

I.1. Introduction générale :

Ce projet présente une étude détaillée d'un bâtiment à usage d'habitation constituée d'un Rez-de-chaussée plus six (6) étages.

L'objectif de cette étude qui représente le complément d'une formation de cinq années dans le domaine de génie civil est tous d'abord d'examiner notre compétence et notre acquis pendant cette durée de formation ainsi d'apprendre comment élaborer complètement un projet de calcul d'une structure.

Quels que soient les types des bâtiments en béton armé, leurs études rencontrent des nombreuses difficultés dans le choix du modèle de comportement.

Ces études aboutiront ils à un résultat conforme aux normes tant souhaitées ?

La première partie consacrée à la définition des données relatives à la structure, elle est rédigée en plusieurs chapitres comme suite :

Le premier chapitre, présente la description générale du projet avec une présentation de l'aspect architectural des éléments du bâtiment ainsi que la description des matériaux et leurs lois appliquées pour le calcul de la structure.

Le deuxième chapitre, est consacré au pré-dimensionnement des éléments principaux de la structure selon les règlements normatifs de calcul (**CBA93, BAEL91, RPA99 version2003**).

Et contient aussi la descente de charge que supporte la structure et qu'on utilise pour le calcul de ferrailage des différents éléments. Les charges sont calculées à l'aide du document technique et réglementaire (**DTR B.C.2-2**) ; charges permanentes et charges d'exploitations

Le troisième chapitre, a été consacré au dimensionnement et au calcul du ferrailage des éléments secondaires (poutrelles, escaliers, balcons, et acrotère).

La deuxième partie qui représente la partie la plus lourde de cette étude a été structurée comme suite :

Les autres chapitres concernent l'étude des planchers et l'étude dynamique de la structure, elle concerne la modélisation de la structure en 3D en utilisant le logiciel de calcul ETABS afin de déterminer les différentes sollicitations dues aux chargements (charges permanente, charges d'exploitation et charge sismique).

La dernière étape comprend le ferrailage des différents éléments résistants de la structure (poteaux, poutres voiles, dalles pleines, et fondations) en utilisant les différents résultats de la modélisation (forces, moments, efforts tranchants et contraintes).

Ce projet se termine par une conclusion générale qui récolte les différents résultats de cette étude.

I.2 .Présentation du projet:

Ce projet de fin d'étude consiste à faire l'étude d'un bâtiment (R+6) a usage d'habitation situé dans la wilaya de Sidi Bel Abbas cette dernière est classée comme zone de faible sismicité (Zone I) selon le RPA99 version 2003.

Le bloc à étudier est de forme régulière selon les règles parasismiques algériennes (RPA)

I.2.1 .Caractéristiques géométriques:

Tableau.I.1 : caractéristiques géométriques

Longueur totale du bâtiment	27.85m
Largeur totale du bâtiment	20m
Hauteur totale du bâtiment	23.21m
Hauteur du RDC	3.23m
Hauteur des étages courants	3.23m

I.2.2. Ossature et système constructif adopté :

❖ Ossature :

C'est une ossature réalisée (poteaux, poutres et voiles).

❖ Planchers :

Tous les planchers sont réalisés en corps creux et une dalle de compression type (16+4) cm.

❖ Escaliers:

Le type d'escalier utilisé, c'est un escalier à deux volées,

❖ Maçonnerie :

Les murs extérieurs sont réalisé en doubles parois en briques creuses de (15 cm ; 10 cm) séparées par un vide de 5 cm.

Les murs intérieurs sont réalisés en simple cloison en brique creuse de 10 cm d'épaisseur.

❖ Revêtement :

- Enduit en plâtre pour les plafonds.
- Enduit en ciment pour les murs extérieurs et les cloisons.
- Revêtement à carrelage pour les planchers.
- Le plancher terrasse sera recouvert par une étanchéité multicouche imperméable évitant la pénétration des eaux pluviales.

❖ Isolation :

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

A noter que l'isolation thermique est assurée par les couches de liège pour le plancher terrasse.

I.3. Caractéristiques géotechniques du sol :

Selon le rapport géotechnique du laboratoire LTPO, le sol d'assise de la construction est un sol meuble dont les caractéristiques sont les suivantes :

- La contrainte du sol est $\bar{\sigma}_{sol} = 1,5 \text{ bars}$ pour un ancrage $D = 2,5 \text{ m}$.
- Le poids spécifique de terre $\gamma = 1,9 \text{ t / m}^3$.

- L'angle de frottement interne du sol $\varphi = 35^\circ$.
- La cohésion $C = 0$ (sol pulvérulent).

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.

La composition d'un mètre cube du béton est la suivante :

- 350 kg de ciment CEM II/ A 42,5
- 400 L de sable $C_g \leq 5$ mm
- 800 L de gravillons $C_g \leq 25$ mm
- 175 L d'eau de gâchage

La fabrication des bétons est en fonction de l'importance du chantier, elle peut se faire 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.4.2. Principaux caractéristiques et avantages du béton armé:

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

- a) Exécution d'un coffrage (moule) en bois ou en métal.
- b) La mise en place des armatures dans le coffrage.
- c) Mise en place et « serrage » du béton dans le coffrage.
- d) Décoffrage « ou démoulage » après durcissement suffisant du béton.

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 des coffrages auxquels on peut donner toutes les 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.
- **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 les cerner.

I.4.3. Résistance mécanique :

a) Résistance caractéristique à la compression :

Le béton est caractérisé par sa bonne résistance à la compression, cette résistance est mesurée par la compression axiale d'un cylindre droit de 200 cm² de section.

Lorsque les sollicitations s'exercent sur le béton à un âge de « j » jours inférieur à 28 jours.

La résistance f_{cj} obtenu au jour considéré, elle est évaluée par la formule :

$$\begin{cases} f_{c28} \leq 40 \text{ Mpa} \Rightarrow f_{cj} = \frac{j}{4,76 + 0,83j} \cdot f_{c28} \\ f_{c28} > 40 \text{ Mpa} \Rightarrow f_{cj} = \frac{j}{1,40 + 0,95j} \cdot f_{c28} \end{cases}$$

- Pour : 28 jours < j < 60 jours : $f_{cj} = f_{c28}$
- Pour : j ≥ 60 jours : $f_{cj} = 1,1 f_{c28}$
- Pour notre étude : $f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$

b) Résistance caractéristique à la traction :

Cette résistance est définie par la relation suivante :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06 f_{cj}$$

Cette formule n'est valable que pour les bétons courants dans la valeur de f_{cj} ne dépasse pas 60 MPa

- pour $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$
- $f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$

I.4.4. Méthode de calcul :

La connaissance plus précise du comportement du matériau béton armé acquise à la suite des nombreux essais effectués dans les différents pays a permis une modification profonde des principes des méthodes de calcul et a conduit à la méthode de calcul aux états limites.

❖ 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 : **Sa ruine totale ou partielle.**

D'un comportement en service susceptible d'affecter gravement sa durabilité, son aspect, ou encore le confort des usagers.

Les états limites sont classés en deux catégories :

✓ 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 constitués béton ou acier exemple : non rupture par écrasement du béton

Etat limite ultime de stabilité de forme non flambement d'un poteau.

✓ Etat limite de service (ELS) :

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

I.4.5. Déformation et contrainte de calcul :

- 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 (B.A.E.L91modifié 99) :

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

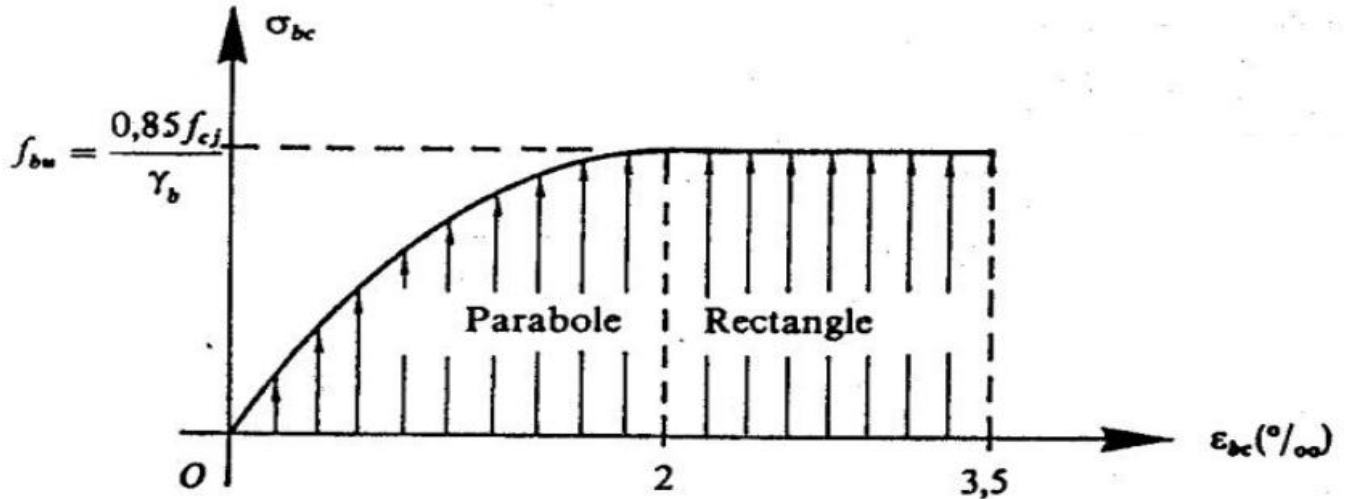


Figure 1.1 Diagramme parabole rectangle

Avec:

ϵ_{bc} : Déformation du béton en compression ;

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

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

γ_b : Coefficient de sécurité ;

$\gamma_b = 1,5$ cas générale ;

$\gamma_b = 1,15$ cas de combinaisons accidentelles ;

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.

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

$$0 \leq \epsilon_{bc} \leq 2\text{‰} \longrightarrow \sigma_{bc} = 0,25 f_{bc} \times 103 \epsilon_{bc} (4-103 \times \epsilon_{bc})$$

$$2\text{‰} \leq \epsilon_{bc} \leq 3,5\text{‰} \longrightarrow \sigma_{bc} = f_{bc}$$

θ : Coefficient d'application (voir le tableau)

Tableau.I.2 : Coefficient d'application

θ	Durée d'application
1	>24 h
0.9	1h ≤ durée ≤ 24h
0.85	<1h

ELS : La contrainte de compression du béton à l E.L.S (symbole σ_{bc}) est limité à :

$$\sigma_{bc} = 0.6 f_{t28}$$

$$\sigma_{bc} = 15 \text{ M Pa}$$

Diagramme rectangulaire(B.A.E.L91modifié99,p81) :

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

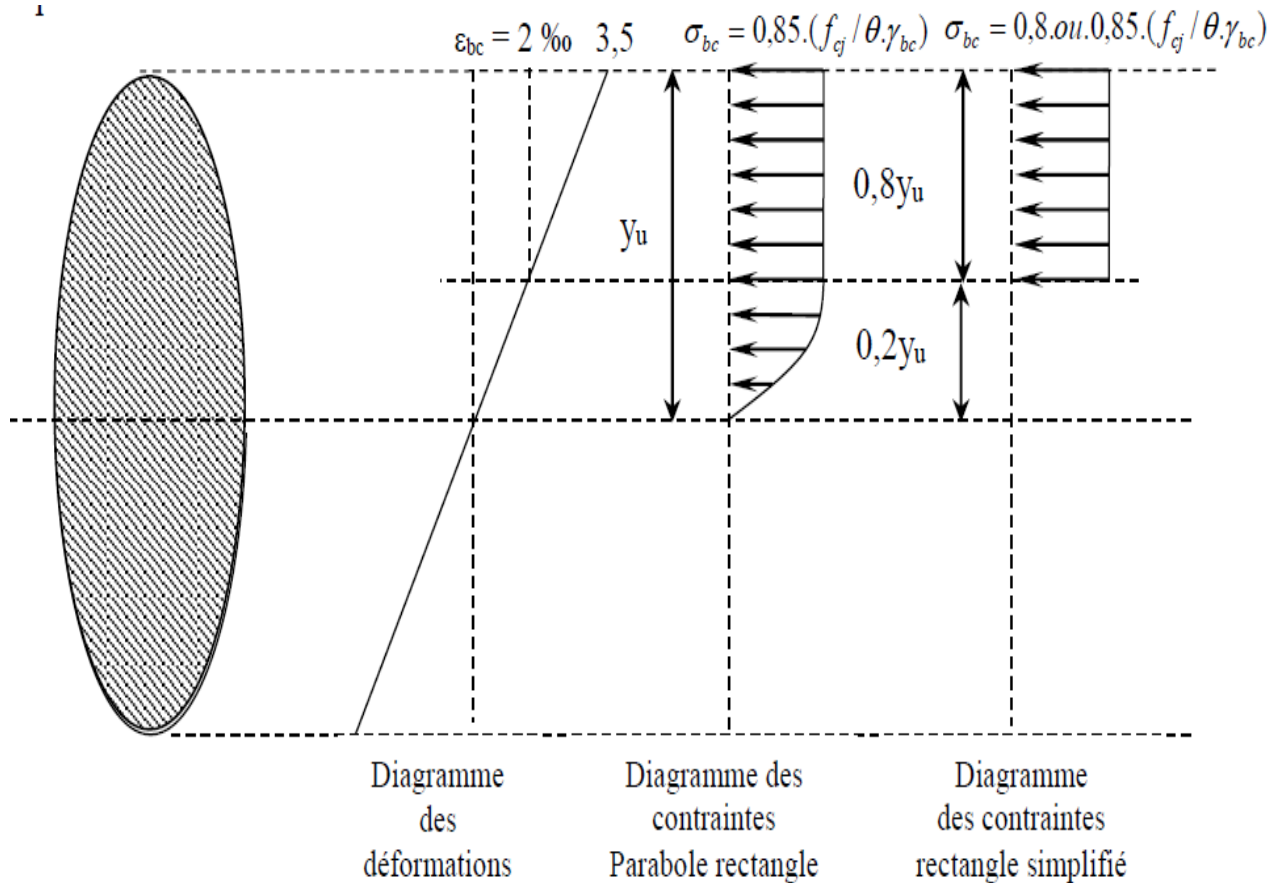


Figure I.2 : Diagramme rectangulaire simplifié

Sur une distance de $0,2 y$ compté à partir de l'axe neutre la contrainte est nulle.- Sur la distance restante $0,8 y$ la contrainte a pour valeur $0,85 f_{cj} / \gamma_b \theta$ pour les zones comprimées dont la largeur est croissante ou constante vers les fibres les plus comprimées.

$0,8 f_{cj} / \theta \gamma_b$ pour les zones comprimées dont la largeur est décroissante ou constante vers ces mêmes fibres.

I.4.6. Contrainte admissible de cisaillement :

$\tau_u = \min(0.2f_{cj} / \gamma_b, 5Mpa)$ Fissuration peu préjudiciable.

$\tau_u = \min(0.15f_{cj} / \gamma_b, 4Mpa)$ Fissuration préjudiciable ou très préjudiciable.

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

$$\tau_u = T_u / bd$$

Avec : b : largeur de la pièce.

d : hauteur utile.

I.4.7. Module de déformation longitudinale du béton :✓ **Module de déformation instantanée:**

Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24h.

A l'âge « j » jours le module de déformation longitudinale instantanée du béton E_{ij} est égale à

$$E_{ij} = 11000 f_{cj}^{1/3} \text{ avec } E_{ij} \text{ et } f_{cj} \text{ en MPa}$$

✓ **Module de déformation différée :**

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

$$E_{vj} = 3700 f_{cj}^{1/3} \text{ avec } E_{vj} \text{ et } f_{cj} \text{ en MPa}$$

✓ **Remarque :**

La déformation totale vaut environ trois fois la déformation instantanée.

I.4.8. Module de déformation transversale :• **Coefficient de poisson :**

$$\nu = (\Delta d/d) / (\Delta L/L).$$

Avec:

$(\Delta d/d)$: déformation relative transversale ;

$(\Delta L/L)$: déformation relative longitudinale ;

Il est pris égal à :

0,2 pour E.L.S (béton non fissuré),

0 pour E.L.U (béton fissuré) ;

I.4.9 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 les nuances d'acier suivantes sont utilisées :

- Acier naturel Fe E215 FeE 235
- Acier à haute adhérence FeE 400, FeE 500
- Treillis soudés de maille 150 x 150 mm² avec $\Phi = 3,5\text{mm}$

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 :

$$E_s = 200\,000 \text{ MPa}$$

I.4.9.1. Diagramme déformation contrainte de calcul :

$$\sigma_s = f(\varepsilon\%)$$

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

$$\gamma_s = 1,15 \text{ cas général}$$

$$\gamma_s = 1,00 \text{ cas des combinaison accidentelles.}$$

Pour notre cas les aciers FeE400 sont utilisés.

✓ **Diagramme déformation- contrainte (B.A.E.L91modifié 99) :**

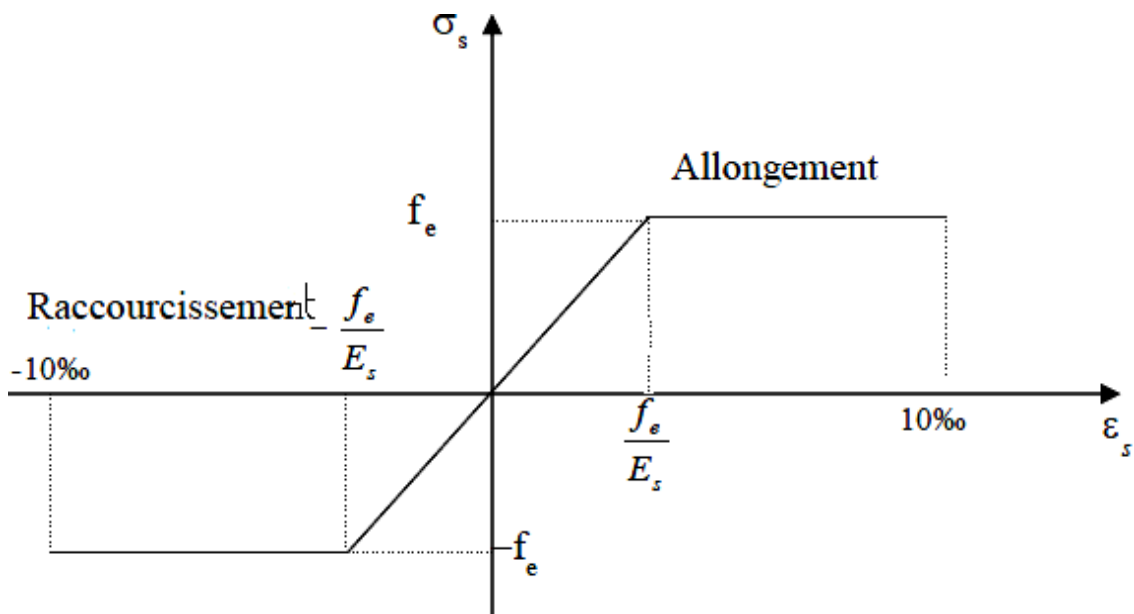


Figure I-3- Diagramme déformations – contraintes

I.4.9.2. Contrainte limite de traction des armatures :

Fissuration peu préjudiciable..... $\overline{\sigma}_{st} \leq f_e$ pas de limitation ;

Fissuration préjudiciable..... $\overline{\sigma}_{st} = \min (2/3f_e; 110\sqrt{\eta \cdot f_{ij}})$ Mpa ;

Fissuration très préjudiciable..... $\overline{\sigma}_{st} = \min (0.5f_e; 90\sqrt{\eta \cdot f_{ij}})$ Mpa ;

η : coefficient de fissuration ;

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta = 1 \quad \text{Pour ronds lisses ;} \\ \eta = 1,6 \quad \text{Pour hautes adhérences avec } \emptyset \geq 6\text{mm ;} \\ \eta = 1,3 \quad \text{Pour hautes adhérences avec } \emptyset < 6\text{mm ;} \end{array} \right.$$

✓ Poids volumique:

Béton armé : $\gamma_b = 25 \text{ KN/m}^3$

Béton non armé : $\gamma_b = 22 \text{ KN/m}^3$

Acier : $\gamma_a = 78,5 \text{ KN/m}^3$

I.5. Etats limites :

Suivant les règles BAEL on distingue deux états limites de calcul :

- **Etats limite ultime de résistance E. L. U. R**
- **Etats limite de service**

I.5.1. E. L. U. R :

Il consiste à l'équilibre entre les sollicitations d'action majorées et les résistances calculées en supposant que les matériaux atteignent les limites de rupture minorées ce qui correspond aussi aux règlements parasismiques algérienne R. P. A 99 version 2003.

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

I.5.2. 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 :

$\epsilon_{bc} = 2\%$ en flexion composée.

$\epsilon_{bc} = 3,5\%$ en compression simple

L' allongement de l' acier est limité à $\epsilon_a = 10\%$.

- Les diagrammes déformations- contraintes sont définis pour.
 - ✓ Le béton en compression.
 - ✓ L'acier en traction et en compression.

I.5.3. Règle des trois pivots (B.A.E.L91 modifié 99) :

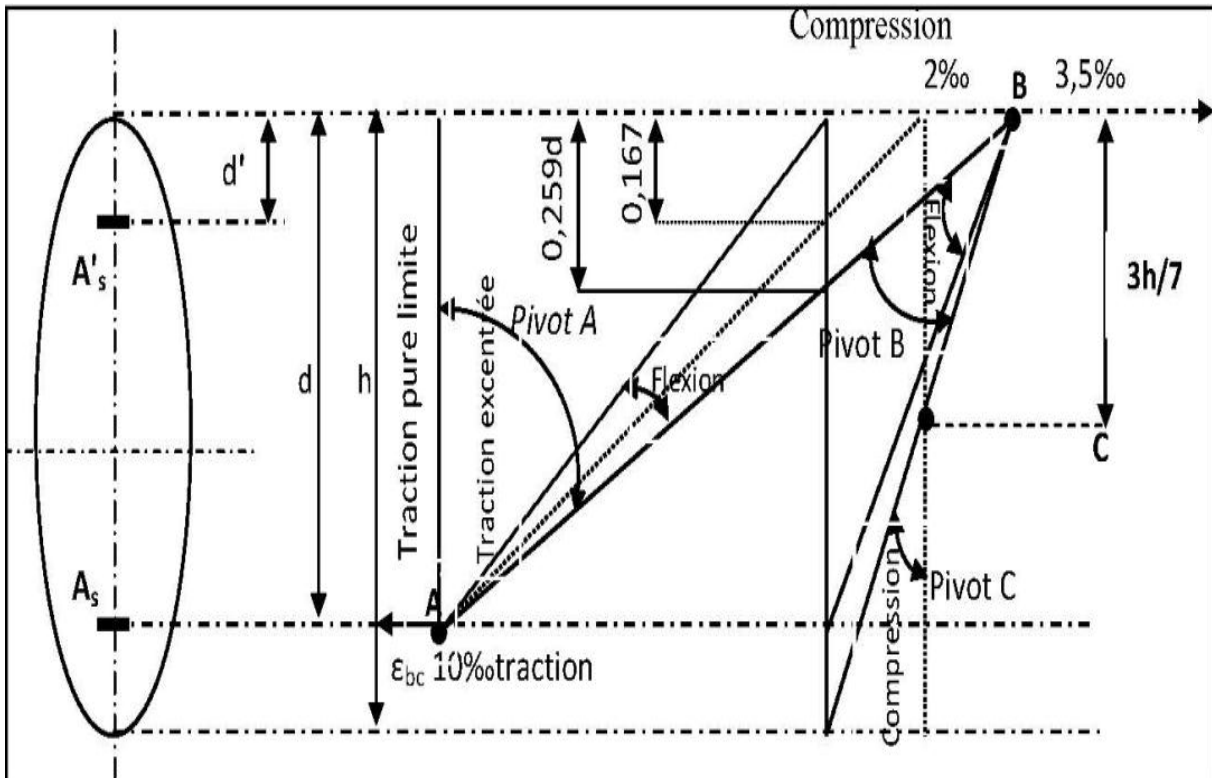


Figure I.4 Diagramme des déformations limites de la section : règle des trois pivots

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.

- ✓ **Traction pure** : toutes les fibres s'allongent de la même quantité, le béton se fissure et donc ne participe pas à l'équilibre des sollicitations, la pièce sera hors service lorsque la déformation de l'acier vaut 10% donc toute la section sera allongée de 10%.

L'acier doit être reparti dans toute la section ; la limite correspond sur le diagramme à la verticale passant par A.

- ✓ **Traction excentrée** : à la limite, la fibre la plus tendue aura un allongement de 10%, la moins tendue $\epsilon_s < 10\%$, plus l'excentrement augmente plus la tension minimale tend vers 0

Les droites de déformation pivotent donc autour de A jusqu'à la position AO.

- ✓ **Flexion (simple ou composée)** : On ne peut dépasser la position AB qui correspond à un raccourcissement $\epsilon_{bc} = 3,5\%$ de la fibre de béton la plus comprimée l'état limite ultime est atteint avec $\epsilon_s = 10\%$ et $\epsilon_{bc} \leq 3,5\%$.

- La position limite AB correspond à un axe neutre situé à la distance $y = \alpha \cdot AB$ de la fibre la plus comprimée avec $\alpha = 3,5 / (10 + 3,5) = 0,259$; la flexion simple ou composée avec $0 \leq \alpha \leq 0,259$ admet le pivot A.

- Le cas particulier où $\epsilon_s = 10\text{‰}$ et $\epsilon_{bc} = 2\text{‰}$ correspond à $\alpha = 2 / (10 + 2) \rightarrow \alpha = 0,167$

- Pour augmenter la zone comprimée on ne peut plus augmenter ϵ_{bc} au-delà de 3,5 ‰, il faut donc diminuer σ_s la droite des déformations pivote alors autour de B jusqu'à ce que :

$\epsilon_s = 0$; $\alpha = Y/d$ varie de 0,259 à 1

- La flexion simple ou composée avec armature tendues avec $0,259 \leq \alpha \leq 1$ admet le pivot B.

- Si on fait tourner la droite autour de B la petite partie de section située au-dessous des armatures pourra travailler en partie de traction (pas de contrainte et les aciers seront comprimés, c'est de la flexion composée : la flexion composée avec aciers comprimés (section de béton partiellement comprimée avec $1 \leq \alpha \leq h/d$ admet le pivot B).

- ✓ **Compression** : si toute la section du béton est comprimée en compression simple, la déformation du béton ne peut pas dépasser $\epsilon_{bc} = 2\text{‰}$

La compression simple ou composée admet le pivot C.

$2 \text{‰} \leq \epsilon_{bc} \leq 3,5 \text{‰}$ sur la fibre la plus comprimée

$\epsilon_{bc} \leq 2 \text{‰}$ sur la fibre la moins comprimée.

- ✓ **En résumé :**

Pivot A : traction simple ou composée, flexion avec état limite ultime atteint dans l'acier.

Pivot B : flexion avec état limite ultime atteint dans béton.

Pivot C : compression simple ou composée.

I.5.4. E. L. S :

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

Les calculs ne se font qu'en cas de fissuration préjudiciable ou très préjudiciable.

I.5.5. 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.

$$\sigma_{bc} = E_b \cdot \epsilon_{bc} ; \sigma_s = E_s \cdot \epsilon_s$$

- Par convention (n) correspond au rapport du module d'élasticité longitudinal de l'acier à celui du béton.

$n = E_s / E_b = 15$ « coefficient d'équivalence ».

I.6. 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 :

$G+Q+E$	avec {	G : charge permanente
$G+Q \pm 1,2E$		Q : charge d'exploitation
$0,8 G+E$		E : effort de séisme