

**I-1-Introduction générale :**

Les ingénieurs civils s'occupent de la conception, la réalisation, l'exploitation et la réhabilitation d'ouvrages de construction et d'infrastructures urbaines dont ils assurent la gestion afin de répondre aux besoins de la société, tout en assurant la sécurité des usagers et la protection de l'environnement. Lors d'un tremblement de terre sévère, il a été constaté que de nombreux bâtiments à voiles en béton armé ont bien résisté sans endommagement exagéré. Mais à part leur rôle d'éléments porteurs vis-à-vis des charges verticales, les voiles (ou murs de contreventements) en béton armé correctement dimensionnés, peuvent être particulièrement efficace pour assurer la résistance aux forces horizontales, permettant ainsi de réduire les risques.

La réglementation parasismique algérienne, comme toute réglementation n'a pas un caractère définitif ni scientifique absolument exact mais représente la réunion d'un consensus (accord) technique traduisant l'état des connaissances scientifiques et d'un consensus sociétal traduisant les limites de la protection parasismique définies comme acceptables. Elle énonce l'obligation de construire parasismique. En effet deux injonctions peuvent être adressées à un maître d'ouvrage : l'obligation d'appliquer les règles parasismiques (caractère normatif) ou la démonstration du caractère parasismique de sa construction. Les ingénieurs disposent actuellement de divers outils informatiques et de logiciels de calculs rapides et précis permettant la maîtrise de la technique des éléments finis adoptée au domaine de Génie Civil, ainsi que le calcul de diverses structures en un moindre temps.

**I-2-Présentation de l'ouvrage :**

Le présent travail est une étude technique d'un bâtiment en béton armé à usage multiple (habitation et commercial) composé d'un rez de chaussée et 10 étages. Le rez de chaussée c'est un étage commerciale et les autres étages sont pour l'habitation, présentant une régularité en plan.

Cet ouvrage sera implanté à « TIARET » classé en zone de faible sismicité (zone I) d'après le règlement parasismique algériennes (RPA 99) modifié en 2003.

Après une descende des charges et un pré-dimensionnement des éléments dans le chapitre II, un calcul des planchers est mené dans le chapitre III. Le calcul des éléments structuraux est établis dans le chapitre IV. Une étude dynamique et sismique est effectuée dans le chapitre V, pour trouver les caractéristiques intrinsèques du bâtiment et calculer les efforts engendrés par les différentes sollicitations.

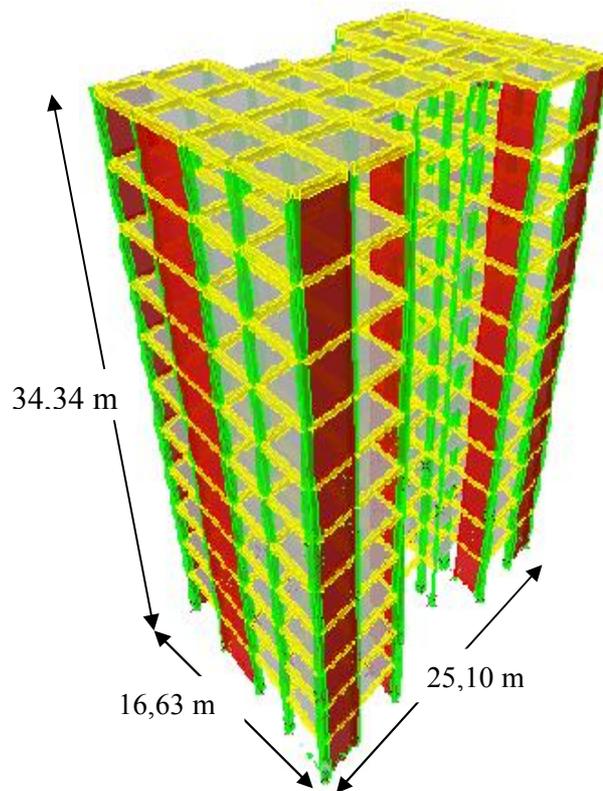
Dans le cadre de cette étude, on a utilisé le logiciel de calcul par éléments finis ETABS 16.0.2 pour faire le calcul statique et dynamique des éléments structuraux. Les efforts engendrés dans le

bâtiment, sont utilisés pour ferrailer les éléments résistants suivant les combinaisons et les dispositions constructives exigées par le BAEL91, CBA93 et RPA99/version 2003 [1-3].

**I-3- Caractéristiques géométriques:**

Les caractéristiques géométriques de bâtiment sont, figure I-1.:

- Longueur en plan----- 25,10 m.
- Largeur en plan ----- 16,63 m.
- Hauteur du RDC----- 03,74 m.
- Hauteur étage courant ----- 03,06 m.
- Hauteur totale----- 34,34 m.



**figure I-1:** Les caractéristiques géométriques de bâtiment

**I-4- Caractéristiques géotechniques du sol :**

Le bâtiment est implanté dans une zone classée par les règles parasismiques Algériennes 99/version 2003 comme zone de faible sismicité (zone I).

- Le site est considéré comme meuble ( $S_3$ ).
- Contrainte admissible du sol  $\sigma_{sol} = 2$  bars.

**I-5-Différents éléments de la structure :****I-5-1-Superstructure :****a-Planchers :**

Un plancher est une aire généralement plane, destinée à limiter les étages et à supporter les revêtements de sols, dont les deux fonctions principales sont :

Une fonction de résistance : il doit supporter son poids propre et les surcharges.

Une fonction d'isolation acoustique et thermique. Il y a deux types de planchers dans notre bâtiment :

Plancher à corps creux pour le RDC et les étages courants.

Plancher en dalle pleine pour les balcons et la dalle de l'ascenseur.

**b-L'ossature :**

La structure comporte des portiques auto-stables (poteaux-poutres) en béton armé suivant les deux directions, et des voiles de contreventement. Les charges verticales et horizontales seront reprises simultanément par les portiques et les voiles, et cela proportionnellement à leurs rigidités relatives.

**c-Maçonneries :**

Les murs de notre structure seront exécutés en brique creuse.

**-Murs extérieurs :** ils sont constitués d'une double cloison de 30 cm d'épaisseur. Brique creuse de 15 cm d'épaisseur, pour les parois externes du mur. Lambe d'air de 5 cm d'épaisseur et Brique creuse de 10 cm d'épaisseur pour les parois internes du mur.

**-Murs intérieurs :** ils sont constitués par une cloison de 10 cm d'épaisseur qui sert à séparer deux services et une double cloison de 25 cm d'épaisseur qui sert à séparer deux logements voisins (une cloison de 10cm d'épaisseur pour la face externe et interne).

**c-Escalier :**

Ils servent à relier les niveaux successifs et à faciliter les déplacements inter étages. Notre structure comporte un seul type d'escaliers, c'est un escalier multi volet droit perpendiculaires entre elles.

**d-Ascenseur :**

C'est un appareil automatique élévateur installé, comportant une cabine dont les dimensions et la constitution permettant l'accès des personnes et de matériels.

**e-Revêtement :**

Enduit en ciment pour le sous plafond.

Enduit en ciment pour les faces extérieures des murs de façade, et les murs Intérieurs.

Carrelage pour les planchers et les escaliers.

**f-Terrasse :**

Il existe un seul type de terrasses :Terrasse inaccessible.

**I-5-2-L'infrastructure :**

Suivant les résultats des essais de laboratoire et des essais in situ, la structure projetée peut être posée sur des fondations superficielles de type radier général.

Capacité portante  $\sigma_{sol} = 2 \text{ bars}$  pour d'ancrage  $D = 4,08m$

L'angle de frottement interne du sol  $\Phi = 30^\circ$ .

Le site est de nature meuble donc  $S_3$

**I-6-Caractéristiques des matériaux:**

Notre bâtiment sera construit en béton armé, matériau composé de béton et des barres d'acier.

**I.6.1 Béton :**

On appelle béton, le matériau constitué par le mélange, dans les proportions convenables, de ciment, granulats et eau. Le béton armé est le matériau obtenue on enrobant dans le béton des aciers disposés de manière à équilibrer les efforts de traction ou à renforcer le béton pour résister aux efforts de compression s'il ne peut pas à lui seul remplir ce rôle.

**a. Composition :**

**a.1- Ciment :** Le CPA325 (ciment portland artificiel de classe 325) est le liant le plus couramment utilisé, il sert à assurer une bonne liaison de granulats entre eux.

**a.2- Granulats :** Deux types de granulats participent dans la constitution du béton :

- Sable de dimension ( $D_s \leq 5$ ) mm
- Gravier de dimension ( $5 \leq D_g \leq 25$ ) mm

**a.3- Eau de gâchage:** elle met en réaction le ciment en provoquant son hydratation, elle doit être propre et dépourvue de tous produits pouvant nuire aux caractéristiques mécaniques du béton.

**b-Résistance du béton :**

Le béton est caractérisé par sa résistance à la compression, et sa résistance à la traction, mesurée à "j" jours d'âge.

**b-1-Résistance à la compression :** désignée par  $f_{c28}$  (résistance à la compression à 28 jours), elle est obtenue par écrasement en compression axiale sur des éprouvettes cylindriques normalisées ( $16 \times 32$ ) cm<sup>2</sup> dont la hauteur est double du diamètre et leurs sections est de 200 cm<sup>2</sup>. Pour les ouvrages courants, Le béton est caractérisé par sa bonne résistance à la compression, cette dernière est donnée à "j" jour en fonction de la résistance à 28 jours par les formules suivantes : **(CBA.93 [ART 2.1.1.1])**

$$\begin{cases} f_{c28} \leq 40 \text{ MPa} \rightarrow f_{cj} = \frac{j}{4.76 + 0.83j} \times f_{c28} \\ f_{c28} \geq 40 \text{ MPa} \rightarrow f_{cj} = \frac{j}{1.40 + 0.95j} \times f_{c28} \end{cases}$$

Pour 28 jours  $< j < 60$  jours, on prend :  $f_{cj} = f_{c28}$

Pour  $j \geq 60$  jours, on prend  $f_{cj} = 1,1f_{c28}$  ; (à condition que le béton ne soit pas traité thermiquement).

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

**b-2-Résistance à la traction** : La résistance à la traction est déterminée par plusieurs essais , parmi ces essais on peut citer :

1. Traction directe sur les cylindres précédents.
2. Traction par fendage en écrasant un cylindre de béton placé horizontalement entre les plateaux d'une presse (essai Brésilien).
3. Traction par flexion : à l'aide d'une éprouvette prismatique de côté « a » et de longueur « 4a » reposant sur deux appuis horizontaux et soumise à la flexion :

La résistance caractéristique à la traction du béton à « j » jours, noté  $f_{ij}$ , est conventionnellement définie par la relation: (CBA.93 [ART 2.1.1.1])

$$f_{ij} = 0,6 + 0,06 f_{cj} \text{ (MPa)}$$

Pour notre ouvrage, on utilise le même dosage de béton avec une résistance caractéristique à la compression  $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$  et à la traction  $f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$  .

Les principaux avantages du béton armé sont:

**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.

**Souplesse des formes**: Elle résulte de la mise en œuvre du béton dans les coffrages auxquels on peut donner toutes sortes de formes.

**Résistance aux agents atmosphériques**: Elle est assurée par un enrobage correct des armatures et une compacité convenable du béton.

**Résistance au feu** : Le béton armé résiste dans les bonnes conditions aux effets des incendies.

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 :

**C- Définition des états limites :**

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

- De sa ruine ou de celle de l'un de ses éléments.
- Du comportement en service susceptible d'affecter gravement sa durabilité, son aspect ou encore le confort des usagers.

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 ce serait de l'être en cas de modification défavorable d'une action (majoration ou minoration selon le cas).

On distingue deux états limites:

➤ **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.

➤ **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.

**d-Déformation et contraintes de calcul :**

a) **Etat limite de résistance : (CBA 93 [ART 3.3.2])**

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.

a.1) **Diagramme parabole – rectangle :**

C'est un diagramme déformations – contraintes du béton qui peut être utilisé dans tous les cas.

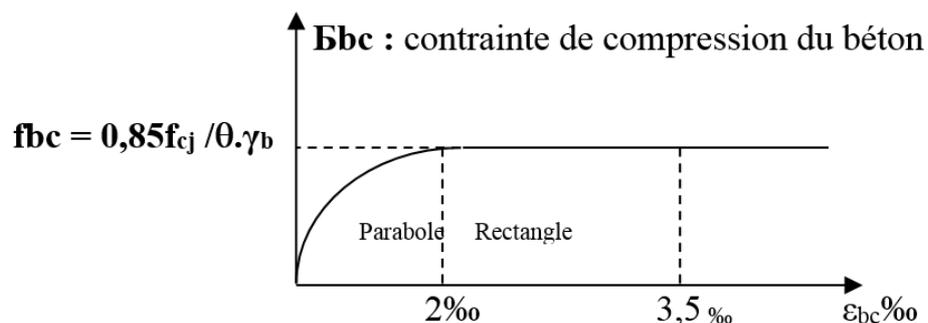


Figure I.2 : Diagramme parabole – rectangle.

La contrainte du béton comprimé :

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{bc} = \frac{0,85 \times f_{cj}}{\Phi \times \gamma_b} \\ \sigma_{bc} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,50} = 14,2 \text{ MPa} \rightarrow \text{Pour le cas générale} \\ \sigma_{bc} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,15} = 18,48 \text{ MPa} \rightarrow \text{Pour le cas} \\ \text{des combinaisons accidentelles} \end{array} \right.$$

Avec:

$\epsilon_{bc}$  : Déformation du béton en compression ;

$\sigma_{bc}$  : Contrainte de calcul pour  $2 \text{ ‰} < \epsilon_{bc} < 3,5 \text{ ‰}$  ;

$f_{cj}$  : Résistance caractéristique à la compression du béton à " j " jours ;

$\gamma_b$  : Coefficient de sécurité avec :  $\left\{ \begin{array}{l} \gamma_b = 1,5 \rightarrow \text{Cas général} \\ \gamma_b = 1,15 \rightarrow \text{Cas accidentelles} \end{array} \right.$

Le coefficient de minoration 0,85 tient compte de l'influence défavorable de la durée d'application des charges et des conditions de bétonnage vis-à-vis des résistances caractéristiques obtenues par essais sur éprouvettes.

**b) Etat limite de service : (CBA 93 [ART 5.1.4])**

La contrainte limite de service en compression est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28} = 0,6 \times 25 = 15 \text{ MPa.}$$

**b.1) Diagramme rectangulaire :**

Utilisé dans le cas où la section considérée est partiellement comprimée ou en flexion simple.

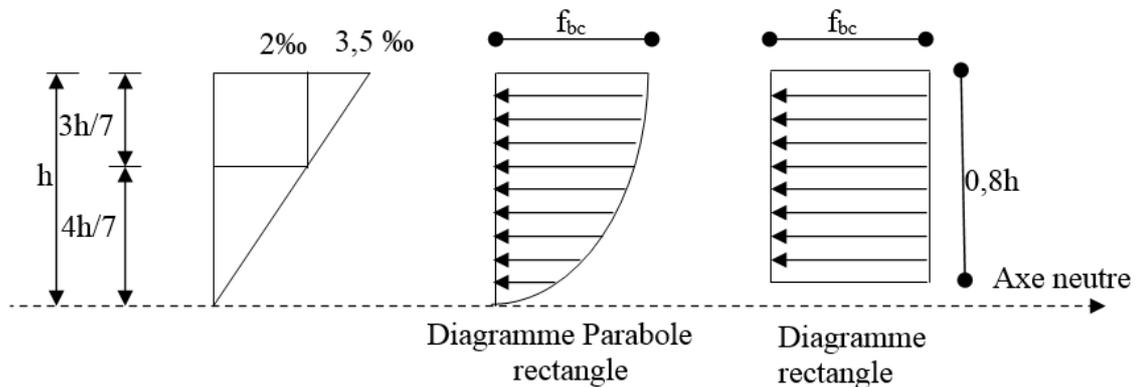


Figure I.3 : Diagramme rectangulaire.

**e-Contrainte admissible de cisaillement: (CBA 93 [ART 5.1.2.1.1])**

$$\left\{ \begin{array}{l} \tau_u = \min\left(\frac{0,2 \times f_{cj}}{\gamma_b} ; 5 \text{ MPa}\right); \text{Pour une fissuration peu préjudiciable ;} \\ \tau_u = \min\left(\frac{0,15 \times f_{cj}}{\gamma_b} ; 4 \text{ MPa}\right); \text{Pour une fissuration préjudiciable ou trèspréjudiciable.} \end{array} \right.$$

La contrainte ultime de cisaillement dans une pièce en béton définie par rapport à l'effort tranchant

$$\text{ultime } \tau_u \dots \tau_u = \frac{T_u}{b_0 \times d}$$

Avec :  $\begin{cases} b_0 : \text{largeur de la pièce} \\ d : \text{hauteur utile} \end{cases}$

$$\tau_u = \min\left(\frac{0,2 \times 25}{1,50} ; 5 \text{ MPa}\right) = \min(3,34 ; 5 \text{ MPa})$$

$= 3,34 \text{ MPa} ; \text{Fissuration peu préjudiciable}$

$$\tau_u = \min\left(\frac{0,15 \times 25}{1,50} ; 4 \text{ MPa}\right) = \min(2,5 ; 4 \text{ MPa})$$

$= 2,5 \text{ MPa} ; \text{Fissuration préjudiciable ou très préjudiciable}$

**f-Modules de déformation longitudinale du béton:**

**f-1) Module de déformation instantanée : (CBA 93[ART 2.1.1.2])**

Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24h, le module de déformation instantanée  $E_{ij}$  du béton âgé de "j" jour égal à :

$$E_{ij} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}} = 11000 \sqrt[3]{25} = 32164,19 \text{ MPa}$$

**f-2) Module de déformation différée : (CBA 93[ART 2.1.1.2])**

$$E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} = 3700 \sqrt[3]{25} = 10818,86 \text{ MPa}$$

La déformation totale vaut environ trois fois la déformation instantanée.

**f-3) Module de déformation transversale:**

**Coefficient de poisson : (CBA 93 [ART 2.1.2.3])**

Le coefficient de Poisson permet de caractériser la contraction de la matière perpendiculairement à la direction de l'effort appliqué. La valeur de ce module de déformation transversale est donnée par l'expression suivante :

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)}$$

Où :  $\nu$  est le coefficient de poisson

$\nu = 0$  ; Pour le calcul des sollicitations (dans E.L.U.)  $\rightarrow G = 16082,1$

$\nu = 0,2$  ; Pour le calcul des déformations (dans E.L.S.)  $\rightarrow G = 13401,75$

**I-6-2-Les Aciers :**

Les aciers utilisés en béton armé se distinguent suivant leur nuance et leur état de surface (ronds lisses ou barres à haute adhérence) et sont classés de la façon suivante :

Ronds lisses bruts obtenue par laminage ; Barres à haute adhérence obtenue par laminage à chaud d'un acier naturellement dur ; Fils à haute adhérence obtenue par laminage à chaud suivi d'un écrouissage par tréfilage et/ou laminage à froid ; Treillis soudés formés par assemblages de barres ou de fils lisses ou à haute adhérence.

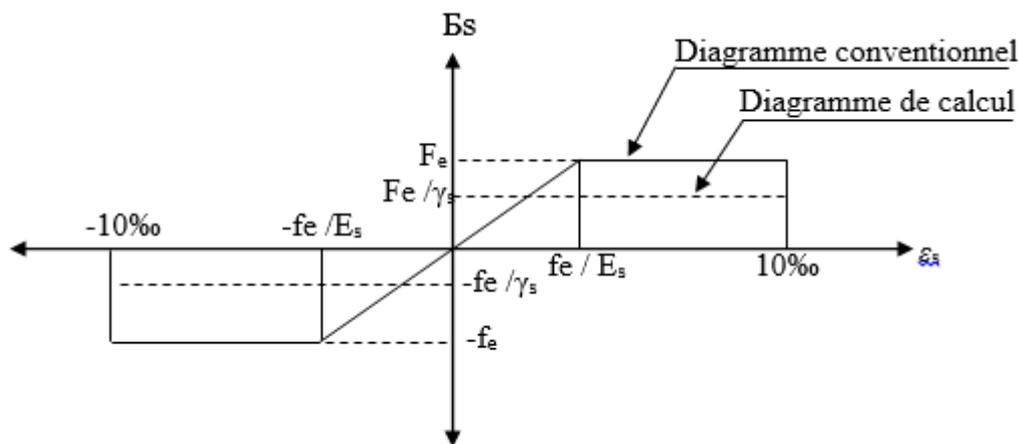
Les barres utilisées sont caractérisées par leur diamètre nominal ( $\emptyset$ ). Sauf accord préalable avec le fournisseur, la longueur développée des barres n'excédera pas 12 m (longueur commerciale courante).

Le poids volumique de l'acier est de :  $78,5 \text{ kN/m}^3$  et son module d'élasticité longitudinal est de :  $200000 \text{ MPa}$

**6-2-1-Diagramme déformation - contrainte :**

Pour cette étude, on utilise des aciers longitudinaux (feE400) et des aciers transversaux (feE235). Dans les calculs relatifs aux états limites, on introduit un coefficient de sécurité  $\gamma_s$  qui a les valeurs suivantes:  $\sigma_s = f_e / \gamma_s$

$$\begin{cases} \gamma_s = 1,15 ; \text{ Cas générale, on a } \sigma_s = 348 \text{ MPa} \\ \gamma_s = 1,00 ; \text{ Cas des combinaison accidentelles, on a } \sigma_s = 400 \text{ MPa} \end{cases}$$



**Figure I.4 :** Diagramme de déformation – contraintes.

**6-2-2-Contraintes limites de traction des armatures :**

La contrainte limite de traction est donnée par :

$$\bar{\sigma}_{st} \leq f_e ; \text{ (Pas de limitation) } \rightarrow \text{ Fissuration préjudiciable}$$

$$\begin{cases} \bar{\sigma}_{st} \leq \min \left( \frac{2}{3} \times f_e ; 110 \times \sqrt{\eta \times f_{tj}} \text{ MPa} \right) \\ \bar{\sigma}_{st} \leq \min \left( \frac{2}{3} \times 400 ; 110 \times \sqrt{1,6 \times 2,1} \right) \rightarrow \text{ Fissuration préjudiciable} \\ \bar{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ MPa} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma_{st} \leq \min \left( \frac{1}{2} \times f_e ; 90 \times \sqrt{\eta \times f_{tj}} \text{ MPa} \right) \\ \sigma_{st} \leq \min \left( \frac{1}{2} \times 400 ; 90 \times \sqrt{1,6 \times 2,1} \right) \rightarrow \text{ Fissuration très préjudiciable} \\ \sigma_{st} = 165 \text{ MPa} \end{cases}$$

$\eta$  : Coefficient de fissuration ;

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta = 1 \rightarrow \text{Pour rond lisse ;} \\ \eta = 1,6 \rightarrow \text{Pour haute adhérences avec } \Phi \geq 6 \text{ mm ;} \\ \eta = 1,3 \rightarrow \text{Pour haute adhérences avec } \Phi < 6 \text{ mm.} \end{array} \right.$$

$f_{tj}$  : Résistance caractéristique à la traction du béton ;

$f_e$  : Limite d'élasticité des aciers.

**I-7-Hypothèse de calcul:**

Selon les règles B.A.E.L 91, on distingue deux états de calcul :

Etats limites ultimes de résistance E.L.U.R

Etats limites de service E.L.S

**I-7-1-E.L.U.R :**

Il consiste à l'équilibre entre les sollicitations d'actions majorées et les sollicitations résistantes calculées en supposant que les matériaux atteignant les limites de rupture minorée, ce qui correspond aussi aux règlements parasismique algériennes R.P.A 99 (version 2003).

On doit par ailleurs vérifier que l'E.L.U.R n'est pas atteint en notant que les actions sismiques étant des actions accidentelles.

**Hypothèses 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 :  $\left\{ \begin{array}{l} \varepsilon_{bc} = 3,5\text{‰} \rightarrow \text{Flexion composée} \\ \varepsilon_{bc} = 2\text{‰} \rightarrow \text{Compression simple} \end{array} \right.$

L'allongement de l'acier est limité à :  $\varepsilon_{bc} = 10\text{‰}$  ;

Les diagrammes déformations contraintes sont définis pour :

Le béton en compression ;

L'acier en traction et en compression.

**Règles 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 limites que peut prendre le diagramme des déformations sont déterminées 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 ou C appelés pivots.

Tableau I 1 : Les déformations limites du pivot.

P Pivot	Domaine	D Déformation limites du pivot considéré
A	1	Allongement unitaire de l'acier 10 <sup>0</sup> / <sub>00</sub>
B	2	Raccourcissement unitaire du béton 3,5 <sup>0</sup> / <sub>00</sub>
C	3	Raccourcissement unitaire du béton 2 <sup>0</sup> / <sub>00</sub>

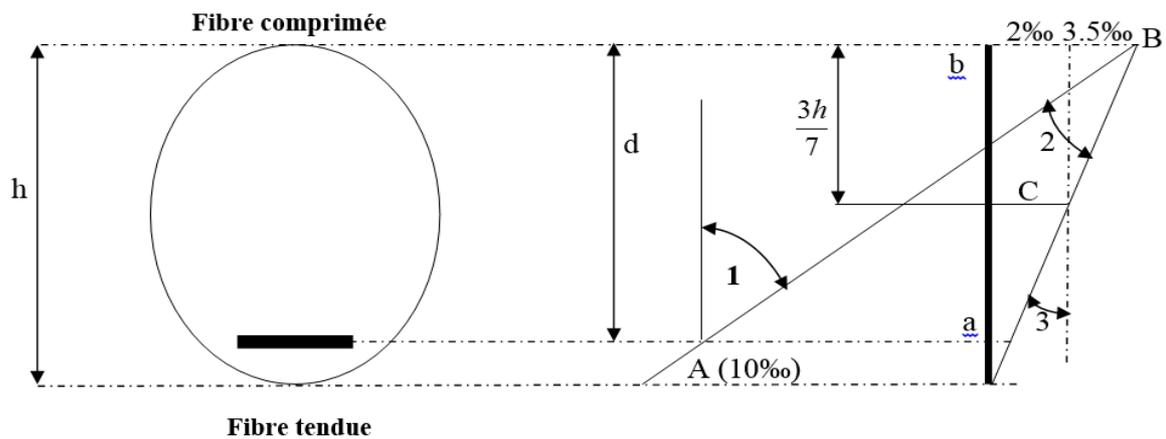


Figure I.5 : Diagramme des déformations limitées de la section.

**I-7-2-E.L.S:**

Il consiste à l'équilibre des sollicitations d'actions réelles (non majorées) et les sollicitations résistantes calculées dépassant des contraintes limites.

**Hypothèses 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 néglige ;

Les contraintes sont proportionnelles aux déformations.

$$\begin{cases} \sigma_{bc} = E_b \times \varepsilon_{bc} \\ \sigma_s = E_s \times \varepsilon_s \\ \varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \end{cases}$$

Pour convention η correspond au rapport du module d'élasticité longitudinale de l'acier à celui de béton.

$$\eta = \frac{E_s}{E_b} = 15 ; \text{Coefficient d'équivalence.}$$

**I-8-Sollicitation du 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 : G+Q

Les règles parasismiques algériennes ont prévu les combinaisons d'actions suivantes:

$$\begin{cases} G + Q \pm E \\ 0,8G \pm E \end{cases} \begin{cases} G : charge permanente \\ Q : charge d'exploitation \\ E : effort du séisme \end{cases}$$