

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement supérieur et de La Recherche
Scientifique

Université : **MOHAMED BOUDIAF M'SILA**
Faculté : **de Technologie**
Département : **Génie Civil**
Option : **structure**

Cours Projet structures en béton armé

Module : Projet structures en béton armé

Option : Structure

Niveau : 2^{ème} Année Master

Présenté par: Dr MENASRI YUCEF

Objectifs de l'enseignement:

L'objectif de cette matière est d'élaborer toutes les étapes d'un projet pour le calcul de structure sous l'encadrement de l'enseignant chargé de la matière.

Mise en application des connaissances dans une situation de bureau d'étude

Contenu de la matière:

Parti 1

Présentation et description du projet

Présentation des différentes étapes de calcul d'un projet

Hypothèses de calcul

Matériaux utilisés

Normes et règlements utilisés

Choix du système porteur (structures mixtes : voiles + portiques)

Pré dimensionnement des éléments de structures et évaluation des charges

Dimensionnement des planchers

Calcul des éléments secondaires (un balcon, acrotère)

Parti 2

Etude sismique

Etude des structures vis-à-vis du vent

Calcul et ferrailage des escaliers

Calcul et ferrailage de la structure porteuse

Dimensionnement des fondations.

Production des plans (Plan de coffrage, plan de ferrailage) pour les éléments calculés.

Parti 1

Introduction

Dans un projet structure en béton armé, la construction est le fait d'assembler différents éléments d'un édifice en utilisant des matériaux et des techniques appropriées.

Les objectifs de cette étude sont avant tout, d'assurer la sécurité des usagers de cette structure.

Cette dernière doit être calculée et conçue de telle manière 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 endommagée par certains effets, tels que : l'explosion, les chocs ou un autre phénomène.

- 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. Pour satisfaire les exigences énoncées ci-dessus, on doit choisir convenablement les matériaux, définir une conception, un dimensionnement et des détails constructifs appropriés, et spécifier des procédures de contrôles adaptées au projet considéré, au stade de la conception, de la construction et de l'exploitation. Pour ce faire, il faut impérativement respecter les normes et les règles en vigueur.

L'étude d'un projet de structure en béton armé nécessite les documents suivants :

- Les plans d'architecture de différents niveaux, les coupes, les façades, le plan de situation, le plan de masse ainsi que tous les détails d'architecture ;
- un rapport de l'étude géotechnique ;
- Un levé topographique du terrain s'il existe ;
- les données géologiques du terrain.
- les données climatologiques du site telles que la pluviométrie, la température, gel et dégel...

Présentation des différentes étapes de calcul d'un projet

- Conception (dimensionnement) de la structure étudiée (ex bâtiment) ;
- Pré dimensionnement des éléments de la structure ;
- Choix des caractéristiques des matériaux et des hypothèses de calcul ;
- Evaluation des charges sur les différents éléments de la structure
- Calcul de ferraillage de différents éléments de la structure ; Vérifications réglementaires
- Elaboration des plans de coffrages de différents niveaux ;
- Elaboration des plans de ferraillages, notes de calcul et divers détails ;

Pour parvenir à une étude la plus exhaustive possible, notre cours se structurera en deux grandes parties :

La première partie traitera la généralité du projet, la présentation du projet de sortie, et l'hypothèse de calcul de ce projet ; le pré dimensionnement en béton armé et le ferraillage des colonnes, des poutres, des dalles, de l'escalier,)

La deuxième partie consiste à la conception de la structure porteuse:

Etude sismique

Etude des structures vis-à-vis du vent

Calcul et ferraillage des escaliers

Calcul et ferraillage de la structure porteuse

Dimensionnement des fondations.

Production des plans (Plan de coffrage, plan de ferraillage) Pour les éléments calculés.

1.1 Présentation et description du projet

Lors de l'étude d'un projet, il doit être présenté en décrivant: son usage, site d'implantation et zone sismique (classification selon RPA 99 version 2003)

1.2 Description du projet

Nous décrivons et démontrons les propriétés techniques comme suit:

- Le type de plancher à adopté pour tous les niveaux
- Le type des Escaliers
- Le revêtement :
 - Carrelage pour les planchers et les escaliers.
 - Mortier de ciment pour les murs extérieurs.
 - Enduit de plâtre pour les plafonds et les murs intérieurs.
- Maçonnerie : Murs extérieurs Murs intérieurs (cloisons de répartition)

Caractéristiques dimensionnelles:

Dans une étude d'un projet S.B.A en considérant les paramètres suivants: contrainte admissible du sol.

Largeur en plan longueur en plan, hauteur du RDC, hauteur étage courant et hauteur totale

1.3 Hypothèses de calcul

I- Hypothèses à L'E.L.U :

1. toute section plane avant déformation reste plane déformation.
2. Il n'y a pas de glissement relatif entre le béton et l'acier. la déformation de deux matériaux est la même. Il résulte de cette hypothèse que les déformations des fibres sont proportionnelles à leurs distances par rapport à l'axe neutre.
3. la résistance du béton tendu est négligée.
4. On suppose concentrer en leur centre de gravité la section d'un groupe de plusieurs barres tendues ou comprimées, si l'erreur commise sur les déformations unitaires ne dépassent pas 15%.
5. le diagramme contrainte-déformation du béton pouvant être utilisé dans tout les cas sera le diagramme parabole-rectangle. Lorsque la section n'est pas entièrement comprimée, On peut utiliser le diagramme rectangulaire simplifié
6. le raccourcissement unitaire du béton est limité de 3,5% en compression et l'allongement unitaire des aciers sera limité à 10%.

Hypothèses à l'E.L.S (durabilité de la structure) :

1. les sections droites planes avant déformation restent planes après

Déformation → et Il n'y a pas de glissement relatif entre le béton et l'acier.

2. le béton tendue est négligé.
3. le béton et l'acier seront considéré comme des matériaux linéaires élastiques, donc on leur applique la loi de HOOKE
4. On ne tient pas compte du fluage de béton et du retrait.
5. On suppose concentré en leur centre de gravité un ensemble de plusieurs barres.

1.4 Matériaux utilisés

Le béton armé se compose de béton et d'armatures. Il ne représente pas une bonne résistance à la traction ou au cisaillement, l'acier offre une bonne résistance aux efforts de traction, de l'association de ces deux matériaux, il résulte un matériau composite dans lequel chacun répond au mieux aux sollicitations auxquelles il est soumis.

a. béton :

Le béton est obtenu en mélangeant en quantité et en qualité convenable du ciment, des granulats (gravier, sable) et de l'eau selon le type d'ouvrage à réaliser.

On choisira les différentes proportions à donner pour chaque composant, l'ensemble de ces composants est basé avant tous sur l'expérience et sur les résultats obtenus après les essais des éprouvettes à la compression et à la traction.

Le béton est un matériau qui offre les particularités suivantes :

il est composé de matériaux abondants dans la nature et facilement disponibles directement comme les graviers et les sables ou indirectement comme le ciment.

il est facile à mettre en œuvre dans un moule de forme quelconque ; ou dispose pour cela d'un temps suffisant (une demi-heure à une minute)

il a des caractéristiques mécaniques intéressantes.

il est compatible avec d'autres matériaux, spécialement l'acier

Composition du béton :

On appelle béton le matériau constitué par le mélange, dans les proportions convenables de ciment, de granulats (sables et pierraille) et d'eau et éventuellement des produits d'addition (adjuvants). C'est le matériau de construction le plus utilisé au monde, que ce soit en bâtiment ou en travaux publics.

- 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.
- Le béton est constitué de deux types de **granulats** :
 - Sable de dimension inférieure à 5 mm.
 - Gravier de dimension inférieure à 25 mm
- L'**eau** utilisée doit être propre, elle ne doit pas contenir des matières organiques qui influent sur le durcissement et la cohésion du béton

Préparation du béton : On appelle **dosage** le poids du liant employé pour réaliser un mètre cube de béton.

La composition ordinaire pour un mètre cube du béton est :

- 350Kg/m³ de ciment CPA325
- 400 L de sable $D_g \leq 5\text{mm}$
- 800 L de gravillon $D_g \leq 25\text{ mm}$
- 210 L d'eau.

Il existe plusieurs méthodes de préparation basées sur la granulométrie parmi lesquelles la méthode de DREUX-GORISSE.

Caractéristiques physiques et mécaniques du béton :

La masse volumique : La masse volumique des bétons est comprise entre 2200 et 2400 kg/m³. Cette masse volumique peut augmenter avec la modalité de mise en œuvre, en particulier avec la vibration.

Le retrait : C'est la diminution de longueur d'un élément de béton. On peut l'assimiler à l'effet d'un abaissement de la température qui entraîne un raccourcissement.

La dilatation : puisque le coefficient de dilatation thermique du béton est évalué à 10^{-5} , pour une variation de $\pm 20^{\circ}\text{C}$ on obtient : $\Delta L = \pm (2/1000) \times \text{longueur}$

Le fluage : C'est le phénomène de déformation provoquée dans le temps sous une charge fixe constamment appliquée.

La résistance:

1-Résistance du béton à la compression :

Pour l'établissement des projets, dans les cas courants ; un béton est défini par la valeur de la résistance à la compression mesurée en décroisant des éprouvettes cylindriques de 200cm^2 de section $d=16\text{cm}$; $h=32\text{cm}$

La résistance est mesurée à l'âge de 28 jours

Selon les règles [BAEL91] la résistance du béton à la compression peut être estimée suivant la loi : $0.685 f_{c28} \cdot \log(j+1) \dots \dots \dots [BAEL91]$

$$\text{Si } j \geq 28 \rightarrow f_{cj} = f_{c28}$$

La réalisation du projet en étude fait normalement l'objet d'un contrôle régulier ; la résistance caractéristique du béton à adopter sera ainsi :

$$f_{c28} = 25\text{MPa.} \quad (\text{Valeur adoptée pour les constructions civiles et industrielles}).$$

2-Résistance du béton à la traction :

La résistance caractéristique à la traction du béton à « j » jours notée f_{tj} ; est conventionnellement définie par la relation :

$$f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj} \text{ pour } f_{cj} \leq 40\text{MPa.} \quad [BAEL91]$$

Module de déformation longitudinale du béton :

Sous des contraintes normales d'une durée d'application inférieure à 24 heures ; on admet à défaut de mesures qu'à l'âge de « j » jours le module de déformation longitudinale instantanée du béton « E_{Ij} » est égale : E_{Ij}

$$= 11000 (f_{cj})^{1/3} \dots \dots \dots \text{BAEL91}$$

Le module de déformation différée « E_{vj} » à « j » jours du au fluage est donnée par la formule :

$$E_{vj} = 3700 (f_{cj})^{1/3}$$

et sous les mêmes actions le module de déformation transversale est donnée par la relation :

$$G = E / 2 * (1 + \nu).$$

ν : coefficient de poisson

E : Déformation relative transversale au longitudinale.

Selon les règles [BAEL91] les valeurs de ce coefficient :

$\nu = 0.20$; dans le cas des états limites de service.

$\nu = 0.00$; dans L'E.L.U.

Caractéristiques limites du béton :

Contrainte ultime du béton en compression : On a : $f_{bu}=0.85f_{cj}/\gamma_b$; en pratique ; on aura : $f_{cj}=f_{c28}$

Avec : f_{bu} : contrainte limite ultime de compression.

γ_b : coefficient de sécurité. $\gamma_b=1.15$; pour les situations accidentelles. $\gamma_b= 1.50$; pour les situations durables.

Contrainte ultime du béton au cisaillement : On a :

$\bar{\tau}_u = \min (0.2f_{cj}/\gamma_b ; 5\text{MAP})$; si la fissuration non préjudiciable.

$\bar{\tau}_u = \min (0.15f_{cj}/\gamma_b ; 4\text{MAP})$; si la fissuration préjudiciable.

Contrainte de service du béton en compression : $\sigma_{bc} = 0.6f_{c28}$ pour $\sigma_{bc}=25\text{MPa}$

Diagramme contrainte déformation :

Pour la vérification à l'état limite ultime, on utilise pour le béton un diagramme non linéaire dit « parabole-rectangle » ou bien, dans un but de simplification le diagramme rectangulaire qui en est déduit.

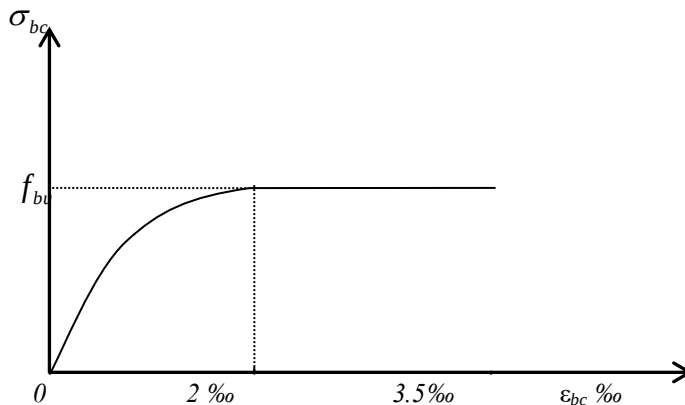


Fig. (1) : diagramme parabole-rectangle

Des contraintes déformation d'un béton comprimé

b. Aciers

Les aciers sont nécessaires généralement pour reprendre les efforts de traction, pour limiter la fissuration...

Description des différents types d'aciers :

Les aciers généralement utilisés pour le béton armé sont classés en trois catégories :

Barres rondes lisses.

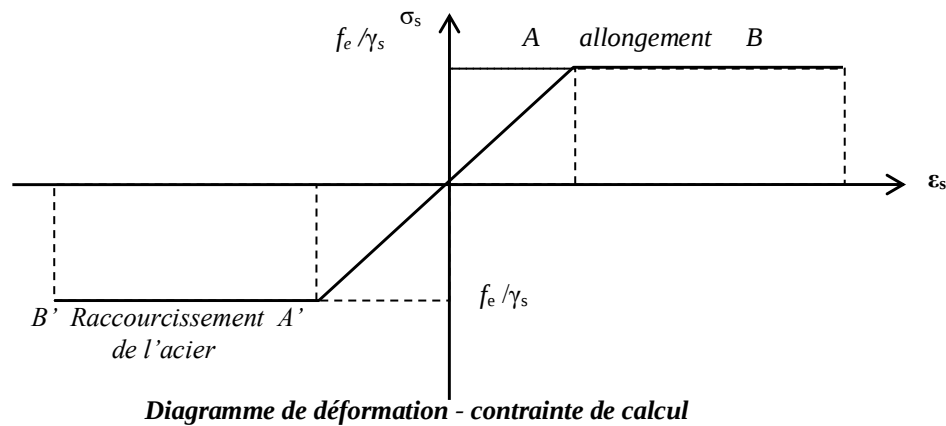
Barres à haute adhérence.

Fils (Fils à Haute adhérence et fils lisses.)

Treillis soudés.

Diagramme contraintes- déformations :

Le diagramme contraintes- déformations à considérer pour les justifications aux états limites ultimes de résistance est conventionnellement défini par :



Le diagramme contraintes- déformations se compose : d'une droite de pente $E_s = 200 \text{ GPa}$ (module d'élasticité), indépendante de la nuance de l'acier ; d'un palier horizontal d'ordonnée f_e .

Caractéristiques technologiques des aciers : Les caractères technologiques sont :

L'aptitude au façonnage, définie par référence à des essais de pliage et de pliage suivi de dépliage

L'aptitude d'une barre à assurer les liaisons mécaniques entre elle et le béton qui l'entoure (caractères d'adhérence)

L'aptitude au soudage.

Aptitude au façonnage :

Les diamètres de mandrins utilisés pour le façonnage des ronds lisses FeE 235 sont égaux à cinq fois le diamètre des armatures, sauf dans le cas des cadres, étriers ou épingles (dont le diamètre est au plus égal à 20 mm), pour lesquels le diamètre du mandrin est égal à trois fois celui de l'armature concernée.

Caractères d'adhérence :

L'adhérence d'une barre au béton qui l'enrobe est définie par deux coefficients sans dimensions :

η Coefficient de fissuration :

<i>Ronds lisses</i>	$\eta = 1$
<i>Barres HA(quelque soit le Φ)</i>	$\eta = 1.6$
<i>Fils HA $\Phi \geq 6mm$</i>	$\eta = 1.6$
<i>Fils HA $\Phi < 6mm$</i>	$\eta = 1.3$

ψ_s Coefficient de scellement

<i>Ronds lisses</i>	$\psi_s = 1$
<i>Barres HA(quelque soit le Φ)</i>	$\psi_s = 1.6$
<i>Fils HA(quelque soit le Φ)</i>	$\psi_s = 1.5$

1.5 Normes et règlements utilisés

Le dimensionnement des ouvrages et la vérification de la sécurité ne peuvent pas se faire de manière empirique. Ils sont basés sur des règles de calculs bien précises.

Règlements Algériens : (C.B.A.93)-(R.P.A.2003)

C'est les règlements techniques algérien qui viennent se substituer à la pratique admise du B.A.E.L (Béton Armé aux Etats Limites) ; en donnant des recommandations spéciales pour le pays Algérien dans le domaine parasismique R.P.A (Règlement Parasismique Algérien).

Théorie semi -probabiliste - Etats limites : (B.A.E.L91)

Cette théorie consiste a :

1-Définir les phénomènes que l'on veut éviter (l'état limite), ces phénomènes sont :

- Ouverture des fissures soit par :

a- Compression successive dans le béton.

b- Traction successive dans l'acier.

- Déformation importante dans l'ensemble.

2-Estimer la gravité des risques liés à ces phénomènes (on distingue les états limites ultimes et les états limites de services).

3-Dimensionner les éléments de la construction de telle manière que la probabilité d'atteindre l'un de ces phénomènes reste faible.

1.6 Choix du système porteur (structures mixtes : voiles + portiques)

En génie civil, un contreventement est un système statique destiné à assurer la stabilité globale d'un ouvrage vis-à-vis des effets horizontaux issus des éventuelles actions sur celui-ci (par exemple : vent, séisme, choc, freinage, etc.). Il sert également à stabiliser localement certaines parties de l'ouvrage (poutres, poteaux) relativement aux phénomènes d'instabilité (flambage ou déversement).

Afin d'assurer la stabilité globale d'un bâtiment, il est nécessaire que celui-ci soit contreventé selon au moins 3 plans verticaux non colinéaires et un plan horizontal ; on distingue donc les contreventements verticaux (destinés à transmettre les efforts horizontaux dans les fondations) des contreventements horizontaux (destinés à s'opposer aux effets de torsion dus à ces efforts).

Un contreventement peut être réalisé par des voiles (contreventements verticaux) ou des plaques (contreventements horizontaux) en béton armé, en maçonnerie, en bois ou en tôle ondulée ; ou par des treillis en bois ou en acier.

3.2. CHOIX DU CONTREVENTEMENT

Le contreventement permet d'assurer une stabilité horizontale et verticale de la structure lors des secousses qui, rappelons-le, ont des composantes dans les trois directions.

Le rôle du contreventement horizontal est de transmettre les actions latérales aux éléments verticaux appelés palées de stabilité.

Pour assurer le contreventement horizontal, les planchers et toitures faisant office de Diaphragme rigide ne devraient pas être affaiblis par des percements trop grands ou mal placés pouvant nuire à leur résistance et leur rigidité. Les diaphragmes flexibles devraient être évités pour combattre le déversement des murs notamment en maçonnerie. Le contreventement vertical par palées devrait répondre à des critères spécifiques tels que :

Leur nombre : au moins trois palées non parallèles et non concourantes par étage.

Leur disposition : elles seront situées le plus symétriquement possible par rapport au centre de gravité des planchers et de préférence aux angles avec une largeur suffisante.

Leur distribution verticale : être régulière ; les palées seront de préférence superposées afin de conférer aux différents niveaux, une rigidité comparable aussi bien en translation qu'en torsion. Les solutions susceptibles d'être choisies pour assurer le contreventement général des bâtiments sont évidemment liées aux contraintes qui peuvent être imposées par le parti architectural ; elles sont également dépendantes, dans une certaine mesure, du matériel dont dispose l'entreprise. Ces solutions peuvent être classées en trois grandes catégories :

Les systèmes de contreventement retenus dans les présentes règles sont classés selon les catégories suivantes (RPA 99 v 2003) :

Contreventement des Structures en béton armé (RPA 99 v 2003)

- 1.a: Portiques auto- stables en béton armé sans remplissage en maçonnerie rigide
- 1.b: Portiques auto- stables en béton armé avec remplissage en maçonnerie rigide
2. Système de contreventement constitué par des voiles porteurs en béton armé
3. Structure à ossature en béton armé contreventée entièrement par noyau en béton armé
- 4.a Système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'interaction portiques -voiles
- 4.b Système de contreventement de structures en portiques par des voiles en béton armé.
5. Système fonctionnant en console verticale à masses réparties prédominantes
6. Système à pendule inverse

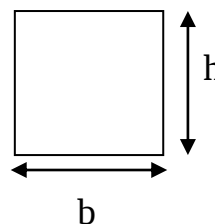
1.7 Pré dimensionnement des éléments de structures

Le pré dimensionnement a pour but “ le pré calcul “des sections des différents éléments résistants. Il sera fait selon les règles du BAEL 91 et le RPA 99 modifié **2003**, pour arriver à déterminer une épaisseur économique afin d'éviter un sur plus d'acier et du béton.. Les résultats obtenus ne sont pas définitifs, ils peuvent être augmentés après vérifications dans la phase du dimensionnement.

Poteaux :

Selon les prescriptions du **PRA 2003** les dimensions des poteaux doivent vérifier les conditions :

$$\left\{ \begin{array}{l} * \min (b, h) \geqcm \\ * \min (b, h) \geqcm \text{ « selon la Zone sismique »} \\ * \frac{1}{4} \leq \frac{b}{h} \leq 4 \end{array} \right.$$



Condition de non flambement :

Considérons une section rectangulaire de dimensions $b \times h$ avec : $b \leq h$

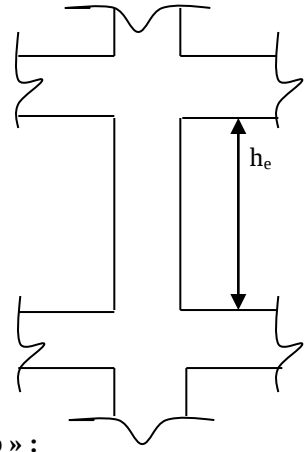
$$\text{L'élanement } \lambda = \frac{L_f}{i}$$

$$\text{Avec : } \lambda = \sqrt{\frac{I}{B}} \text{ nous avons :}$$

- I : moment d'inertie.

- B : section du béton.

- L_f : longueur du flambement



N.B : dans notre cas : $l_f = 0.7l_0$; poteau encastré dans se fait parallèle au cote « b » :

$$\left. \begin{array}{l} I = \frac{b^3 h}{12} \\ B = h \times b \\ i = \sqrt{\frac{I}{B}} = \frac{b}{\sqrt{12}} \end{array} \right\} \Rightarrow \lambda = L_f / i = \frac{L_f}{b} \sqrt{12}.$$

N.B : il est préférable de prendre $\lambda \leq 35$ « pour faire participer à la résistance du poteau, tous les barres d'acier de la section »

$$\text{Donc : } b \geq \sqrt{12} \frac{L_f}{35}$$

Calcule 'B_r' : $B_r = (a - 0.02) (b - 0.02)$

B_r : est la section réduite du béton

Calcul la section réduite du béton :

$$N_u \leq \alpha B_r \left[\left(\frac{f_{c28}}{0.9 \gamma_b} \right) + \left(\frac{A_s f_e}{\gamma_s B_r} \right) \right] \dots \dots \dots [\text{BAEL 91}]$$

Ou :

γ_b : Coefficient de sécurité du béton tel que

$\gamma_b = 1,5$ situation durable ou transitoire.

$\gamma_b = 1,15$ situation accidentelle.

γ_s : Coefficient de sécurité de l'acier tel que .

$\gamma_s = 1,15$ situation durable ou transitoire.

$\gamma_s = 1$ situation accidentelle.

N_u : est l'effort normale ultime. $N_u = 1,35 G + 1,5 Q$

G : poids propre des éléments qui sollicitent le poteau considéré

Q : surcharge d'exploitation qui sollicite le poteau

α : Coefficient de réduction destiné à tenir compte à la fois des efforts du second ordre et de l'excentricité additionnelle

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2} \quad \text{Pour } \lambda < 50$$

$$\alpha = 0,6 \left(\frac{50}{\lambda} \right)^2 \quad \text{Pour } 50 \leq \lambda \leq 70$$

$$\lambda = 35 \Rightarrow \alpha = 0.708$$

$$\lambda = 50 \Rightarrow \alpha = 0.603$$

λ : L'élancement du poteau considéré

A_s : section d'acier minimale.

f_{c28} : contrainte de compression du béton à 28 jours

f_e : contrainte limite élastique des aciers

B_r : la section réduite d'un poteau obtenue en déduisant de la section réelle d'épaisseur sur tout sa périphérie tel que :

Poteaux rectangulaires $B_r = (a - 0,02)(b - 0,02) \text{ m}^2$

On a le pourcentage d'armature est de 1% $\Rightarrow \frac{A_s}{B_r} = \frac{1}{100}$

$$\text{Donc : } N_u \leq \alpha B_r \left[\left(\frac{f_{c28}}{0.9\gamma_b} \right) + \left(\frac{f_e}{100\gamma_s} \right) \right]$$

$$\text{Et enfin : } B_r \geq \frac{N_u}{\alpha} \left[\frac{1}{\frac{f_{c28}}{0.9\gamma_s} + \frac{f_e}{100\gamma_s}} \right]$$

- l'effort normal ultime s'obtient à partir de la descente des charges

poutres :

Les poutres sont des éléments porteurs en béton avec des armatures en acier incorporé, servant de base à transmettre les charges aux poteaux.

Le prédimensionnement des poutres est effectué selon les formules de BAEL91 et vérifié selon le RPA99-2003.

Selon BAEL91

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{15} \leq h \leq \frac{1}{10} \\ 0.3h \leq b \leq 0.7h \end{array} \right.$$

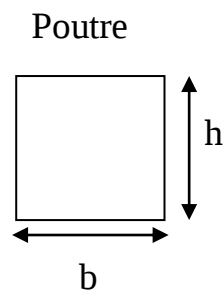
Verification selon l' RPA99 version 2003 :

$$\left\{ \begin{array}{l} b \geqcm \\ h \geqcm \\ \frac{h}{b} \leq 4 \end{array} \right. \text{ selon la zone sismique}$$

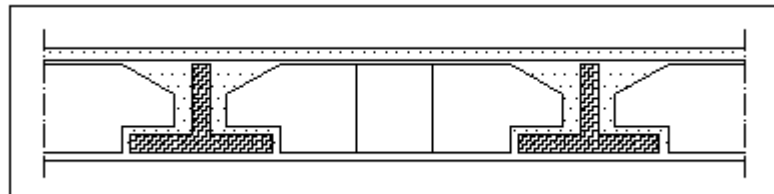
Avec: L : la portée de la poutre.
 h : la hauteur de la poutre.
 b : la largeur de la poutre.

selon BAEL 91 :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10}$$



Poutrelles (plancher à corps creux) :



« Dalle en corps creux »

-Résistance au feu :

- $e = 07cm$: pour une (01) heure de coup de feu.
- $e = 11cm$: pour deux (02) heures de coup de feu.
- $e = 17,5 cm$: pour quatre (04) heures de coup de feu.

-Isolation phonique :

La protection contre les bruits aériens exige une épaisseur minimale de **16 cm** ($e \geq 16 cm$)

-Résistance à la flexion :

- Dalle reposant sur deux appuis : $Lx / 35 < e < Lx / 30$
- Dalle reposant sur trois ou quatre appuis : $Lx / 50 < e < Lx / 40$

Lx : est la petite portée du panneau le plus sollicité.

-Condition de flèche :

La hauteur de la poutrelle sera déterminée comme suit :

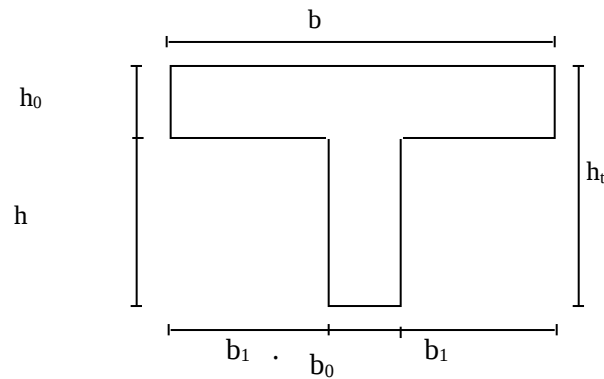
$$h_t = \left(\frac{1}{25}; \frac{1}{22} \right) L \text{ (Calcul des ouvrages en BA) [BELAZOUGUI]}$$

L : la plus grande portée dans le sens des nervures entre nus.

(les blocs de l'hourdis sont standard de : 16 ; 20 ; 25 ; 30 ; 35, et la dalle de compression 16+4 ; 20+5 ; 25+5 ; 30+5)

- Pour la largeur de la nervure nous avons : $b_0 = (8 \div 14) \text{ cm}$; on adopte : **$b_0 = 10 \text{ cm}$**
- La largeur de la table de compression à prendre en compte est déterminée en tenant compte des conditions :

$$\left\{ \begin{array}{l} b_1 \leq \frac{l}{10} \\ b_1 \leq \frac{l_n}{2} \\ 6h_0 \leq b_1 \leq 8h_0 \Rightarrow 24 \text{ cm} \leq b_1 \leq 32 \text{ cm} \end{array} \right.$$



Détermination de l'épaisseur du plancher :

L'épaisseur du plancher est déterminée à partir de la condition de la flèche :

$$\frac{ht}{L} \geq \frac{1}{22.5} \Rightarrow h_t \geq \frac{L}{22.5}$$

Avec L : La portée maximale entre nus d'appuis.

h_t : Hauteur totale du plancher.