabole-rectangle	Déformation ϵ_{bc}	Contrainte de calcul σ_{bc}
Parabole	$0 \leq \epsilon_{bc} \leq 2 \text{‰}$	$0 \leq \sigma_{bc} \leq f_{bu}$ pour: $\epsilon_{bc} = 2\text{‰} \rightarrow \sigma_{bc} = f_{bu}$
Rectangle	$2 \text{‰} \leq \epsilon_{bc} \leq 3.5 \text{‰}$	$\sigma_{bc} = f_{bu}$

-Diagramme rectangulaire simplifier : (BAEL91 révisée 99. P81) :

Lorsque la section est partiellement comprimée, on peut utiliser un diagramme rectangulaire simplifié.

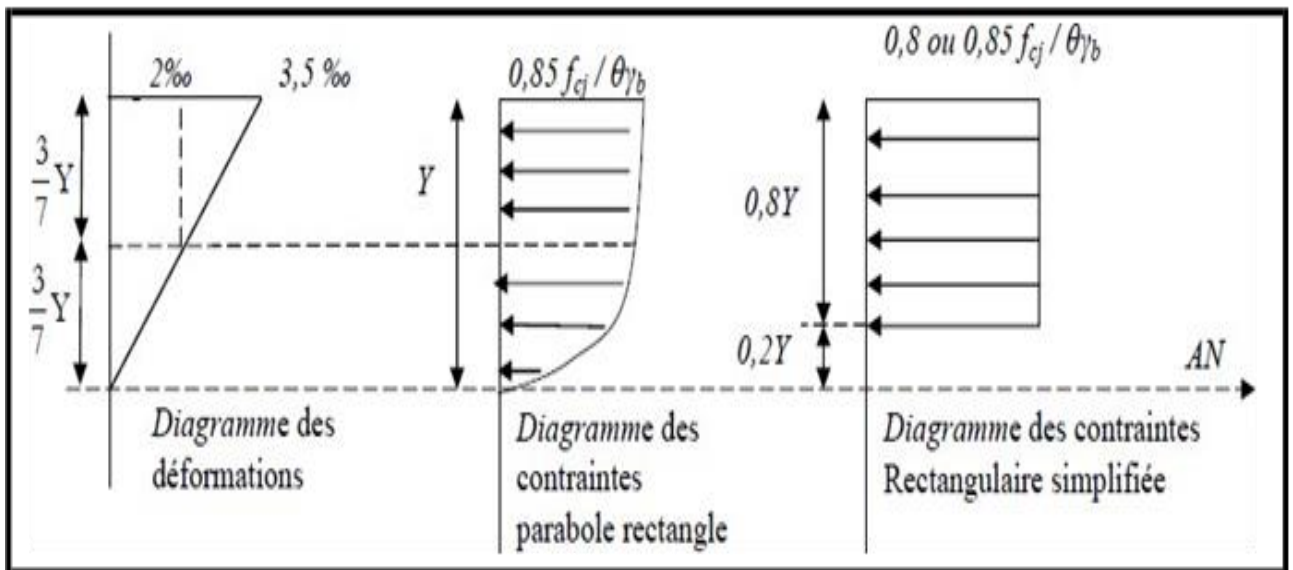


Figure I-8 : Diagramme des contraintes rectangulaire simplifié du béton

- Sur une distante de 0,2 y compté à partir de l'axe neutre la contrainte est nulle.
- Sur la distance restante 0,8 y la contrainte à pour valeur $\frac{0.85 \times f_{cj}}{\theta \times \gamma_b}$ pour les zones comprimées dont le largeur est croissant ou constant vers les fibres les plus comprimées.
- $\frac{0.85 \times f_{cj}}{\theta \times \gamma_b}$ Pour les zones comprimées dont la largeur est décroissante ou constante vers ces mêmes fibres.

I-4-1-5-Contrainte admissible de cisaillement :

$$\left\{ \begin{array}{l} \overline{\tau}_u = \min\left(\frac{0.2 \times f_{cj}}{\gamma_b} ; 5\text{MPa}\right) \quad \text{fissuration peu préjudiciable.} \\ \overline{\tau}_u = \min\left(\frac{0.15 \times f_{cj}}{\gamma_b} ; 4\text{MPa}\right) \quad \text{fissuration préjudiciable ou très préjudiciable} \end{array} \right.$$

La contrainte ultime de cisaillement dans une pièce en béton est définie par rapport à l'effort tranchant ultime T_u , avec :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b \times d} \quad ; \text{ou: } \begin{cases} b: \text{La largeur de la pièce.} \\ d: \text{La hauteur utile.} \end{cases} \quad \text{BAEL 91 mod 99 (Art A. 5.1,1)}$$

I-4-1-6-Module de déformation longitudinale du béton :

• **Module de déformation instantanée :**

Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24h. On admet qu'à l'âge de « j » jours le module de déformation longitudinale instantanée du béton E_{ij} est égale à :

$$E_{ij} = 11000 \times f_{cj}^{\frac{1}{3}}$$

• **Module de déformation différée :**

Sous des contraintes de longue durée d'application on admet qu'à l'âge de « j » jours le module de déformation longitudinal différée du béton E_{vj} est donné par la formule :

$$E_{vj} = 3700 \times f_{cj}^{\frac{1}{3}}$$

• **Remarque :**

La déformation totale vaut environ trois fois la déformation instantanée.

a) -Module de déformation transversale :

• **Coefficient de poisson :**

$$\nu = \frac{\Delta d/d}{\Delta L/L} \quad \text{avec: } \begin{cases} \Delta d/d : \text{déformation relative transversale.} \\ \Delta L/L : \text{Déformation relative longitudinale.} \end{cases}$$

Il est pris égale à: $\begin{cases} \nu = 0.2 \text{ pour l'ELS(béton non fissuré)} \\ \nu = 0.00 \text{ pour l'ELU(béton fissuré)} \end{cases}$

I-4-2-Les aciers :

Le matériau acier est un alliage Fer + Carbone en faible pourcentage. Les aciers pour béton armé sont ceux de :

- Nuance douce pour 0,15 à 0,25% de carbone.

- Nuance mi- dure et dure pour 0,25 à 0,40% de carbone.

Dans la pratique ont utilisé les nuances d'acier suivantes :

- Acier naturel FeE 215, FeE 235.
- Acier à haute adhérence FeE 400, FeE 500.
- Treillis soudés de maille 150 x 150 mm² avec $\phi_{min} = 6$ mm.
- Le caractère mécanique servant de base aux justifications est la limite d'élasticité.
- Le module d'élasticité longitudinal de l'acier est pris égale à : $E_s = 2 \times 10^5 MPa$

I-4-2-1-Diagramme déformation contrainte de calcul :

Dans les calculs relatifs aux états limites, on introduit un coefficient de sécurité γ_s qui a les valeurs suivantes :

$\gamma_s = 1.15$ cas générale. Précis de calcul en BA page: 80
 $\gamma_s = 1.00$ cas de combinaisons accidentelles.

Pour notre cas on utilise des aciers FeE400.

Diagramme déformation- contrainte de l'acier (Précis de calcul en BA page :73,74) :

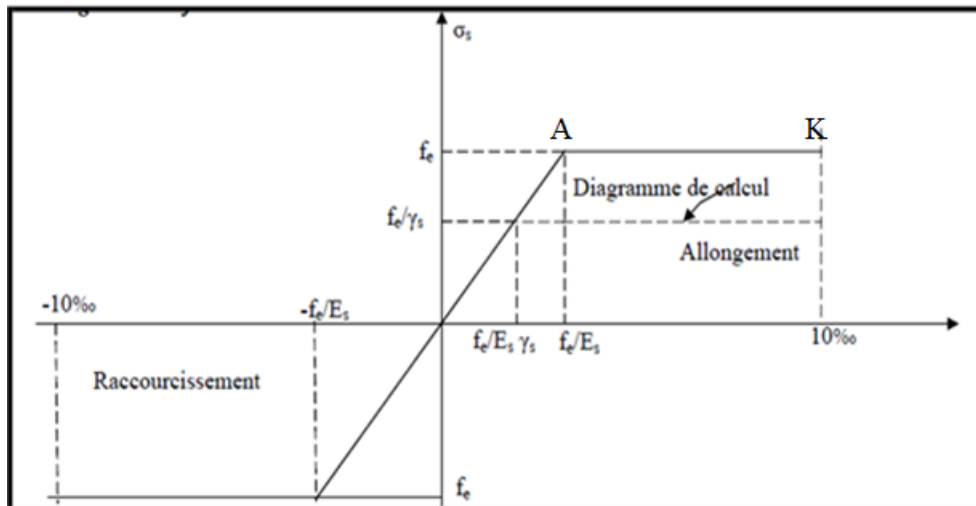


Figure I-9 : Diagramme Contrainte-Déformation d'acier

- **Cas de traction :**
 - **Droite OA :** proportionnalité déformation-contrainte Origine en O Coordonnées du point A :

$$\epsilon_s = \frac{f_e}{E_s} \quad \text{et:} \quad \sigma_s = f_e$$
 Expression de la contrainte σ_s (loi de Hooke) : $\sigma_s = \epsilon_s \times E_s$
 - Horizontale de A à K d'ordonnée $\sigma_s = f_e$ le point K correspond à un allongement de 10 %.
- **Cas de la compression :**
 Diagramme symétrique par rapport à l'origine O.

- Le diagramme de calcul se déduit du diagramme déformation-contrainte conventionnellement.

I-4-2-2-Contrainte limite de traction des armatures :

- Fissuration peu préjudiciable $\bar{\sigma}_{st} \leq f_e$ pas de limitation.
- Fissuration préjudiciable $\bar{\sigma}_{st} = \min ((3/2)f_e ; 110\sqrt{\eta \times f_{tj}})$.
- Fissuration très préjudiciable $\sigma_{st} = \min (0,5f_e ; 90\sqrt{\eta \times f_{tj}})$.

Avec :

η : coefficient de fissuration $\left\{ \begin{array}{l} \eta = 1: \text{Pour des rons lisses(RL).} \\ \eta = 1,6: \text{Pour les hautes adhérences avec } \Phi \geq 6 \text{ mm (HA).} \end{array} \right.$

Poids volumique :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Béton armé} \rightarrow \gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Béton non armé} \rightarrow \gamma_b = 22 \text{ kN / m}^3 \\ \text{Acier} \rightarrow \gamma_b = 78.5 \text{ kN/m}^3 \end{array} \right.$$

I-5-Etats limites :

Les états limites sont classés suivant le BAEL 91 mod 99 en deux catégories :

I-5-1-Etat limite ultime (ELU) :

Correspond à la ruine de l'ouvrage ou de l'un de ces éléments par perte d'équilibre statique, rupture, flambement. C'est-à-dire :

- Etat limite ultime d'équilibre statique non renversement de la structure.
- Etat limite ultime de résistance pour les matériaux constitues béton ou acier exemple : non rupture par écrasement du béton.
- Etat limite ultime de stabilité de forme non flambement d'un poteau.

➤ Hypothèse de calcul :

- Les sections planes avant déformation restent planes après déformation.
- Pas de glissement relatif entre les armatures et le béton.
- La résistance du béton à la traction est négligée.
- Le raccourcissement du béton est limité à : $\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{bc} = 2\text{‰} \text{ en flexion composée.} \\ \varepsilon_{bc} = 3.5\text{‰} \text{ en compression simple.} \end{array} \right.$
- L'allongement de l'acier est limité à $\varepsilon_s = 10\text{‰}$.
- Les diagrammes déformations- contraintes sont définis pour :

✓Le béton en compression. ✓L'acier en traction et en compression.

➤ Règle des trois pivots (Précis de calcul en BA page :80) :

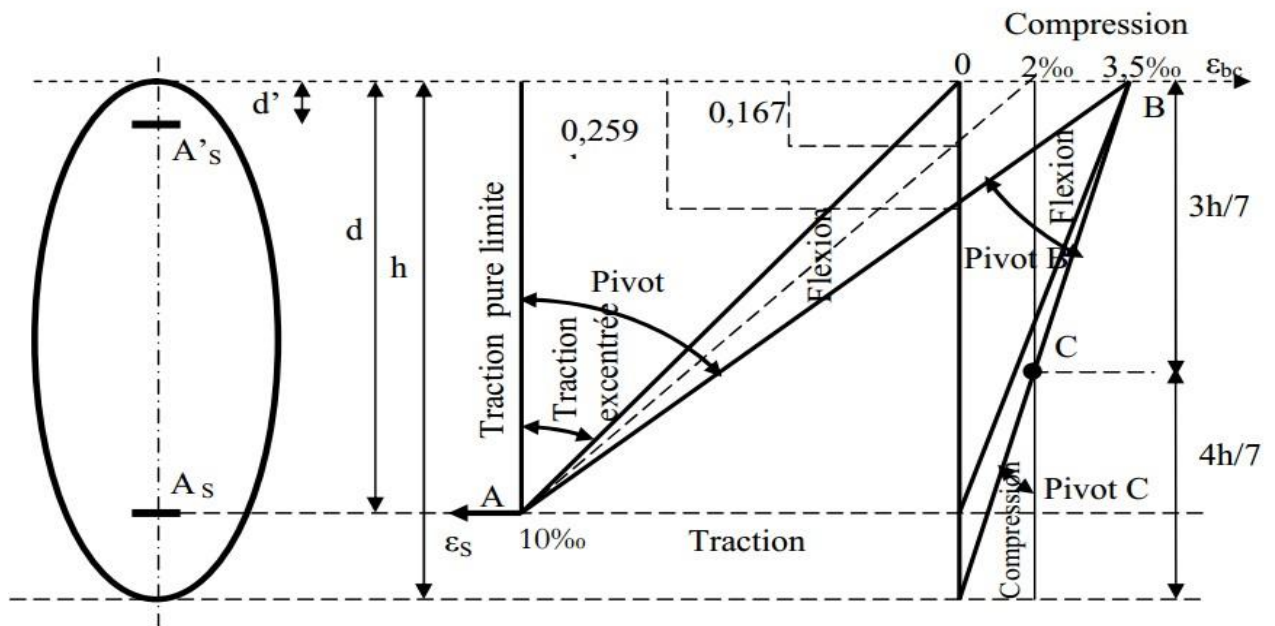


Figure I-10 : Diagramme des déformations limites de la section : règle des trois pivots

- En fonction des sollicitations normales, la rupture d'une section en béton armé peut intervenir :
Par écrasement du béton comprimé.
Par épuisement de la résistance de l'armature tendue.
- Les positions limite que peut prendre le diagramme des déformations sont déterminés à partir des déformations limites du béton et de l'acier.
- La déformation est représentée par une droite passant par l'un des points A , B , C appelés pivots.

Pivot	Domaine	Déformation limites du pivot considéré
A	1	Allongement unitaire de l'acier : 10‰
B	2	Raccourcissement unitaire du béton : 3.5 ‰
C	3	Raccourcissement unitaire du béton : 2.0 ‰

I-5-2-Etat limite de service (ELS) :

Au-delà du quels ne sont plus satisfaites les conditions normales d'exploitation et de durabilité (ouvertures des fissures, déformation, excessives des éléments porteurs).

➤ Hypothèse de calcul :

- Les sections droites restent planes.
- Il n'y a pas de glissement relatif entre les armatures et le béton.
- Le béton tendu est négligé.
- Les contraintes sont proportionnelles aux déformations. $\sigma_{bc} = E \times \epsilon_{bc}$; $\sigma_s = E_s \times \epsilon_s$
- Par convention (n) correspond au rapport du module d'élasticité longitudinal de l'acier à celui du béton : $n = \frac{E_s}{E_b} = 15$ "coefficient d'équivalente"

I-5-3-Sollicitations de calcul vis-à-vis des états limites :

- **Etat limite ultime :**

Les sollicitations de calcul sont déterminées à partir de la combinaison d'action suivante :
 $1,35 G + 1,5 Q$

- **Etat limite de service :**

Combinaison d'action suivante : $G + Q$

S'il y a intervention des efforts horizontaux dus au séisme, les règles parasismiques algériennes ont

Prévu des combinaisons d'action suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} G + Q + E \\ G + Q + 1,2 E \\ 0,8 G \pm E \end{array} \right. \quad \text{avec :} \quad \left\{ \begin{array}{l} G : \text{charge permanente.} \\ Q : \text{charge d'exploitation.} \\ E : \text{effort de séisme.} \end{array} \right.$$

I-6-Règlementation et normes utilisés

L'étude du projet est élaborée suivant les règles de calcul et de conception qui sont mises en vigueur actuellement en Algérie à savoir :

- Le CBA93 (Code De Béton Armé).
- Le RPA 99 révisée 2003(Règlement Parasismique Algérien).
- Le BAEL 91(Béton Armé Aux Etats Limites).
- DTR-BC2.2 (Document Technique Règlementaire Charges Et Surcharges).
- DTR-BC2.331 (Règles De Calculs Des Fondations Superficielles).