

I-1.introduction :

Le génie civil est un ensemble de disciplines alliant diverses techniques; dont la mission fondamentale est de permettre la conception et par la suite la réalisation d'ouvrages, de nos jours, la construction connaît un grand essor dans la plupart des pays et très nombreux sont les professionnels qui se livrent à l'activité de bâtir dans le domaine du bâtiment ou travaux publics, 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

La construction parasismique est la moyenne la plus sûre de prévention du risque sismique, elle exige le respect préalable des règles normales de bonne construction, mais repose également sur des principes spécifiques, dus à la nature particulière des charges sismiques. Ces principes et leur mode d'application sont généralement réunis, avec plus ou moins de détails, dans les codes (règles) parasismiques. L'Algérie en possède un code de calcul sous la dénomination : **Règles Parasismiques Algériennes RPA99/Version 2003.**

Afin de mettre en application les connaissances acquises durant notre formation d'ingénieur, il est prévu de procéder à l'étude génie civil d'un ouvrage en béton armé prenant en compte les aspects et le règlement parasismiques régissant la région de l'implantation de cet ouvrage. Pour ce faire, nous avons choisi l'étude d'un bâtiment en R+6 avec ossature en béton armé. celui-ci sera soumis à des variations sismiques pour évaluer sa capacité de résistance.

L'étude que nous avons entreprise a deux objectifs :

- D'une part, le calcul d'un bâtiment en béton armé en respectant les nouvelles règles parasismiques algériennes RPA99/Version 2003.
- D'autre part, l'évaluation de la vulnérabilité au séisme du bâtiment à vis-à-vis des conditions de sécurité exigée par Règles Parasismiques Algériennes RPA99/Version 2003.
- Ce projet de fin d'études nous a permis d'avoir une large vision sur la responsabilité de l'ingénieur dans l'acte de bâtir, ainsi que la façon de trouver un compromis entre l'aspect technique et économique sans pour autant que cela soit au détriment de la sécurité de l'ouvrage construit (la sécurité de habitants)

Chaque étude de projet du bâtiment en béton armé a des buts:

- La sécurité (le plus important):assurer la stabilité de l'ouvrage.

- Économie: sert à diminuer les coûts du projet
- Confort
- Esthétique.

I. 2- Représentation de l'ouvrage :

le projet qui m'a été confié consiste à l'étude technique d'une structure en béton armé a usage d'habitation composé de deux blocs l'un à côté de l'autre séparés par un joint sismique, le premier bloc est en forme régulier « barre », le deuxième de forme irrégulier « angle »

Cet ouvrage sera implanté à la Wilaya de RELIZANE, classée comme zone de moyenne sismicité (zone II_b) ; groupe d'usage 2 « ouvrage courants on importance moyenne » d'après les règles parasismiques Algériennes RPA 99 « version 2003 »

Ce type de bâtiment est le plus utilisé dans le pays, composé d'un Rez-de-chaussée suivie de six étages d'habitation, chaque étage contient des appartements de type F3, le type de plancher utilisé est plancher à corps-creux composé par des poutrelles, la terrasse est inaccessible sauf pour l'entretien avec des revêtements, on adapte les dalles plain ou niveaux des balcons (loggia et séchoir)

La structure est contreventée par un système de contreventements mixtes assurée par des voiles et des portiques, la hauteur d'étage est identifiée de valeurs de 3.06m, une diminution de coffrage des poteaux sera effectuée à partir des 4^{ème} niveaux, le remplissage des façades est en maçonnerie « brique creuse », le bâtiment fondé sur un sol meuble et le système de fondation qui lui est constitué composé des semelles isolées reliées par des longrines.

I.2.1- Caractéristiques géotechniques du sol :

Le sol d'assise de la construction est un sol meuble présentant les caractéristiques géotechniques suivantes :

- La contrainte admissible du sol est : $\sigma_{sol} = 2 \text{ bars}$
- Le poids spécifique du sol : $\gamma = 17 \text{ KN}$
- La profondeur d'ancrage $D = 1.5 \text{ m}$

I.2.2 Caractéristiques géométriques :

a) Géométrie du bâtiment :

Bloc	Barre	Angle
Longueur totale du bâtiment :	20.95m	25.20m
Largeur totale du bâtiment	8.65m	22.00m
Hauteur R.D.C.:	3.06m	3.06m
Hauteur des étages courants (1 ^{ème} – 6 ^{ème}):	3.06m	3.06m
Hauteur totale de la structure en enlève l'acrotère	21.42m	21.42m
Hauteur de l'acrotère :	0.80m	0.80m

Tableau I.1 : les caractéristiques géométries du bâtiment

b) La régularité de la structure :

b.1-bloc barre : le bloc sous une forme simple donc il est régulier en plans et on élévation

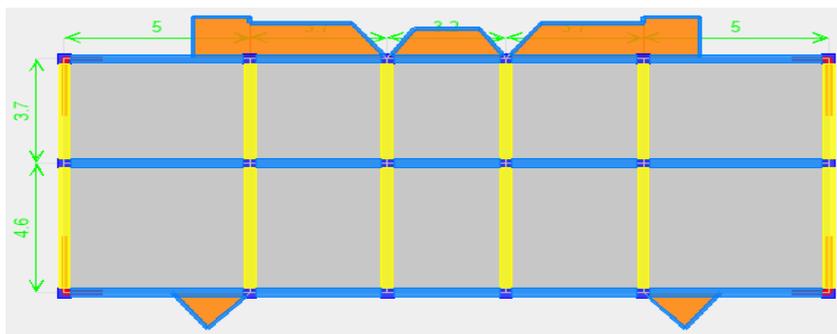
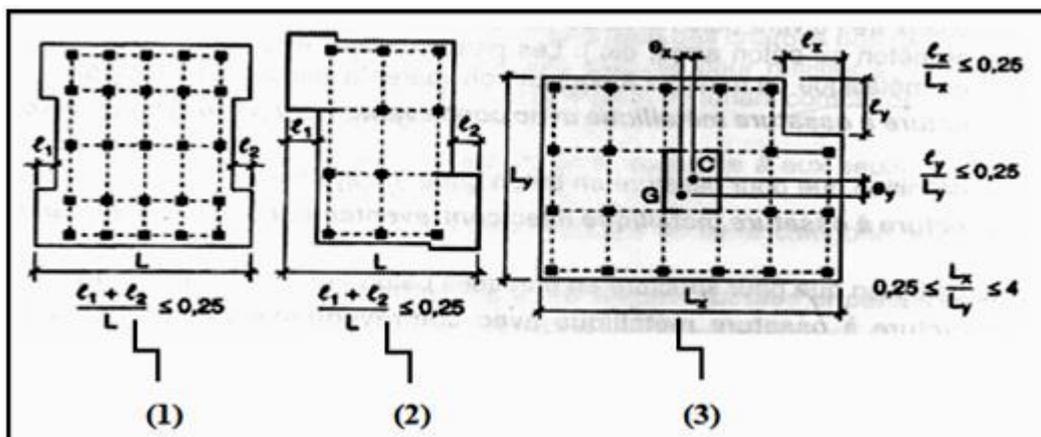


Figure I.1 : vue en plans du bloc barre

b.2-bloc angle : d'après le RPA99/2003 (3.5.1.b), la structure présente une irrégularité en plan, donc notre vérification se faire suivante le schéma n^o2.



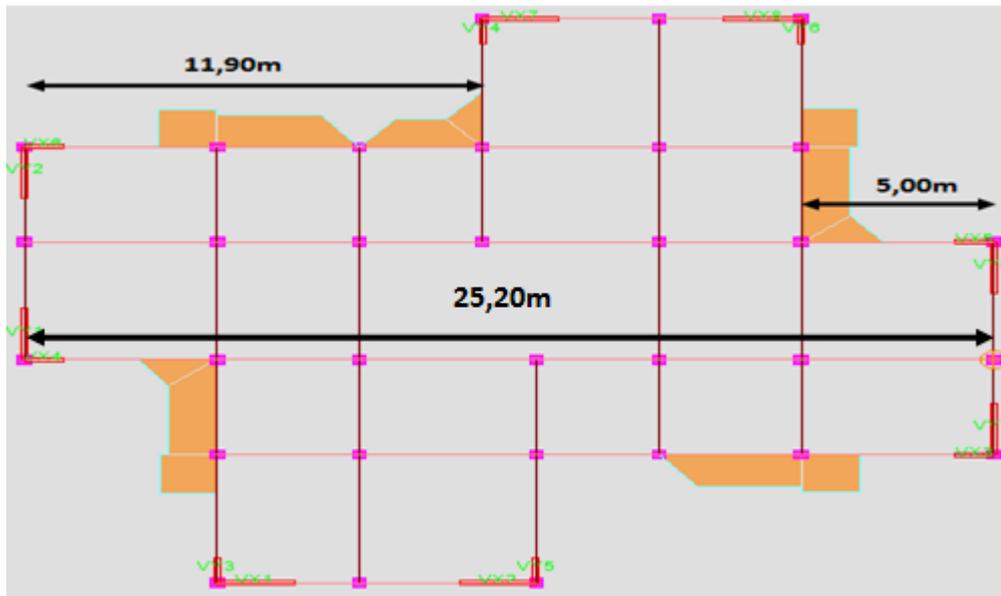


Figure I.2 : loi de la régularité en plans d'après le RPA

On a:

$$\frac{l_1 + l_2}{L} \leq 0.25 \rightarrow \frac{5 + 11.90}{25.20} = 0.67 > 0.25 \dots \dots \dots C.N.V$$

Donc on peut dire que le bloc présente une régularité en élévation et une irrégularité en plans.

I.3. Description des différents éléments de la structure :

a- plancher : C'est une aire plane destinée à séparer les niveaux on distingue généralement deux type : Plancher à dalle plane ; Plancher à corps-cieux.

Le plancher sont conçus d'abord pour reprendre les charges verticales cependant ils jouent un rôle très important dans la structure comme élément de contreventement, isolation, remplissage. Pour notre structure, nous avons adapté un plancher à corps-cieux (16+5,4) pour RDC et pour les étages courants et on adopte des dalles planes pour les parties de forme irrégulière.

b- Escalier :

Ce sont des éléments non-structuraux qui servent à relier les niveaux successifs et facilité le déplacement inter-étage, nous avons pris un seul type d'escalier pour notre structure, c'est un escalier à deux volées avec un seul palier intermédiaire utiliser pour l'accès du RDC, jusqu' ou 6^{ème}

c-maçonnerie :

La maçonnerie de notre structure sera exécutée en brique creuses.

-Mur extérieurs : les murs extérieurs sont réalisés en double cloison de briques creuse de 15 cm et de 10 cm d'épaisseur séparées par une lame d'air de 5 cm, afin assuré une isolation thermique et phonique

Mur intérieurs : Réaliser par une cloison de 10cm d'épaisseur qui sert à séparer deux services

d-Revêtements :

-Les mortiers utilisés pour les constructions en maçonnerie seront à base de ciment ou ciment - chaux hydraulique et leur résistance minimale caractéristique à la compression sera de 5 MPa.

- En utilise l'enduit en plâtre pour les plafonds,

- Enduit en ciment pour les locaux humides (WC, S.D.B. et cuisine) ainsi qu'aux murs extérieurs et les cloisons

-Revêtement en carrelage pour les planchers

-Le plancher de terrasse sera recouvert par une étanchéité multicouche (pour l'imperméabilité et l'isolation thermique) sur le plancher terrasse.

-Pour l'escalier « marche et contre marche » on utilise mortier de pose en ciment

e-Isolation :

L'isolation acoustique est assurée par la masse du plancher ainsi que par le vide d'air entre les deux cloisons extérieures.

L'isolation thermique est assurée par les couches d'isolant (polystyrène) pour les planchers terrasse ainsi que par le vide d'air entre les deux cloisons extérieurs.

f-Ossature :

C'est l'ensemble des éléments structuraux qui sont les poteaux, poutres et voiles de contreventement

Notre bâtiment dépasse les 4 niveaux ($h=21.42m$), situé en zone II, donc le contreventement par les portiques sont écarté, il faut assurer la stabilité du bâtiment par un système structurel mixte en béton armé (portique, murs voiles), pour un système de contreventement mixte, il y a lieu de vérifier ce qui suit :

-les voile de contreventement ne doit pas reprendre des oscillations due aux charge verticales ;

- les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités relatives que les sollicitations résultant de leurs interactions à tous les niveaux.

g-Hypothèse du calcul :

Les hypothèses de calcul adoptées pour cette étude sont :

- la résistance caractéristique du béton à la compression à 28 jours : $f_{c28} = 25\text{MPa}$
- la résistance caractéristique du béton à la traction : $f_{t28} = 2.1\text{MPa}$
- le module d'élasticité différé $E_{v28} = 10818\text{MPa}$
- le module d'élasticité instantané $E_{i28} = 32164\text{MPa}$
- la limite élastique de l'acier à haute adhérence FeE400 : $f_e = 400\text{MPa}$
- la limite élastique de l'acier rond lisse FeE235 : $f_e = 235\text{MPa}$
- module d'élasticité longitudinale de l'acier : $E_s = 200.000\text{MPa}$

I.4. Caractéristique des matériaux de construction :

Le béton et l'acier utilisés dans la construction de cet ouvrage seront choisis conformément aux règles techniques de conception, et de calcul des ouvrages en béton armé B.A.E.L 91/1999, ainsi que le règlement parasismique Algérien RPA 99/2003 et le CBA93.

I.4.1-Le béton :

Le béton est un terme générique qui désigne un matériau composé par le mélange de qualité et la quantité convenable du ciment, des granulats (sable et gravier ou gravillon) et de l'eau de gâchage et éventuellement des produits d'addition (adjuvants), la qualité du ciment et ces particularités dépendent des proportions de calcaire et d'argile ou de bauxite et la température de cuisson du mélange, l'eau utilisée doit être propre, elle ne doit pas contenir des matières organiques qui influent sur le durcissement et la cuisson du béton.

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé dans le monde, que ce soit en bâtiment ou en travaux publics.

Le béton est connu par sa bonne résistance à la compression (d'ordre de 25 à 40 MPa), mais d'autre part à la mauvaise résistance à la traction (de 1/10 de sa résistance à la compression), pour cela on introduit des armatures pour pallier à cet inconvénient pour avoir un béton armé résistant à la compression et à la traction.

Le béton armé est obtenu en injectant de l'acier dans du béton disposé de manière à résister aux efforts de traction.

La composition d'un mètre cube (1 m^3) de béton ordinaire est de :

- 350 kg de ciment (CPJ42.5) ;
- 400 L de sable ($d_g \leq 5 \text{ mm}$) ;
- 800 L de gravillon ($d_g \leq 25 \text{ mm}$) ;
- 175 L d'eau de gâchage.

L'ensemble de ces composant est basé avant tous sur l'expérience et sur les résultats obtenus après les essais des éprouvettes à la compression et à la traction

La préparation du béton se fait mécaniquement à l'aide d'une bétonnière ou d'une centrale à béton. La réalisation d'un élément d'ouvrage en béton armé, comporte quatre opérations :

- Exécution d'un coffrage (moule) en bois ou en métal ;
- La mise en place des armatures dans le coffrage ;
- Le coulage du béton dans le coffrage ;
- Décoffrage ou démoulage après durcissement suffisant du béton.

a) Les principaux avantages du béton armé sont :

Économie : 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 aux quels 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.

- $e = 7 \text{ cm}$; pour une heure de coup de feu.
- $e = 11 \text{ cm}$; pour une heure de coup de feu.
- $e = 17,5 \text{ cm}$; pour une heure de coup de feu.

b- Les principaux inconvénients du béton armé sont :

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

- Son poids volumique est $\begin{cases} \text{Béton armé} : \gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Béton non armé} : \gamma_b = 22 \text{ kN/m}^3 \end{cases}$.

c- Les caractéristiques physiques et mécaniques du béton :

c.1- La masse volumique : la masse volumique des bétons est comprise entre 2200 et 2500 kg/m. Cette masse volumique peut être augmentée avec la modalité de la mise en oeuvre, en particulier avec la vibration

c.2- Le retrait : défini par la diminution de la longueur d'un élément, le raccourcissement instantané du béton due au départ de l'eau libre interne, il est d'autant plus important que la pièce est de grande dimension, on peut l'assimiler à l'effet d'un abaissement de la température qui entraîne un raccourcissement, on l'estime que le raccourcissement unitaire due au retrait atteint les valeurs suivantes dans le cas de pièce non massive à l'air libre

$$\varepsilon_r(t) = \varepsilon_{r0} r(t) \quad \text{Avec } \varepsilon_r(t) : \text{retrait final du béton (la déformation finale)}$$

$$\varepsilon_r : \text{exprimée par la formule } : \varepsilon_r = K_s \cdot \varepsilon_0 \quad \text{avec } :$$

K_s : Coefficient qui dépend du pourcentage d'armatures adhérentes ou armature (transversale, longitudinale A_s) et s'exprime par $K_s = \frac{1}{1+20\rho_s}$

$r(t)$: une fonction du temps : la loi d'évolution du retrait, qui varie de 0 à l'infini, et lorsque le temps « t » compté à partir de la fabrication du béton, varie de 0 à 1.

À défaut de résultats expérimentaux la loi d'évolution du retrait est donnée par :

$$r(t) = \frac{t}{t+9r_m} \quad \text{Avec } : \begin{cases} t : \text{l'âge du béton en jours} \\ r_m : \text{rayon moyen de la pièce} = \frac{\text{aire d'une section de la pièce}}{\text{périmètre de la pièce}} \end{cases}$$

$$\text{si } : t = 0 \longrightarrow r(t) = 0 \quad ; \quad \text{si } : t = \infty \longrightarrow r(t) = 1$$

Le retrait et le raccourcissement du béton en absence de toutes charges due à l'évaporation de l'excédent d'eau de gâchage (malaxage) il dépend de certains paramètres :
- la dimension de la pièce ; l'humidité de l'air ambiant ; la qualité d'armatures ; la quantité de l'eau ; le dosage en ciment ; le temps

c.3- Le fluage : c'est le phénomène de déformation provoquée dans le temps sous une charge constante appliquée, c'est une déformation de béton de longue durée sous charge constante, il dépend de certains paramètres :

-la résistance du béton ; la charge appliquée ; l'âge du béton ou moment de l'application de la charge ; l'humidité relative ; la durée de l'application de la charge ; les dimensions, la section ; le dosage en ciment, la teneur en eau, et la température

A défaut de mesures on admet que sous contraintes de longue durée d'application, les déformations longitudinales complémentaires dues au fluage du béton sont double de celles dues aux mêmes contraintes supposées de courte durée et appliquées au même âge.

Dans le calcul relatifs aux états limite de service, la déformation de fluage à l'instante « t » d'un béton soumis à l'âge $j = t_1 - t_0$ à une contrainte constante σ_1 est exprimé sous la forme suivants :

$$\varepsilon_{fl} = \varepsilon_{ic} \cdot k_{fl}(t_1 - t_0) \cdot \mathcal{F}(t - t_1); \varepsilon_{ic} = \frac{\sigma_1}{E_{i28}}$$

Avec : t_0 : Date de bétonnage

t_1 : Date de mise en charge

ε_{ic} : Déformation instantanée sous l'effet de la contrainte σ_1

k_{fl} : Coefficient de fluage qui dépende de l'âge $(t_1 - t_0)$ du béton ou moment où il subit la contrainte σ_1

$\mathcal{F}(t - t_1)$: Une fonction de la durée du chargement $(t_1 - t_0)$ exprimée en jours, varie de 0 à 1

On peut également exprimer ε_{fl} sous cette forme : $\varepsilon_{fl} = \varepsilon_i \cdot \mathcal{O}(t_1 - t_0) \cdot f(t - t_1)$

Avec : ε_i la déformation instantanée $\varepsilon_i = \frac{\sigma_1}{E_{ij}}$

$$\mathcal{O} = \frac{k_{fl} \cdot E_{ij}}{E_{t28}} \text{ Dans les cas courant, on peut prendre : } \mathcal{O} = 2$$

La loi d'évaluation de fluage $f(t - t_1)$ est donnée par la formule :

$$f(t - t_1) = \frac{\sqrt{t - t_1}}{\sqrt{t - t_1} + 5\sqrt{r_m}}$$

Avec : r_m le rayon moyenne en cm

$t - t_1$: exprimer en jours

d- La résistance mécanique :

d.1) Résistance caractéristique à la compression :

Le béton est défini par une valeur de sa résistance à la compression à l'âge 28 jours dite valeur caractéristique requise « spécifiée » celle-ci noté f_{c28} .

Selon les règles [BAEL91] la résistance du béton à la compression peut être estimée suivant les formules suivantes :

$$\begin{cases} f_{c28} \leq 40 \text{ MPa} \rightarrow f_{cj} = \frac{j}{4.76 + 0.83j} \times f_{c28} \text{ si } j < 60 \text{ jours} \\ f_{c28} \geq 40 \text{ MPa} \rightarrow f_{cj} = \frac{j}{1.40 + 0.95j} \times f_{c28} \text{ si } j < 28 \text{ jours} \end{cases}$$

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

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

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

$f_{c28}(\text{MPa})$	16	20	22	25	30	35	40
7 jours	1,06	13,2	14,6	16,5	19,9	23,2	26,5
14 jours	13,7	17,9	18,8	21,4	25,6	29,9	34,2
90 jours	17,6	22	24,2	27,5	33	38,5	44

Tableau I.2 : Résistance f_{cj} du béton à 7, 14 et 90 jours.

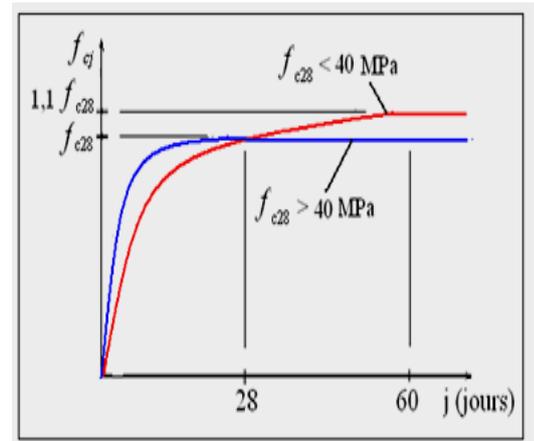


Figure I.3. Évolution de la résistance f_{cj} en fonction de l'âge du béton

d.2) Résistance caractéristique à la traction :

La résistance caractéristique à la traction du béton est la capacité des particules du matériau tendent à être séparées, la traction entraîne dans les limites d'élasticité du matériau une elongation et une contraction latérale

La résistance du béton à la traction à j jours noté f_{tj} est conventionnellement définie et déduite de celle à la compression par la relation suivante :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{c28} , \text{ pour } f_{c28} < 60\text{MPa}$$

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{c28} = 2,1 \text{ MPa} , \text{ pour } f_{c28} > 60\text{MPa}$$

$$\text{Pour } f_{c28} = 25 \text{ MPa} \rightarrow f_{tj} = 2.1\text{MPa}$$

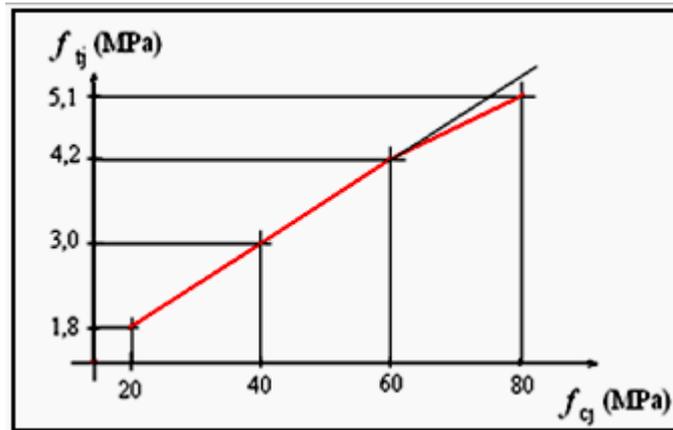


Figure I.4: Évolution de la résistance à la traction f_{t_j} en fonction de celle à la compression f_{c_j}

e- Essai de rupture :

e.1.Essai de rupture par compression sous charge instantanée :

La résistance à la compression est mesurée par écrasement de cylindre droite de révolution de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur, dont l'aire de la section droite est : $B = 200 \text{ cm}^2$. Ainsi si p est la charge de rupture de l'éprouvette (MN) on a pour une éprouvette âgée de « j » jours :

$$F_{c_j} = p/B = p/0.02 \text{ MPa.}$$

e.2.Essai de rupture par traction

La résistance à la traction est déduite d'essai effectuée selon deux modes opératoires :

- 1/ flexion d'éprouvette prismatique non armée de côté 7.06 cm et de section 50 cm^2
- 2/ fendage diamétrale d'une éprouvette cylindrique (essai dit « brésilien »).

I.5.Contrainte limite :

1) 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.

La théorie des états limites considère 2 états limites principale selon BAEL91 [Art. A.1.2]

a-État limite ultime:

Un état limite est un état pour lequel une condition requise d'une construction (ou d'un de ses éléments) est strictement satisfaite et cesserait de l'être en cas de variation défavorable d'une

des actions appliquées, il correspond à la perte d'équilibre statique (basculement), à la perte de stabilité de forme (flambement) et surtout à la perte de résistance (rupture) qui conduit à la ruine de l'ouvrage.

b- État limite de service:

Se soucient les conditions exploitation des ouvrages du béton max (elle à pour but d'éviter la déformation des fissures).

Limitation des ces flèche ainsi que leurs valeur limites.

Limitation d'ouverture de fissure pour d'assures que les armatures sont convenablement protégée.

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

I.6.Méthode de calcule :

Une connaissance plus précise du comportement du béton armé à la suite de nombreux essais effectués dans différents pays à permis une modification profonde des principes des méthodes de calcul.

a-Contrainte ultime du béton en compression :

a.1)-États limite de résistance (E.L.U.R) :

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 déformations – contraintes du béton qui peut être utilisé dans tous les cas.

.La contrainte maximale f_c est atteinte pour un raccourcissement unitaire du béton égal à 2‰

- Lorsque le raccourcissement unitaire dépasse 2 ‰

La contrainte f_c diminue. Ce phénomène semble être provoqué par la multiple microfissure qui se produisent dans les mortiers.

-Le module d'élasticité c'est la pente d'un droit reliant l'origine à un point du diagramme dont l'ordonnée égale à $0.5 f_c$

- déformation unitaire maximale du béton varie de 3‰ à 4‰

- $\varepsilon_c = 3‰$ pour le calcul de la résistance en flexion des éléments en bétons armé

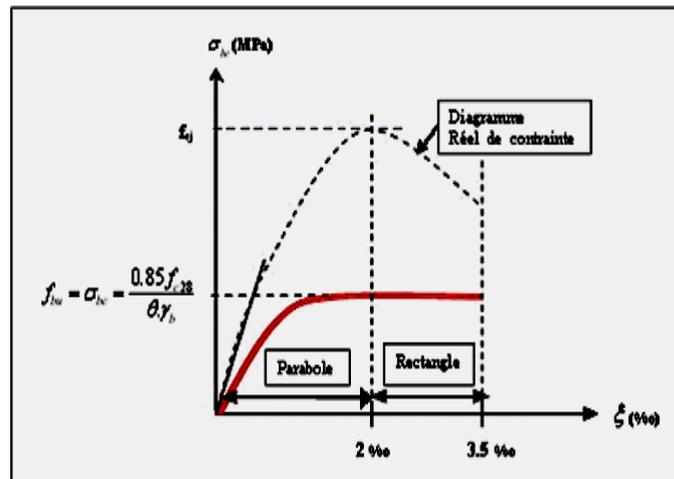


Figure I.5: Diagramme parabole – rectangle.

- la valeur de calcul de la résistance en compression du béton σ_{bc} est donnée par :

$$\sigma_{bc} = \frac{0.85 \cdot f_{c28}}{\theta \cdot \gamma_b}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{bc} = \frac{0,85 \times f_{cj}}{\Phi \times \gamma_b} \\ \sigma_{bc} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,50} = 14,17 \text{ MPa} \rightarrow \text{Pour le cas générale} \\ \sigma_{bc} = \frac{0,85 \times 25}{1 \times 1,15} = 18,48 \text{ MPa} \rightarrow \text{Pour le cas des combinaisons accidentelles} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \varepsilon_{bc1} = 2 \text{ ‰} & \\ \varepsilon_{bc1} = 3,5 \text{ ‰} & \text{si } f_{cj} \leq 40 \text{ Mpa.} \\ \varepsilon_{bc1} = (4,5 ; 0,025f_{cj}) \text{ ‰} & \text{si } f_{cj} > 40 \text{ Mpa.} \end{array} \right.$$

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.

θ : est un coefficient qui tient compte de la durée d'application des charges :

$\theta = 1$ si la durée est supérieure à 24h

$\theta = 0,9$ si la durée est comprise entre 1h et 24h et

$\theta = 0,85$ si la durée est inférieure à 1 h.

Avec:

ε_{bc} : Déformation du béton en compression ;

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

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

γ_b : Coefficient de sécurité avec : $\begin{cases} \gamma_b = 1,5 \rightarrow \text{Cas général} \\ \gamma_b = 1,15 \rightarrow \text{Cas accidentelles} \end{cases}$

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.

-Diagramme rectangulaire simplifié :

Lorsque la section droite n'est pas entièrement comprimée, on peut utiliser un diagramme rectangulaire simplifié, défini ci-après, dans lequel y_u représente la distance de l'axe neutre à la fibre la plus tendue

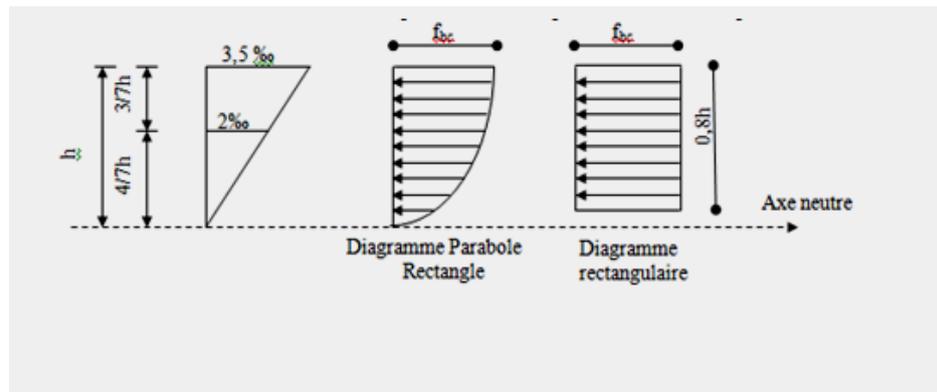


Figure I.6: Diagramme rectangulaire simplifié

a.2)-États limite de service :

La déformation nécessaires pour atteindre L.E.L.S sont relativement faibles et on suppose donc la loi de HOOK de l'élasticité pour d'écrire le comportement du béton à L.E.L.S avec pour des charges de longue durée $E_b = E_{vj}$ et $\nu = 0,2$, la résistance mécanique des bétons tendu est négliger. De plus on adopte en générale une valeur forfaitaire pour le module de Young du béton égale à 1/15de celle de l'acier

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

La contrainte ultime de cisaillement est limitée par : $\tau \leq \bar{\tau}$

$$\bar{\tau} = \min (0,13 f_{c28}, 4 \text{ MPa}) = 3,25 \text{ MPa} \quad \text{cas normal (fissuration peu nuisible).}$$

$$\bar{\tau} = \min (0,10 f_{c28}, 3 \text{ MPa}) = 2,5 \text{ MPa} \quad \text{cas où la fissuration est préjudiciable}$$

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

$$\tau_u = \frac{T_u}{b_0 \times d}$$

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

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

$$\begin{aligned} \tau_u &= \min\left(\frac{0,15 \times 25}{1,50} ; 4 \text{ MPa}\right) = \min(2,5 ; 4 \text{ MPa}) \\ &= 2,5 \text{ MPa} ; \text{ Fissuration préjudiciable ou très préjudiciable} \end{aligned}$$

I.7. Modules de déformation longitudinale du béton :

On distingue le module de, instantané E_{ij} , et différé E_{vj} .

a) Module de déformation instantanée :

Le module instantané est utilisé pour les calculs sous chargement instantané de durées inférieures de 24 heures, pour le chargement de long durée (cas courant), le module de déformation instantané E_{ij} du béton âgé de j jours est égal à :

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

b) Module de déformation différée : on utilise le module différé, qui prend en compte artificiellement la déformation du fluage du béton celle-ci représente approximativement trois fois la déformation instantanée, le module différé est pris égal à trois fois le module instantané $E_{ij} = 3E_{vj}$; $E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} = 3700 \sqrt[3]{25} = 10818,86 \text{ MPa}$

c) le module de Young :

Le module de Young différé du béton dépend de la résistance caractéristique à la compression

$$\text{du béton : } \begin{cases} E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} \text{ si } f_{c28} \leq 60 \text{ MPa} \\ E_{vj} = 4400 \sqrt[3]{f_{cj}} \text{ si } f_{c28} > 60 \text{ MPa sans fumée de silice} \\ E_{vj} = 6100 (f_{cj}) \text{ si } f_{c28} > 60 \text{ MPa avec fumée de silice} \end{cases}$$

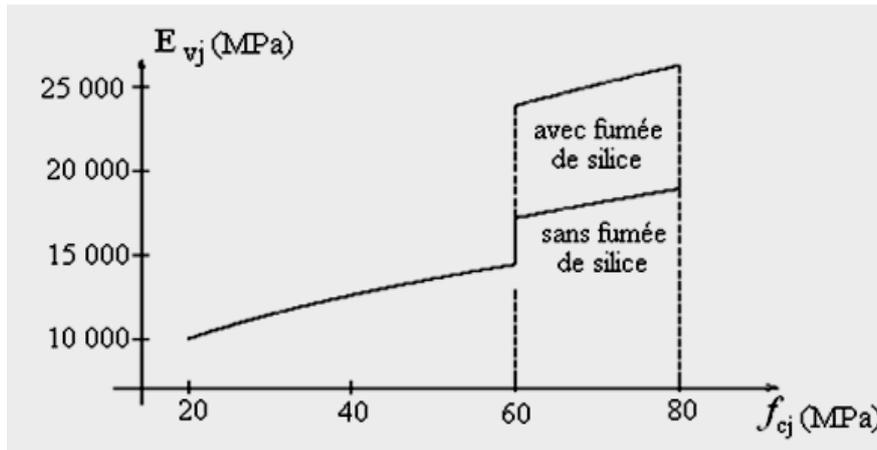


Figure I.7: Évolution du module de Young différée E_{vj} en fonction de la résistance Caractéristique à la compression du béton f_{cj}

I.8. Module de déformation transversale « Coefficient de poison »

C'est le rapport entre la contrainte appliquée et la déformation relative il n'est définissable que dans la phase élastique ou il ya proportionnalité des contraintes et des formations. Le coefficient de Poison permet de caractériser la contrainte de la matière perpendiculairement à la direction de l'effort appliqué.

$$\nu = (\Delta d/d) / (\Delta l/l)$$

Avec :

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

$(\Delta l/l)$: déformation relative longitudinale

La valeur du module d'élasticité transversale G est donnée par la relation suivante :

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

-Le coefficient de Poison du béton est pris égale à :

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

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

I.9. Les Aciers :

Acier est un résultat d'un alliage de (Fer+Carbone) en faible pourcentage, son rôle est d'absorbé les efforts de traction, de cisaillement, de torsion, 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.

L'acier présente une très bonne résistance à la traction (et aussi à la compression pour des élancements faible), de l'ordre de 500MPa, mais si aucune traitement à réalisé il subit l'effet de corrosion, de plus son comportement est ductile avec des déformations très importantes avant rupture de l'ordre de la dizaine de%).

Les barres utilisées sont caractérisées par leur diamètre nominal (ϕ). 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 kN/m³ et son module d'élasticité longitudinal est de : Es 200000 MPa

- Dans la pratique on utilisé les nuances d'acier suivantes :

Type	Nuance	f_e (MPa)	Emploi
Ronds lisses	F _e E22	215	Emploi courant.
	F _e E24	235	Épingles de levage des pièces préfabriquées
Barres HA Type 1 et 2	F _e E40	400	Emploi courant.
	F _e E50	500	
Fils tréfiles HA Type 3	F _e TE40	400	Emploi sous forme de barres droites ou de treillis.
	F _e TE50	500	
Fils tréfiles lisses Type 4	TL50 $\Phi > 6\text{mm}$	500	Treillis soudés uniquement emploi courant
	TL50 $\Phi \leq 6\text{mm}$	520	

Tableau I.3 : Valeurs de la limite d'élasticité garantie, f_e .

1) Caractéristique mécanique :

Les caractéristiques mécanique des aciers d'armature son donnée de façon empirique à partir des essais de traction en déterminant la relation entre σ et la déformation relative ϵ

1.1-États limite ultime :

Le comportement des aciers pour les calculs à LELU vérifier une loi de type élasto-plastique parfait, 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 γ_s qui a les valeurs suivantes:

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} \quad \text{et} \quad \varepsilon_s = \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \gamma_s = 1,15 ; \text{ Cas générale, on a } \sigma_s = 348 \text{ MPa} \\ \gamma_s = 1,00 ; \text{ Cas des combinaison accidentelles, on a } \sigma_s = 400 \text{ MPa} \\ E_s : \text{ module d'élasticité / } E_s = 200000 \text{ MPa} \end{array} \right.$$

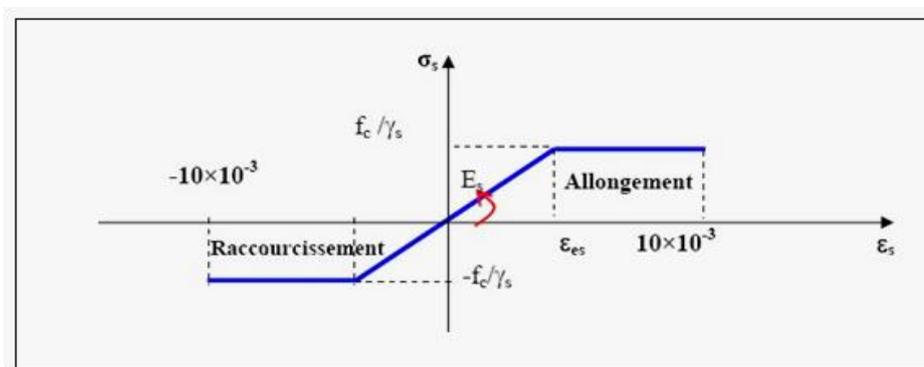


Figure I.8: Diagramme de déformation – contraintes.

1.2-États limite de service :

-Les contraintes limite de l'acier σ sont données en fonction de l'état d'ouverture des fissures.

- $\overline{\sigma}_{st} \leq f_e$; (Pas de limitation) \rightarrow Fissuration préjudiciable
- $\left\{ \begin{array}{l} \overline{\sigma}_{st} \leq \min \left(\frac{2}{3} \times f_e ; 110 \times \sqrt{\eta} \times f_{tj} \right) \text{ MPa} \\ \overline{\sigma}_{st} \leq \min \left(\frac{2}{3} \times 400 ; 110 \times \sqrt{1,6 \times 2,1} \right) \rightarrow \text{Fissuration préjudiciable} \\ \overline{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ MPa} \end{array} \right.$
- $\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{st} \leq \min \left(\frac{1}{2} \times f_e ; 90 \times \sqrt{\eta} \times f_{tj} \right) \text{ MPa} \\ \sigma_{st} \leq \min \left(\frac{1}{2} \times 400 ; 90 \times \sqrt{1,6 \times 2,1} \right) \rightarrow \text{Fissuration très préjudiciable} \\ \sigma_{st} = 165 \text{ MPa} \end{array} \right.$

η : 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.

L'allongement relative de l'acier : $\varepsilon_s = (F_e/\gamma_s) / E_s$

c-Poids volumique : le poids caractérisé de l'acier égale

-Acier400..... $\gamma_b = 78,5 \text{ KN/m}^3$

2. Hypothèse de calcul de section en béton armé :

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

- États limites ultimes de résistance E.L.U.R
- États limites de service E.L.S

a) 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 : $\begin{cases} \varepsilon_{bc} = 3,5\text{‰} \rightarrow \text{Flexion composée} \\ \varepsilon_{bc} = 2\text{‰} \rightarrow \text{Compression simple} \end{cases}$
- 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

1-Règles des trois pivots :

Consiste à supposer que le domaine de sécurité passe par les pivots (A.B.C), en fonction des sollicitations normales la rupture d'une section en béton armé peuvent 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.

Pivot	Domaine	Déformation limites du pivot considéré
A	1	Allongement unitaire de l'acier $10^0/00$ supposé concentrée
B	2	Raccourcissement unitaire du béton $3,5^0/00$ de la fibre la plus comprimée
C	3	Raccourcissement unitaire du béton $2^0/00$ de la fibre située à $3/7$ de la fibre la plus comprimée

Tableau I.4 : Les déformations limitent du pivot.

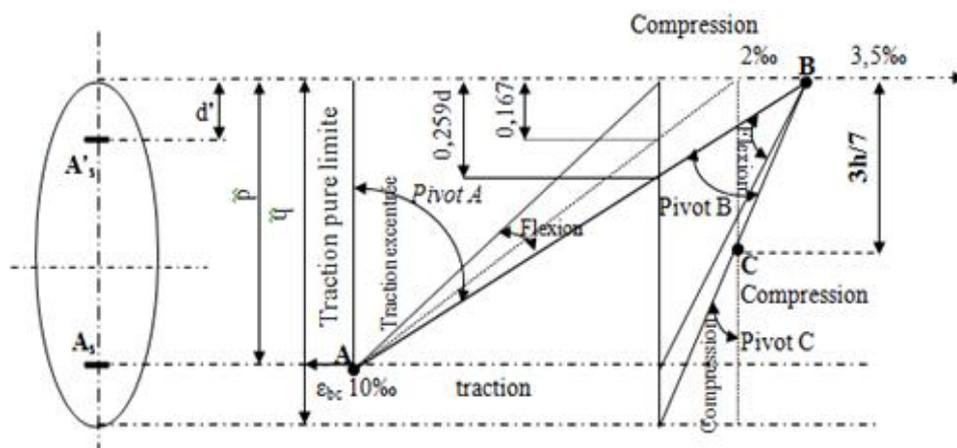


Figure I.9 : Diagramme des déformations limitées de la section .- Règles des trois pivots –

b-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.
- Le béton et l'acier sont considérés comme des matériaux linéairement élastiques.
- 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.
- 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.10.LES ACTIONS:

Sont les forces appliquée à une construction soit :

Directement : action permanents, action variable d'exploitations action climatique et action accidentelles

Indirectement : effet de retrait et de fluage ; variation de température et tassement

-On distingue trois types :

1-Les actions permanentes G :

Elles ont une intensité constante ou très peu variable dans le temps, ou varie toujours dans le même sens en tendant vers une limite, elles comprennent :

- Poids propre de la structure
- poids des éléments (remplissage en maçonnerie, cloisonnement, revêtements)
- efforts (poids, poussée des eaux et de terres)
- efforts due à des déformations permanentes (mode de construction, tassement, retrait)

2-Les actions variables Q :

D ans l'intensité varie fréquemment et de façon importante dans le temps, elles comprennent

- Les charges d'exploitation
- Les charges climatiques
- L'explosion (gaz, bombes)
- Séisme

3-Les actions accidentelles :

Noté Fa provenant des phénomènes rare telle que séisme ou bien le choc.

I.11.Les sollicitations :

Les sollicitations sont définis comme étant les efforts provoquées en chaque section de la structure, parles action qui s'exercent sur elles, les sollicitations sont exprimer sous formes des forces, d'efforts (normaux ou tranchants), de moment (de flexion, de torsion...etc.)

De façon générale les sollicitations sont calculées on utilise pour la structure un modèle élastique et linéaire on emploie les procédés de la résistance des matériaux dans les mesures ou la forme des pièces permet

I.11.1-Sollicitations du calcul vis-à-vis des états limites :

•État limite ultime :

Les sollicitations de calcul sont déterminées à partir de la combinaison d'action suivante :

$$1,35.G + 1,5.Q$$

• État limite de service :

Combinaison d'action : $G+Q$

•RPA :

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

Pour les poutres :

$$G+Q \pm E$$

$$0,8G \pm E$$

Pour les poteaux :

$$G + Q \pm 1,2E$$

$$0,8G \pm E$$

Avec :

G : charge permanente.

Q : charge d'exploitation.

E : effort de séisme