

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Ecole Nationale Polytechnique
Département de Génie Civil



Mémoire de MASTER

Pour l'obtention du diplôme de master en Génie Civil

Thème

*Etude comparative avec établissement d'un programme
d'une structure en béton armé type bâtiment (cas portique)*

Proposé et dirigé par :

M. R. BOUTEMEUR

Membres de jury :

M. A. BALI

M^{me} R. KETTAB

M^{me} M. MORSLI

Préparé par :

KADDOUR Abderaouf

Président

Examinateur

Examinateur

Promotion Juin 2015

E.N.P- 10, Avenue Hassen Badi, 16200 El Harrach, Alger

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à Monsieur R. BOUTEMEUR, chargé de cours au département de génie civil à l'école nationale polytechnique, pour m'avoir proposé, dirigé ce sujet et d'avoir assuré la supervision de ce mémoire.

Mes remerciements vont également à l'ensemble du corps enseignant particulièrement à M. A. BALLI, M^{mes} R. KETTAB et M. MORSLI d'avoir accepté de faire partie du jury.

Ma reconnaissance va à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à ma formation.

Dédicaces

- *A mes chers parents pour leur présence chaleureuse, leur aide et leur soutien pendant mes études.*
- *A mon frère et à mes sœurs pour leur compréhension et leur patience.*
- *A toute ma famille*
- *A tous mes amis pour leur sympathie et amitié.*

Je dédie ce modeste travail.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة مقارنة بين عدة منشآت من الخرسانة المسلحة بالنسبة إلى معايير البناية كعلوها، والمنطقة الزلزالية التي تنتمي إليها مرورا أساسا بتصميم أعمدة البناية من أجل هذا نلجأ إلى مختلف النتائج المتحصل عليها في مشاريع نهاية الدراسة. بعد ذلك نقوم بإنشاء برنامج بواسطة ما تلاب، يسمح لنا بإجراء هذه الدراسة معتمدنا على مساحة الحديد للأعمدة، تبعا لقوانين البناء السارية المفعول CBA93, RPA99 version 2003 وكذلك قوانين BAEL91

الكلمات المفتاحية

الخرسانة المسلحة، أعمدة، عوارض، ما تلاب.

Résumé

Le but de ce travail est l'étude comparative entre différentes structures en béton armé par rapport aux différents paramètres de la structure (la hauteur d'étage, les portées, la zone sismique), en passant essentiellement par un dimensionnement des poteaux, et pour cela en se référant aux différents résultats obtenus dans d'autre projet de fin d'étude.

Après cela, on élabore un programme à l'aide de MATLAB qui permet de réaliser cette étude en calculent les sections d'acier des poteaux, ainsi les vérifications conformément aux règlements des constructions en vigueur (RPA99v2013, CBA) et le règlement BAEL91.

Mots clés

Béton armé, Poteaux, Poutres, MATLAB,

Abstract

The purpose of this work is the parametric comparative between different structures related to various parameters of the structure (the floor height, spans, and seismic zone), essentially pass through of columns, and for this by consulting the different results obtained another project in the end of study.

After that, we develop a program using MATLAB that allows calculating this study by the steel sections of the columns and checks in accordance with the regulations of constructions in strengths (RPA99v2013, CBA) although BAEL 91.

Keywords

Reinforced concrete, columns, Beams, MATLAB,

TABLE DES MATIERES

Introduction générale

CHAPITRE I : Généralités

I.1. Béton armé :.....	2
I.2. Avantages et inconvénients du béton armé :	2
I.2.1 Avantages :.....	2
I.2.1.1. L'intérêt économique :	2
I.2.1.2. La souplesse d'utilisation :.....	1
I.2.1.3. Economie d'entretien :	1
I.2.1.4. Résistance au feu :.....	1
I.2.1.5. Résistance aux efforts accidentels :.....	1
I.2.2. Les inconvénients du béton armé :	1
I.2.2.1. Le poids :.....	1
I.2.2.2. L'exécution :	1
I.2.2.3. Brutalité des accidents :	2
I.2.2.4. Difficulté de modification d'un ouvrage déjà réalisé :.....	2
I.3. Méthodes Règles de calculs du béton armé :	2
I.3.1 Historique :.....	2
I.3.2 Règlements classiques - coefficient de sécurité : (C.C.B.A).....	2
I.3.3 Théorie probabiliste de la sécurité :	2
I.3.4 Théorie semi -probabiliste - Etats limites : (B.A.E.L) 83-91	2
I.3.4.1. Etat limite ultime (E.L.U) :	3
I.3.4.2. Etat limite de service (E.L.S) :	3
I.3.5. Règlements Algériens : (C.B.A.93)-(R.P.A.2003).....	4
I.4. Méthode d'éléments finis :.....	4
I.4.1. Concepts de base :.....	5
I.4.2. Calculs par la MEF :	5
I.4.3. Échelle de la modélisation :	5
I.4.4. Choix du maillage :.....	6
I.4.5. Connexion dalle-poteau :	7
I.4.6. Connexion des poutres :.....	7
I.4.7. Logiciels d'analyses :	8

CHAPITRE II : Dimensionnement des poteaux selon CBA93 ET RPA99 V2003

II.1. Les Poteaux selon CBA93 :	11
II.1.1 Evaluation des charges verticales :	11
II.1.2 COMBINAISONS D' ACTIONS A CONSIDERER :	11

a) Poteaux soumis à une compression centrée :.....	11
b) Poteaux soumis uniquement aux actions dues à des charges permanentes et a des charges d'exploitation :	11
c) Poteaux soumis aux charges dues à la pesanteur et au séisme :	12
d) Longueur de flambement :.....	12
II.1.3 Justification des poteaux :.....	13
a) Détermination forfaitaire de l'effort normal résistant des poteaux soumis à une compression "centrée" :.....	13
b) Les règles BAEL91 :	14
II.2. Les Poteaux selon RPA :.....	14
II.2.1. Ferrailage	14
a) Les armatures longitudinales	14
II.3. Les Poutres selon RPA 99 V2003 :.....	15
II.3.1. Prédimensionnement des sections :	15
II.4. Dégression de charges :.....	15

CHAPITRE III : Etude comparative

III.1 Introduction :.....	16
III.2 Programmation par MATLAB :.....	16
III.2.1. MATLAB :	16
III.2.2. Particularité de MATLAB :.....	16
III.2.3. Interface graphique :.....	17
III.3. Programme du calcul :	17
III.3.1. Détails de programme :	18
III.3.1.1. Caractéristiques de béton et la zone sismique :	18
III.3.1.2. Caractéristiques de Poteau :.....	19
III.3.1.3. Caractéristiques des Poutres :	19
III.3.1.4. Les Charges Permanentes :.....	19
III.3.1.5. Vérification de la charge ultime reprise par le poteau selon CBA93 :	20
III.3.1.6. Vérification les caractéristiques géométriques des poteaux et des poutres :	20
III.3.1.8. Tableau de dégression de charge et chargement :	21
III.4. Application de programme sur les structures :	22
III.4. Discussion des résultats :	30
Conclusion :	31

Annexe

Références bibliographiques

Logiciels

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE II : Dimensionnement des poteaux selon CBA93 ET RPA99 V2003

Tab .II.1. Combinaisons des charges.	11
--	----

CHAPITRE III : Etude comparative

Tab.III.1. Tableau de chargement et de dégression de charge, section d'armature minimale.	21
Tab.III.2. Caractéristiques géométriques de poteau et l'étage.	22
Tab.III.3. Caractéristiques géométriques des poutres.....	22
Tab.III.4. Charge permanente de l'étage.	22
Tab.III.5. Charge d'exploitation de l'étage.	22
Tab.III.6. Sections des ferrailages.	24
Tab.III.7. Caractéristiques géométriques de poteau et l'étage.	24
Tab.III.8. Caractéristiques géométriques des poutres.....	25
Tab.III.9. Charge permanente de l'étage.	25
Tab.III.10. Charge d'exploitation de l'étage.	25
Tab.III.11. Ferrailage des poteaux As min RPA, AS min RPA Programme.	27
Tab.III.12. Caractéristiques géométriques de poteau et l'étage.	27
Tab.III.13. Caractéristiques géométriques des poutres.....	28
Tab.III.14. Charge permanente de l'étage.	28
Tab.III.15. Charge d'exploitation de l'étage.	28
Tab.III.16. Ferrailage des poteaux As min RPA, AS min RPA Programme.	28

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I : Généralités

- Fig. I.1.** Modélisation des poteaux adaptés 7
- Fig. I.2.** Modélisation des poutres : (a) système poutre-dalle ; (b) modèle avec bras rigide décalé ; (c) élément poutre rectangulaire ou en té concentré localisé au feuillet moyen de la dalle ; (d) élément p outre en té équivalent. 8

CHAPITRE II : Dimensionnement des poteaux selon CBA93 ET RPA99 V2003

- Fig. II.1.** Dimensionnement des sections transversales selon RPA99. 14

CHAPITRE III : Etude comparative

- Fig. III.1.** Interface de programme de calcul..... 18
- Fig. III.2.** Caractéristiques de béton et l'acier..... 18
- Fig. III.3.** Caractéristiques de poteau. 19
- Fig. III.4.** Caractéristiques géométriques des poutres..... 19
- Fig. III.5.** Charge permanente due au plancher..... 19
- Fig. III.6.** Vérification selon CBA93. 20
- Fig. III.7.** Vérification poteau, poutres selon RPA99. 20
- Fig. III.9.** Résultats correspond un bâtiment 2SS+R+10. 23
- Fig. III.10.** Résultats correspond un bâtiment 2SS+R+9. 26
- Fig. III.11.** Résultats correspond un bâtiment 1SS+R+9. 29

Introduction générale :

Les préoccupations de notre milieu professionnel concernant les effets des séismes sur les constructions ont accéléré la mise au point des techniques de calcul. Maîtrisant ces techniques depuis leur apparition, en suivant le développement tout au long de leur évolution.

Durant ces dernières années il est nécessaire de pratiquer les logiciels dédiés au calcul dynamique des structures. Et capable de comprendre leur architecture et leurs limites d'application, d'apprécier la facilité et la pertinence de la modélisation proposée et, bien sûr, d'examiner la validité et la fiabilité des résultats. Cette démarche est d'autant plus méritoire que l'action sismique, entièrement aléatoire, nous contraint de connaître les limites des procédures de calcul dont nous pouvons disposer.

Pour calculer une structure en béton armé en passe par les étapes suivantes :

- Détermination action, charge (permanente, variable, accidentelle) ;
- Calculs des sollicitations en utilisant différentes méthode de calcul ;
- Calcul de la différente section des bétons et d'armatures (RPA99V2003 (CBA) ;
- Satisfaire (justification) vis-à-vis des recommandations concernant les sections minimales des bétons et d'aciers à respecter.

En consultant les différent PFE, on a remarqué que les sections minimales d'armatures exigées par RPA99V2003 dans les sections des poteaux sont à adopté, à tel point qu'on peut dire que l'on peut éventuellement se passer de ces différents calculs (sollicitations, dimensionnement).

Ainsi notre travail a pour objectif l'élaboration d'un programme de calcul basé essentiellement sur les paramétrées et les recommandations CBA/RPA ainsi le BAEL 91, qui permet de faire une étude comparative entre différentes structures en variant les paramètres liés à la structure tel que : la hauteur d'étage, les porté, la zone sismique ...etc.

Ce programme sera exécuté pour différents PFE déjà étudiée,

I.1. Béton armé :

Le Béton armé est un élément mélangé par plusieurs matériaux. Il est constitué par la réunion de deux matériaux que nous supposons simple ; c'est le béton et l'acier, disposés d'une façon à utiliser d'une manière économique la résistance de chacun d'eux on appelle béton : le mélange dans des proportions convenable des éléments suivants :

- liant hydraulique (ciment)
- béton granulats (sable, gravier,...)
- l'eau

On appelle béton armé le matériau obtenu en ajoutant au béton des barres en acier.

Dans l'association béton + acier, le béton résiste aux efforts de compression et l'acier résiste aux efforts de traction et éventuellement aux efforts de compression si le béton ne suffit pas pour prendre tous les efforts de compression qui existent.

Béton → Compression (Résistance à la compression = 20 MPa à 40MPa)

(Résistance à la traction = 2 MPa à 4MPa)

Acier → Traction ou compression (200 MPa à 500 MPa)

Une construction sera appelée en béton armé si les deux matériaux participent à la résistance de l'ensemble.

I.2. Avantages et inconvénients du béton armé :

I.2.1 Avantages :

I.2.1.1. L'intérêt économique :

Le béton est le moins coûteux des matériaux résistant à la compression et susceptible d'être associé à d'autres éléments.

On dit que l'acier est actuellement le seul matériau utilisé dans la fabrication des armatures parce que sa résistance est moins chère des matériaux pouvant être résistés à la traction.

CHAPITRE I : Généralités

I.2.1.2. La souplesse d'utilisation :

le béton étant mis en place (dans des moules : coffrage) à l'état frais ; il est possible de réaliser des constructions aux formes les plus variées et les armatures peuvent être facilement liées. Les assemblages entre différents éléments en béton se réalisent par simple contact.

Le béton armé se traite facilement à la pré-fabrication en usine.

I.2.1.3. Economie d'entretien :

Les constructions en béton armé ne nécessitent aucun entretien généralement tandis que les constructions métalliques ont besoins d'être peintes régulièrement.

I.2.1.4. Résistance au feu :

Les constructions en béton armé se comportent beaucoup mieux en cas d'incendie que les constructions métallique ou en bois. Le béton, grâce à sa mauvaise conductibilité thermique retarde les effets de la chaleur sur les armatures, il est possible de remettre en service la construction après les réparations superficielles ce qui est impossible pour les constructions métalliques. Cette propriété a permis d'utiliser le béton armé dans certaines parties des fours.

I.2.1.5. Résistance aux efforts accidentels :

Le béton armé en raison de son poids important est moins sensible aux variations de surcharges que d'autres modes de constructions.

I.2.1.6. Durabilité : le béton armé résiste bien à l'action de l'eau et de l'air la seule condition à observer et la protection des armatures.

I.2.2. Les inconvénients du béton armé :

I.2.2.1. Le poids :

Les ouvrages en B.A sont plus lourds que les autres modes de constructions.

I.2.2.2. L'exécution :

Pour exécuter un ouvrage en béton armé il faut :

- Préparation de coffrage qui demande beaucoup de temps et un travail de charpente important. Ce coffrage doit rester en place jusqu'à ce que le béton atteigne une résistance suffisante.
- le placement des armatures
- pendant et après les mises en place du béton, il faut prendre des précautions pour le protéger contre le gel et l'évaporation de l'eau.
- Le contrôle de la qualité du matériau perfectionné lors du gâchage.

CHAPITRE I : Généralités

I.2.2.3. Brutalité des accidents :

Les accidents qui surviennent d'un ouvrage en béton armé sont en général soudains ou brutaux, en général ces accidents sont dus à des erreurs de calculs ou de réalisations.

I.2.2.4. Difficulté de modification d'un ouvrage déjà réalisé :

Il est difficile de modifier un élément déjà réalisé.

I.3. Méthodes Règles de calculs du béton armé :

I.3.1 Historique :

Les premières définitions des principes de calculs ont été faites à la suite des travaux de la commission du ciment armé qui ont abouti à la rédaction de la Circulaire du 20 octobre 1906 concernant les instructions relatives à l'emploi du béton armé. Une commission prussienne définit les premières instructions sur le béton armé le 16 avril 1904, modifiées par le Ministre des Travaux publics de Prusse par la circulaire du 24 mai 1907.

I.3.2 Règlements classiques - coefficient de sécurité : (C.C.B.A)

Ces règlements utilisent la méthode des contraintes admissibles qui consiste à vérifier les contraintes calculs par la R.D.M en tout point d'une structure sous une contrainte admissible obtenue en divisant la contrainte de ruine du matériau par un coefficient de sécurité fixé à l'avance.

$$\sigma < \bar{\sigma} = \frac{\sigma_r}{k}$$

I.3.3 Théorie probabiliste de la sécurité :

Les ingénieurs ont défini la sécurité par un seuil de probabilité ; un ouvrage sera acceptable si la probabilité de ruine reste inférieure à une probabilité fixée à l'avance. Cette valeur varie en fonction de la durée de vie de la construction, du risque et du coup. Cette méthode à multiple difficulté.

- On ne peut pas définir la probabilité de ruine et son évolution dans le temps.
- On ne peut pas recenser tous les facteurs aléatoires d'une incertitude.

I.3.4 Théorie semi -probabiliste - Etats limites : (B.A.E.L) 83-91

Cette nouvelle théorie consiste à :

CHAPITRE I : Généralités

- 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.
- Estimer la gravité des risques liés à ces phénomènes (on distingue les états limites ultimes et les états limites de services).
- Dimensionner les éléments de la construction de telle manière que la probabilité d'atteindre l'un de ces phénomènes reste faible.

I.3.4.1. Etat limite ultime (E.L.U) :

Ils font référence aux conditions de rupture. Il s'agit de s'assurer que le risque de ruine est très faible en prenant divers coefficients de sécurité (sur les matériaux) et de pondération (sur les charges). En effet les sources d'erreur sont les suivantes :

- Les matériaux peuvent être moins résistants que prévu.
- Les charges appliquées peuvent être plus sévères que prévu.
- Les méthodes de calcul et les hypothèses peuvent ne pas correspondre exactement à la réalité

Exemple :

- a- Etat limite ultime d'équilibre statique de l'ouvrage : c'est la perte de la stabilité d'une partie ou de l'ensemble de la construction (le renversement).
- b- Etat limite ultime de résistance de l'un des matériaux de construction : c'est la perte de résistance soit du béton soit de l'acier.
- c- Etat limite ultime de stabilité de forme (flambement) : les pièces élancées soumises à des efforts de compression subissent des déformations importantes et deviennent instable.

I.3.4.2. Etat limite de service (E.L.S) :

Ce sont les conditions qu'il faut respecter pour que l'exploitation normale et la durabilité de la construction soient assurées. Les états limites de service présentent deux domaines :

1. Un domaine qui nécessite des calculs : par exemple, vérifier que des contraintes ou des déformations sont admissibles
2. Un domaine qui ne nécessite aucun calcul : c'est l'ensemble des dispositions constructives qui doivent être assurées.

CHAPITRE I : Généralités

Exemple :

- a- Etat limite de service de compression de béton : cette limitation a pour but d'empêcher la formation des fissures.
- b- Etat limite de service d'ouverture des fissures : il consiste à assurer que les armatures sont convenablement disposées dans la section et les contraintes ne dépassent pas la valeur limite.
- c- Etat limite de service de déformation : il consiste à vérifier que les déformations sont inférieures à des déformations limites.

I.3.5. Règlements Algériens : (C.B.A.93)-(R.P.A.2003)

C'est les règlements techniques algériens 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).

I.4. Méthode d'éléments finis :

L'évolution de la technologie amène l'ingénieur à réaliser des projets de plus en plus complexes, coûteux et soumis à des contraintes de sécurité de plus en plus sévères. Pour réaliser ces projets et vu la complexité des méthodes analytiques de la résistance des matériaux, l'ingénieur a recours aux méthodes qui lui permettent de simuler le comportement des systèmes physiques complexes. Conditionnée par les progrès effectués dans le domaine informatique et les acquis des mathématiques dans la théorie de l'énergie, des méthodes de projection et des méthodes d'approximation, la méthode des éléments finis est devenue éventuellement la plus performante des méthodes numériques vu son grand champ d'application où elle est utilisée dans de nombreux secteurs de l'industrie : aérospatiale, nucléaire, génie civile, construction navale, mécanique ... etc.

La méthode des éléments finis est donc une technique récente à caractère pluridisciplinaire car elle met en œuvre les connaissances de trois disciplines de base :

- La mécanique des structures : élasticité, résistance des matériaux, dynamique, plasticité, ... etc.
- L'analyse numérique : méthodes d'approximations, résolution des systèmes linéaires, des problèmes aux valeurs propres, ... etc.
- L'informatique appliquée : techniques de développement et de maintenance de grands logiciels.

CHAPITRE I : Généralités

I.4.1. Concepts de base :

La MEF consiste à remplacer la structure physique à étudier par un nombre fini d'éléments ou de composants discrets qui représentent un maillage. Ces éléments sont liés entre eux par un nombre de points appelés nœuds. On considère d'abord le comportement de chaque partie indépendante, puis on assemble ces parties de telle sorte qu'on assure l'équilibre des forces et la compatibilité des déplacements réels de la structure en tant qu'objet continu.

La MEF permet d'étudier correctement des structures continues ayant des propriétés géométriques et des conditions de charges compliquées, elle nécessite un grand nombre de calculs qui, à cause de leur nature répétitive, s'adaptent parfaitement à la programmation numérique.

I.4.2. Calculs par la MEF :

L'utilisation de MEF dans le calcul est théoriquement, la plus satisfaisante puisqu'elle permet la modélisation des problèmes physiques complexes, elle nécessite de :

- définir la géométrie du problème, pour que les frontières du calcul n'influencent pas sur les résultats.
- Le choix d'une loi de comportement du béton, loi de Yong (contrainte-déformation) ... etc.
- Les caractéristiques de de béton et de l'acier tel que le module d'élasticité, coefficient de poisson ...etc.

Elle nous permis de déterminer :

- les déplacements de la structure ;
- les sollicitations internes de la structure (poteau, poutre et plancher) ;
- les déformations de la structure ;
- les contraintes totales dans les éléments structuraux ;
- de calculer un coefficient de sécurité.

I.4.3. Échelle de la modélisation :

L'échelle de modélisation définit l'importance du modèle en fonction du résultat attendu :

CHAPITRE I : Généralités

- modélisation 2-D, représentation plane dont les nœuds sont affectés de trois degrés de liberté : une translation verticale, une translation horizontale et une rotation situées dans le plan ;
- modélisation tridimensionnelle, 3-D, dont les nœuds sont affectés de six degrés de liberté. Les éléments finis sont des éléments de plaque, coque ou volume ou encore des éléments barres.

I.4.4. Choix du maillage :

La réalisation d'un bon maillage est parfois une tâche ardue puisqu'il faut s'assurer de couvrir adéquatement toutes les zones de la dalle. Cependant, dans certains documents on retrouve des indications afin de permettre la réalisation d'un bon maillage.

La liste qui suit donne certaines lignes directrices :

- Les lignes devraient englober les frontières de la dalle, toutes les ouvertures et les changements d'épaisseurs.
- Les lignes devraient délimiter les poutres
- Les lignes devraient se couper aux points de support et être localisé le long des lignes de supports.
- Les lignes devraient se trouver le long des discontinuités structurales.
- Les lignes devraient se couper au point d'application des charges. Elles devraient être localisées sous les charges linéaires et aux changements d'intensité des charges.
- Des lignes supplémentaires peuvent être nécessaires pour définir des zones à analyser séparément à la suite de l'analyse.

Ces lignes directrices ne sont pas infaillibles. En effet, si une structure est divisée en sous- éléments de trop grande dimension, des problèmes de convergence peuvent apparaître aux différents nœuds. La méthode pour pallier à ce problème est de réduire la taille de ces éléments. Cependant, il est difficile de savoir jusqu'où diminuer la taille des éléments afin d'obtenir des résultats satisfaisants sans toutefois trop augmenter le temps de calcul.

Le choix de la forme des mailles et de leurs dimensions n'est pas le seul élément à considérer lors de la définition du maillage. Il faut déterminer le nombre de degrés de liberté (DDL) à considérer à chaque nœud. Normalement, chaque nœud possède six DDL, trois en translation et trois en rotation. Cependant, De cette façon, les déformations en cisaillement sont négligées.

CHAPITRE I : Généralités

Cependant, pour les poutres et les poteaux, il est préférable d'utiliser cinq DDL par nœuds pour ne pas négliger les déformations en cisaillement qui sont plus importantes dans les poutres et les poteaux.

I.4.5. Connexion dalle-poteau :

Lors de la modélisation d'une dalle, la zone de connexion entre la dalle et les poteaux est souvent source de questionnement. D'abord, le poteau peut être connecté à la dalle de deux façons soit par une connexion ponctuelle seulement ou une connexion ponctuelle, avec des contraintes cinématiques aux nœuds définissant les dimensions finies des poteaux.

Il est préférable de définir les dimensions finies des poteaux plutôt, que d'effectuer une connexion ponctuelle seulement, comme indiqué la figure I.1, car, une connexion ponctuelle entraîne un effet de singularité dans la solution qui conduit à des moments et des contraintes infinis. Cette façon de modéliser crée donc un élément rigide

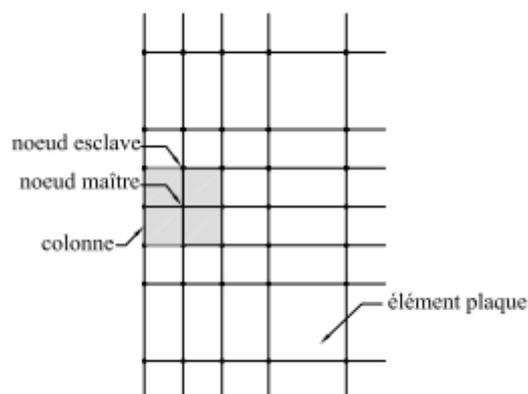


Fig. I.1. Modélisation des poteaux adaptés

I.4.6. Connexion des poutres :

Lors de la modélisation d'une dalle avec poutre, la connexion de celle-ci n'est pas simple. En effet, le centre de gravité des poutres ne coïncide pas avec le centre de gravité des dalles. Afin de régler ce problème, il existe différentes méthodes. la première consiste à utiliser des extensions rigides reliant les deux centres de gravité afin que la flexion de la poutre soit associée à la déformation axiale de la poutre. Si les extensions rigides ne sont pas disponibles dans le logiciel utilisé il est possible d'employer des éléments poutres effectifs très rigides reliant les nœuds de la dalle aux nœuds de la poutre située sur l'axe central de celle-ci. Cette méthode n'est cependant

CHAPITRE I : Généralités

pas recommandée puisqu'elle peut causer des erreurs graves par le mauvais conditionnement de la matrice de rigidité. Ensuite, il est possible de concentrer les propriétés de la poutre sur le feuillet moyen des dalles. La dernière méthode est d'utiliser une poutre rectangulaire équivalente. La façon de faire est de d'abord calculer l'inertie I_t d'une poutre équivalente en *té* avec la portion de dalle recommandée par la norme CSA A23.3-04. Ensuite, pour obtenir l'inertie de la poutre, il suit de soustraire de I_t l'inertie de l'élément plaque et de placer celui-ci au niveau du feuillet moyen de la dalle. La figure 2.8 montre les méthodes présentées précédemment.

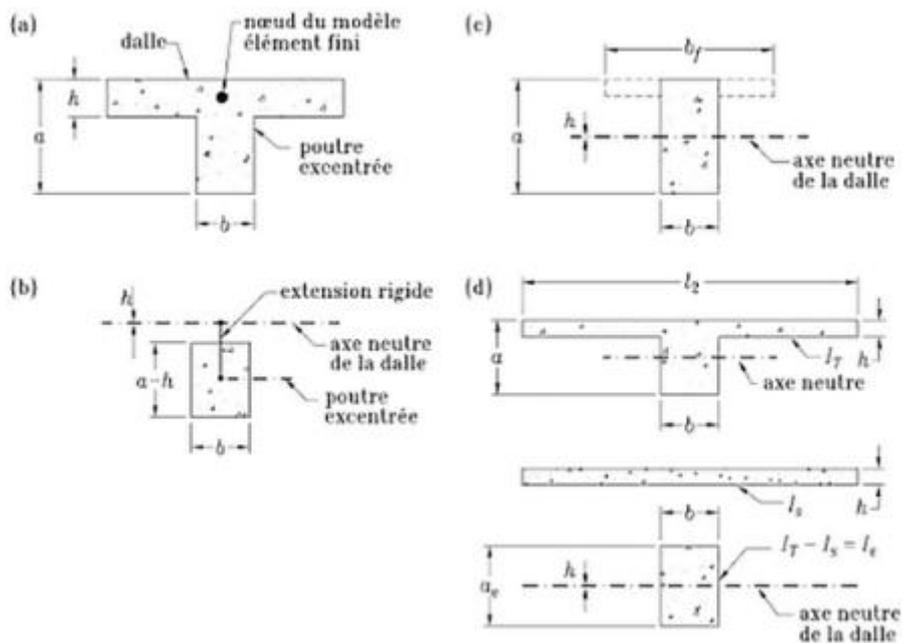


Fig. I.2. Modélisation des poutres : (a) système poutre-dalle ; (b) modèle avec bras rigide décalé ; (c) élément poutre rectangulaire ou en *té* concentré localisé au feuillet moyen de la dalle ; (d) élément poutre en *té* équivalent.

I.4.7. Logiciels d'analyses :

Il existe sur le marché plusieurs logiciels commerciaux d'analyses par éléments finis tels qu'ABAQUS [Dassault Systeme, 2012], ANSYS [ANSYS Inc., 2011], ROBOT [Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014] et SAP2000 [Computers & Structures, Inc., 2008].

Ces logiciels sont plus efficaces que certains logiciels maison, car ils sont continuellement testés et améliorés par les développeurs. Cependant, ces logiciels devraient à la base servir d'outils de vérification et non d'outils de dimensionnement. Toutefois, avec tous les développements et améliorations apportées aux différents

CHAPITRE I : Généralités

algorithmes de calcul, les logiciels par éléments finis tendent à devenir des outils de dimensionnement. Les différents algorithmes présents dans ces logiciels permettent d'obtenir à peu de choses près les mêmes résultats. Le choix du bon logiciel réside donc souvent dans sa facilité d'utilisation et dans la clarté des résultats.

Ils sont permis de faire :

- Analyse statique et dynamique
- Analyse linéaire ou non-linéaire

Ils possèdent également une interface graphique claire et précise qui permet une modélisation rapide et efficace des différentes géométries.

CHAPITRE I : Généralités

**Dimensionnement des poteaux
selon CBA93 et RPA99 V2003**

II.1. Les Poteaux selon CBA93 :

II.1.1 Evaluation des charges verticales :

Les charges verticales agissant sur les poteaux peuvent être évaluées en faisant, s'il y a lieu, application de la loi de dégression des charges variables dans les bâtiments à étages, telle qu'elle est énoncée par les normes en vigueur et en admettant la discontinuité des différents éléments de planchers.

Dans les bâtiments comportant des travées solidaires supportées par deux files de poteaux de rive et une ou plusieurs files de poteaux centraux, à défaut de calculs plus précis, les charges évaluées en admettant la discontinuité des travées doivent être majorées :

- de 15 % pour les poteaux centraux dans le cas de bâtiments à deux travées.
- de 10 % pour les poteaux intermédiaires voisins des poteaux de rive dans le cas des bâtiments comportant au moins trois travées.

Les charges évaluées sur les poteaux de rive dans l'hypothèse de la discontinuité n'étant pas réduites.

II.1.2 COMBINAISONS D' ACTIONS A CONSIDERER :

a) Poteaux soumis à une compression centrée :

Un poteau est soumis à une compression "centrée" s'il n'est sollicité en plus de l'effort normal de compression que par des moments dont l'existence n'est pas prise en compte dans la justification de la stabilité et de la résistance des éléments qui lui sont liés et qui ne conduisent par ailleurs qu'à de petites excentricités de la force extérieure.

b) Poteaux soumis uniquement aux actions dues à des charges permanentes et a des charges d'exploitation :

Les combinaisons d'actions sont celles définies au tableau suivant :

Tab .II.1. Combinaisons des charges.

COMBINAISONS	TRAVEES CHARGEES	TRAVEES DECHARGEES
(1)	1,35 G + 1,5 Q _B	1,35 G
(2)	G+1,5Q _B	G

G : Charge permanente (poids propre de béton, poids des éléments fixes).

Q_B : Représente alors l'action des charges d'exploitation évaluée au niveau considéré en faisant application s'il y a lieu de la loi de dépression dans les bâtiments à étages.

Dans les cas les plus courants, la combinaison d'actions à considérer est :

$$1.35G + 1.5Q_B$$

c) Poteaux soumis aux charges dues à la pesanteur et au séisme :

Les combinaisons d'actions à considérer sont celles données par les Régies Parasismiques Algériennes RPA DTR BC 2.48 auxquelles il y a lieu de se référer.

d) Longueur de flambement :

l_f : Est évaluée en fonction de la longueur libre l_0 des pièces et de leurs liaisons effectives.

➤ **Evaluation de la longueur libre :**

La longueur libre l_0 d'un poteau appartenant à un bâtiment à n étages est comptée soit :

- Entre faces supérieures de deux planchers consécutifs
- De sa jonction avec la fondation à la face supérieure du plancher.

La longueur libre l_0 des poteaux d'un hall ne comportant au-dessus du sol qu'un rez-de-chaussée couvert est comptée de la jonction avec la fondation ou de la face supérieure du plancher, haut du sous-sol au sommet du poteau.

a) Cas du poteau isolé :

S'il n'existe aucun dispositif de construction susceptible de modifier la longueur de flambement, cette longueur l_f est prise égale à :

- $2 l_0$ si le poteau est libre à une extrémité et encastré à l'autre ;
- l_0 si le poteau est encastré aux deux extrémités dans le cas où ces extrémités peuvent se déplacer l'une par rapport à l'autre ;
- $\frac{l_0}{\sqrt{2}}$ Si le poteau est articulé à une extrémité et encastré à l'autre ;
- l_0 si le poteau est encastré aux deux extrémités.

➤ **Cas des bâtiments :**

Pour les bâtiments à étages qui sont contreventés par un système voiles en béton armé ou maçonnerie de résistance suffisante, et où la continuité des poteaux et de leur section a été assurée, la longueur l_f est prise égale à :

- $0,7 l_0$ si le poteau est encastré à ses extrémités dans un massif de fondation, ou soit assemblé à des poutres de plancher ayant au moins la même raideur que le poteau.
- l_0 dans les autres cas.

II.1.3 Justification des poteaux :

a) Détermination forfaitaire de l'effort normal résistant des poteaux soumis à une compression "centrée" :

L'effort normal agissant ultime N_{ult} d'un poteau doit être au plus égal à la valeur suivante :

$$N_{ult} \leq \alpha \left[\frac{B_r \cdot f_{c28}}{0.9 \cdot \gamma_b} + \frac{A_s \cdot f_e}{\gamma_s} \right]$$

Avec :

B_r : Section réduite du poteau (en cm^2),

f_{c28} : Résistance caractéristique à la compression du béton à 28 jours = 25MPa.

A_s : Section d'armatures dans le poteau égale à 0,1% de la section réelle du poteau

f_{bu} : Résistance ultime du béton $f_{bu} = \frac{0.85 f_{c28}}{\gamma_b}$ (MPa).

f_e : Limite d'élasticité de l'acier utilisé (MPa).

γ_b : 1.5 pour les situations durables.

γ_b : 1.15 Pour les situations accidentelles.

α : Coefficient fonction de l'élanement du poteau calculé par :

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2} \quad \text{si } \lambda \leq 50.$$

$$\alpha = 0.6 \left(\frac{50}{\lambda} \right)^2 \quad \text{si } 50 \leq \lambda \leq 70.$$

$$\text{Avec } : \lambda = \frac{L_f}{i} = \frac{L_f \sqrt{12}}{a}$$

λ : L'élanement du poteau.

L_f : Longueur de flambement. ($0.7h_e$)

i : Rayon de giration de la section droite du béton seul.

a : Longueur de l'arrête de poteau.

b) Les règles BAEL91 :

La section réduite B_r est déterminée comme suite :

$$B_r \geq \frac{\beta * N_u}{\frac{f_{bu}}{0.9} + 0.85 \frac{f_e * A_s}{\gamma_s * B_r}}$$

Tel que :

$$\beta = 1 + 0.2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2 \quad \text{si } \lambda \leq 50$$

$$\beta = \frac{0.85 * \lambda^2}{1500} \quad \text{si } 50 \leq \lambda \leq 70$$

II.2. Les Poteaux selon RPA :

Les dimensions de la section transversale des poteaux doivent satisfaire les conditions suivantes (article 7.4.1)

- $Min (b, h) \geq 25 \text{ cm.}$ En zone I
- $Min (b, h) \geq 30 \text{ cm.}$ En zone II
- $Min (b, h) \geq h_e / 20.$
- $1/4 < b/h < 4.$

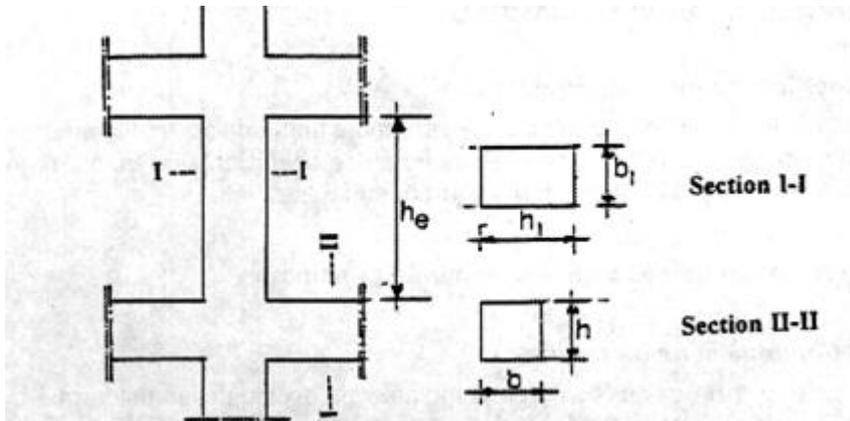


Fig. II.1. Dimensionnement des sections transversales selon RPA99.

II.2.1. Ferrailage

a) Les armatures longitudinales

Les armatures longitudinales doivent être à haute adhérence, droites et sans crochets :

*leur pourcentage minimal sera de :

- 0,7% en zone I
- 0,8% en zone II

- 0,9% en zone III

* Leur pourcentage maximal sera de

- 4% en zone courante

- 6% en zone de recouvrement.

II.3. Les Poutres selon RPA 99 V2003 :

II.3.1. Prédimensionnement des sections :

Les poutres doivent respecter les dimensions suivant :

- $b \geq 20\text{cm}$

- $h \geq 30\text{cm}$

- $h/b \geq 4.0$

- $b_{max} \leq 1,5h + b1$.

II.4. Dégression de charges :

Le document technique réglementaire «DTR B.C. 2.2 : Charges permanentes et charges d'exploitation» donne la règle qui recommande « d'appliquer une dégression de la charge d'exploitation lorsque le bâtiment étudié comporte plus de 5 niveaux et que l'occupation des différents niveaux peut être considérée comme indépendante ». Ce qui est le cas pour notre bâtiment.

La charge revenante à chaque niveau est évaluée comme suit :

- Sous la terrasse : Q_0
- Sous le 9^{ème} étage : $Q_0 + Q_1$
- Sous le 8^{ème} étage : $Q_0 + 0.95 (Q_1 + Q_2)$
- Sous le 7^{ème} étage : $Q_0 + 0.90 (Q_1 + Q_2 + Q_3)$
- Sous le 6^{ème} étage : $Q_0 + 0.85 (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)$
- Sous le 5^{ème} étage : $Q_0 + 0.85 (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5)$

Sous les étages inférieurs :

$$Q_0 + \frac{3+2}{2n} \sum_{i=1}^n Q_i$$

n : Numéro de l'étage à partir du sommet du bâtiment.

III.1 Introduction :

A travers de réalisation de notre projet on a vu que la procédure d'étudier une structure en béton armé que soit bâtiments, tours, est la même procédure, à partir de prédimensionnement jusqu'aux fondations.

Pour cela on va faire une étude comparative en établissant un programme qui nous aide à faire cette dernière, en se basant pour créer ce programme sur logiciel MATLAB qui est très connu dans le domaine de programmation et de calcul que soit mathématiques, physiques, électroniques. Le choix de MATLAB réside dans le fait qu'il nous permet la facilité de traiter un programme par ses commandes.

Ce programme respecte les règlements en vigueur tel que : le Règle Parasismique Algérienne (R.P.A 99 version 2003) et Règle de conception et de calcul des structures en béton armé (C.B.A93).

III.2 Programmation par MATLAB :

III.2.1. MATLAB :

Matlab est un logiciel de calcul numérique produit par MathWorks, qui représente un langage simple et très efficace, optimisé pour le traitement des matrices ainsi, pour le calcul numérique, Matlab est beaucoup plus concis que les "vieux" langages (C, Pascal, Fortran, Basic). Matlab contient également une interface graphique puissante, ainsi qu'une grande variété d'algorithmes scientifiques.

III.2.2. Particularité de MATLAB :

MATLAB permet le travail interactif soit en mode commande, soit en mode programmation ; tout en ayant toujours la possibilité de faire des visualisations graphiques. Considéré comme un des meilleurs langages de programmation (C ou Fortran), MATLAB possède les particularités suivantes par rapport à ces langages :

- la programmation facile,
- la continuité parmi les valeurs entières, réelles et complexes,
- la gamme étendue des nombres et leurs précisions,
- la bibliothèque mathématique très compréhensive,
- l'outil graphique qui inclut les fonctions d'interface graphique et les utilitaires,
- la possibilité de liaison avec les autres langages classiques de programmation.

Chapitre III : Etude comparative

III.2.3. Interface graphique :

Une interface graphique permet de contrôler une application interactivement avec la souris, plutôt que par lancement des commandes au clavier.

Une interface graphique comprend des menus, des boutons, des "ascenseurs", des cases à cocher, des listes de choix, des zones de texte.

Elle permet de "cliquer" directement sur des images, des graphiques ou des objets pour modifier la valeur d'une variable, déclencher des fonctions ou simplement faire apparaître des informations lors d'un survol à la souris.

Matlab permet d'écrire assez simplement une interface graphique pour faire une application interactive utilisable par des utilisateurs non formés à Matlab.

Les notions principales d'une interface graphique sont :

- les divers objets graphiques, auxquels sont attribués des noms symboliques ; ces "poignées de main" ou "handles" permettent de les repérer dans l'interface ; pour envisager par exemple une modification dynamique (grisé d'un bouton provisoirement non utilisable, changement du texte d'un bouton, modification d'une liste de choix...)
- les propriétés des objets (couleur, disposition, taille, variable associée)
- les fonctions exécutées par les clics souris sur les éléments ou "callbacks" (décrites en ligne de commande Matlab).

III.3. Programme du calcul :

Ce programme est fait pour dimensionner les poteaux qui sont soumis aux efforts normaux centrés, et les poteaux qui ont des efforts normaux plus grands aux moments, ce programme nous facilite les calculs, il contient tous les caractéristique lié au dimensionnement des poteaux, à partir de l'évaluation des charge, dégressions des charges, et la section minimale d'armature selon les règlements en vigueur RPA99 V2003 et CBA93, ainsi les vérifications liées aux ces règlements.

Ce programme nous permis de faire une étude comparative sur pas mal des structures en variant ses paramètres afin de tire une conclusion

Chapitre III : Etude comparative

Dimensionnement des poteaux

Dimensionnement des Poteaux

Carac de Béton,Acier

fc28 Mpa

% As/Br (RPA)

Caract de Poteau

Arrete

h b m

he hb m

Largeur revenant au Poteau m

Longueur revenant au Poteau m

Carac de Poutre

Principale

Base (b1) m

Hauteur (h1) m

Scodère

Base (b1) m

Hauteur (h1) m

Charge PERM de Plancher

Charge terrasse KN/m²

Charge étage courant KN/m²

Vérification CBA

Nu < N ultim

Vérification RPA

Poteau

Min (b,h) > cm

Min (b,h) > he/20 cm

1/4 < b/h < 4

Poutre

b1 >= 20 cm

h1 >= 30 cm

h/b <= 4

Calculer

	Q (KN/m ²)	Q cumulé (KN/m ²)	N q (KN)	G i (KN)	N g (KN)	Nu (KN)	1.15Nu (KN)	Br (cm ²)	As min RPA (cm ²)	As
Sous la terrasse	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 10ème étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 9ème étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 8ème étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 7ème étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 6ème étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 5ème étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 4ème étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 3ème étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 2ème étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 1ème étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le RDC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 1ér sous-sol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 2ème sous-sol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. III.1. Interface de programme de calcul.

III.3.1. Détails de programme :

III.3.1.1. Caractéristiques de béton et la zone sismique :

Carac de Béton,Acier

fc28 Mpa

% As/Br (RPA)

Fig. III.2. Caractéristiques de béton et l'acier.

Cette case contient les caractéristiques liées au béton, la résistance de béton à 28 jours f_{c28} qui doit être au moins entre 22MPa et 45 MPA selon (CBA93), et le poids volumique du béton est fixé à $25 \text{ KN}/\text{m}^3$.

Les caractéristiques de l'acier tel que le module d'élasticité de l'acier f_e pour les armatures longitudinales qui doit être inférieur ou égale 500 MPA .

Ainsi le paramètres $\frac{A_s}{B_r}$: le pourcentage de la section l'armature sur la section de béton qui dépend sur la zone sismique où se trouve la structure selon RPA.

III.3.1.2. Caractéristiques de Poteau :

The screenshot shows a form titled "Caract de Poteau". It contains several input fields for defining a column's characteristics:

- A section labeled "Arrete" with two input fields: "h" and "b", followed by the unit "m".
- Two input fields: "he" and "hb", followed by the unit "m".
- An input field labeled "Largeur revenant au Poteau" followed by the unit "m".
- An input field labeled "Longueur revenant au Poteau" followed by the unit "m".

Fig. III.3. Caractéristiques de poteau.

La case comprend les paramètres de poteau calculé de la structure tel que :

- la section de poteau b , et h ;
- la hauteur d'étage de la base et l'étage courant ;
- la surface de chargement reprise par le poteau étudié.

III.3.1.3. Caractéristiques des Poutres :

The screenshot shows a form titled "Carac de Poutre". It contains input fields for defining beam characteristics:

- A section labeled "Principale" with two input fields: "Base (b1)" and "Hauteur (h1)", followed by the unit "m".
- A section labeled "Scndère" with two input fields: "Base (b1)" and "Hauteur (h1)", followed by the unit "m".

Fig. III.4. Caractéristiques géométriques des poutres.

Elle contient les caractéristiques géométriques des poutres principales et celles des poutres secondaires telles que les hauteurs et les bases de ces dernières.

III.3.1.4. Les Charges Permanentes :

The screenshot shows a form titled "Charge PERM de Plancher". It contains two input fields for permanent loads:

- An input field labeled "Charge terrasse" followed by the unit "KN/m²".
- An input field labeled "Charge étage courant" followed by the unit "KN/m²".

Fig. III.5. Charge permanente due au plancher.

Chapitre III : Etude comparative

Elles sont les charges permanentes surfacique dues à la dalle à corps creux du plancher terrasse, et de l'étage courant en KN/m².

Elles sont évaluées manuellement et qui dépendent sur le cahier de charge donnés par le maitre d'ouvrage ou par le règlement DTR B.C 2.2.

III.2.1.5. Vérification de la charge ultime reprise par le poteau selon CBA93 :

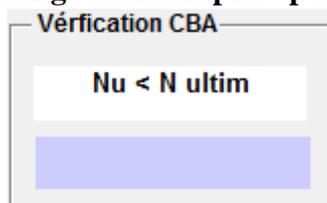


Fig. III.6. Vérification selon CBA93.

La charge reprise par le poteau de base de la structure doit vérifier la condition exigée par le règlement CBA93 :

$$N_{ult} \leq \alpha \left[\frac{B_r \cdot f_{c28}}{0.9 \cdot \gamma_b} + \frac{A_s \cdot f_e}{\gamma_s} \right]$$

Si cette condition n'est pas vérifiée, on doit redimensionner les caractéristiques de poteau et des poutres.

III.3.1.6. Vérification les caractéristiques géométriques des poteaux et des poutres :

Le diagramme est un rectangle gris intitulé "Vérification RPA". Il est divisé en deux colonnes. La colonne de gauche est intitulée "Poteau" et contient trois lignes de vérification, chacune avec un champ de saisie à droite : "Min (b,h) > [] cm", "Min (b,h) > he/20 cm", et "1/4 < b/h < 4". La colonne de droite est intitulée "Poutre" et contient trois lignes de vérification, chacune avec un champ de saisie à droite : "b1 >= 20 cm", "h1 >= 30 cm", et "h/b <= 4".

Fig. III.7. Vérification poteau, poutres selon RPA99.

Cette case va vérifier les caractéristiques géométriques de poteau et des poutres (la section de poteau, la hauteur et la base des poutres) qu'on introduit pour le dimensionnement selon le règlement RPA99 v2003.

Chapitre III : Etude comparative

III.3.1.8. Tableau de dégression de charge et chargement :

Tab.III.1. Tableau de chargement et de dégression de charge, section d'armature minimale.

	Q (KN/ml)	Q cumulé (KN/ml)	N q (KN)	G i (KN)	N g (KN)	Nu (KN)	1.15Nu (KN)	Br (cm ²)	As min RPA (cm ²)	As ma
Sous le 10 ^{ème} étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 9 ^{ème} étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 8 ^{ème} étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 7 ^{ème} étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 6 ^{ème} étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 5 ^{ème} étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 4 ^{ème} étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 3 ^{ème} étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 2 ^{ème} étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 1 ^{ère} étage	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le RDC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 1 ^{er} sous-sol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sous le 2 ^{ème} sous-sol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ce tableau contient les éléments suivants :

- 1^{er} colonne : les étages de la structure.
- 2^{ème} colonne : la charge d'exploitation prescrit au règlement DTR BC 2.2 aux différents niveaux en KN/m^2 .
- 3^{ème} colonne : les charges d'exploitations cumulées d'haut vers le bas de la structure en KN/m^2 .
- 4^{ème} colonne : la charge d'exploitation sous l'étage considérée en KN .
- 5^{ème} colonne : la charge permanente dans chaque étage en KN .
- 6^{ème} colonne : la charge permanente cumulées d'haut vers le bas de la structure en KN/m^2 .
- 7^{ème} colonne : la charge à l'état limite ultime pour chaque niveau de la structure.
- 8^{ème} colonne : Majoration de la charge à l'état limite ultime par 15% selon CBA.
- 9^{ème} colonne : la section de poteau déduite par la formule de BAEL91
- 10^{ème} colonne : la section minimale d'armature correspondre à la section réduite de poteau selon RPA99 V2003.
- 11^{ème} colonne : la section d'armature minimale donnée par la formule de BAEL

Chapitre III : Etude comparative

III.4. Application de programme sur les structures :

➤ Notre bâtiment 2SS+R+10 (PFE) :

- $f_{c28} = 25\text{MPa}$; $f_e = 400\text{MPa}$; $\rho_b = 25\text{KN/m}^3$
- Zone sismique (III)

Caractéristiques géométriques de poteau et l'étage :

Tab.III.2. Caractéristiques géométriques de poteau et l'étage.

Hauteur de base $h_b(m)$	Hauteur courant $h_e(m)$	section		Surface reprise par poteau	
		$b(m)$	$h(m)$	$L(m)$	$l(m)$
2.72	4.08	0.65	0.65	5.3	5.1

Caractéristiques géométriques des poutres :

Tab.III.3. Caractéristiques géométriques des poutres.

	hauteur (cm)	base(cm)
Poutre principale	45	35
Poutre secondaire	35	30

Charge permanente de l'étage :

Tab.III.4. Charge permanente de l'étage.

étage terrasse (KN/m^2)	étage courant (KN/m^2)
6.22	4.65

Charge d'exploitation :

Tab.III.5. Charge d'exploitation de l'étage.

étage terrasse (KN/m^2)	étage courant (KN/m^2)
1	2.5

Chapitre III : Etude comparative

Dimensionnement des poteaux

Carac de Béton,Acier

fc28 Mpa

% As/Br (RPA)

Caract de Poteau

Arrete

h b m

he hb m

Largeur revenant au Poteau m

Longueur revenant au Poteau m

Carac de Poutre

Principale

Base (b1) m

Hauteur (h1) m

Scodère

Base (b1) m

Hauteur (h1) m

Charge PERM de Plancher

Charge terrasse KN/m²

Charge étage courant KN/m²

Vérification CBA

Nu < N ultim

verifiée

Vérification RPA

Poteau

Min (b,h) > 30 cm

Min (b,h) > he/20 cm

1/4 < b/h < 4

Poutre

b1 >= 20 cm

h1 >= 30 cm

h/b <= 4

Calculer

	Q (KN/m ²)	Q cumulé (KN/m ²)	N q (KN)	G i (KN)	N g (KN)	Nu (KN)	1.15Nu (KN)	Br (cm ²)	As min RPA (cm ²)	As
Sous la terrasse	1	1	27.0300	197.3297	197.3297	306.9401	352.9811	230.1850	2.1077	-9.7198
Sous le 10 ^{ème} étage	2.5000	3.5000	94.6050	167.3876	364.7173	634.2759	729.4173	475.6653	4.3170	-20.0855
Sous le 9 ^{ème} étage	2.5000	5.7500	155.4225	167.3876	532.1050	951.4755	1.0942e+03	713.5442	6.4579	-30.1301
Sous le 8 ^{ème} étage	2.5000	7.7500	209.4825	167.3876	699.4926	1.2585e+03	1.4473e+03	943.8215	8.5304	-39.8538
Sous le 7 ^{ème} étage	2.5000	9.5000	256.7850	167.3876	866.8802	1.5555e+03	1.7888e+03	1.1665e+03	10.5345	-49.2566
Sous le 6 ^{ème} étage	2.5000	11	297.3300	171.2126	1.0381e+03	1.8474e+03	2.1245e+03	1.3854e+03	12.5050	-58.5018
Sous le 5 ^{ème} étage	2.5000	12.2500	331.1175	171.2126	1.2093e+03	2.1292e+03	2.4486e+03	1.5968e+03	14.4071	-67.4261
Sous le 4 ^{ème} étage	2.5000	13.5000	364.9050	171.2126	1.3805e+03	2.4111e+03	2.7727e+03	1.8081e+03	16.3092	-76.3504
Sous le 3 ^{ème} étage	2.5000	14.7500	398.6925	185.7476	1.5663e+03	2.7125e+03	3.1194e+03	2.0342e+03	18.3438	-85.8960
Sous le 2 ^{ème} étage	2.5000	16	432.4800	185.7476	1.7520e+03	3.0139e+03	3.4660e+03	2.2603e+03	20.3783	-95.4417
Sous le 1 ^{ème} étage	2.5000	17.2500	466.2675	185.7476	1.9378e+03	3.3154e+03	3.8127e+03	2.4863e+03	22.4128	-104.9873
Sous le RDC	2.5000	18.5000	500.0550	197.9876	2.1357e+03	3.6333e+03	4.1783e+03	2.7248e+03	24.5589	-115.0562
Sous le 1 ^{er} sous-sol	2.5000	19.7500	533.8425	197.9876	2.3337e+03	3.9513e+03	4.5440e+03	2.9632e+03	26.7050	-125.1251
Sous le 2 ^{ème} sous-sol	0	21	567.6300	197.9876	2.5317e+03	4.2693e+03	4.9097e+03	3.2017e+03	28.8511	-135.1940

Fig. III.8. Résultats correspond un bâtiment 2SS+R+10.

Chapitre III : Etude comparative

➤ Comparaison des résultats obtenus par le logiciel SAP 2000 :

On adopte le même ferrailage pour chaque deux à trois niveaux, on aura donc les zones suivantes :

- Zone 1 : 2ES → RDC
- Zone 2 : 1eme étage → 3eme étage.
- Zone 3 : 4eme étage → 6eme étage.
- Zone 4 : 7eme étage → 8eme étage.
- Zone 5 : 9eme étage → 10eme étage.

Tab.III.6. Sections des ferrailages.

Zone	Section (cm ²)	A _s (cm ²)	A _{sc} (cm ²)	A _{s RPA} (cm ²)	As min RPA Programme (cm ²)
Zone 1	65x65	10.40	0	38.02	28.85
Zone 2	55x55	8.80	0	27.23	22.44
Zone 3	45x45	7.20	0	18.23	16.30
Zone 4	40x40	6.40	0	14.40	12.50
Zone 5	35x35	5.60	0	11.03	8.5

➤ BÂTIMENT « 2 SOUS SOL, RDC + 9 ÉTAGES » DU FORME IRRÉGULIÈRE À USAGE MULTIPLE (Chikh Hanane 2011/2012) Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen

- $f_{c28} = 25\text{MPa}$; $f_e = 400\text{MPa}$; $\rho_b = 25\text{KN/m}^3$
- Zone sismique (I)

Caractéristiques géométriques de poteau et l'étage :

Tab.III.7. Caractéristiques géométriques de poteau et l'étage.

Hauteur de base h_b (m)	Hauteur courant h_e (m)	section		Surface reprise par poteau	
		b (m)	h (m)	L (m)	l (m)
3.06	3.40	0.55	0.55	5	4.275

Chapitre III : Etude comparative

Caractéristiques géométriques des poutres :

Tab.III.8. Caractéristiques géométriques des poutres.

	<i>hauteur (cm)</i>	<i>base(cm)</i>
<i>Poutre principale</i>	45	30
<i>Poutre secondaire</i>	40	30

Charge permanente de l'étage :

Tab.III.9. Charge permanente de l'étage.

<i>étage terrasse (KN/m²)</i>	<i>étage courant (KN/m²)</i>
6.73	5.6

Charge d'exploitation :

Tab.III.10. Charge d'exploitation de l'étage.

<i>étage terrasse (KN/m²)</i>	<i>étage courant (KN/m²)</i>			
	<i>E C</i>	<i>1er E</i>	<i>RDC</i>	<i>SS</i>
1	1.5	2.5	4	2.5

Chapitre III : Etude comparative

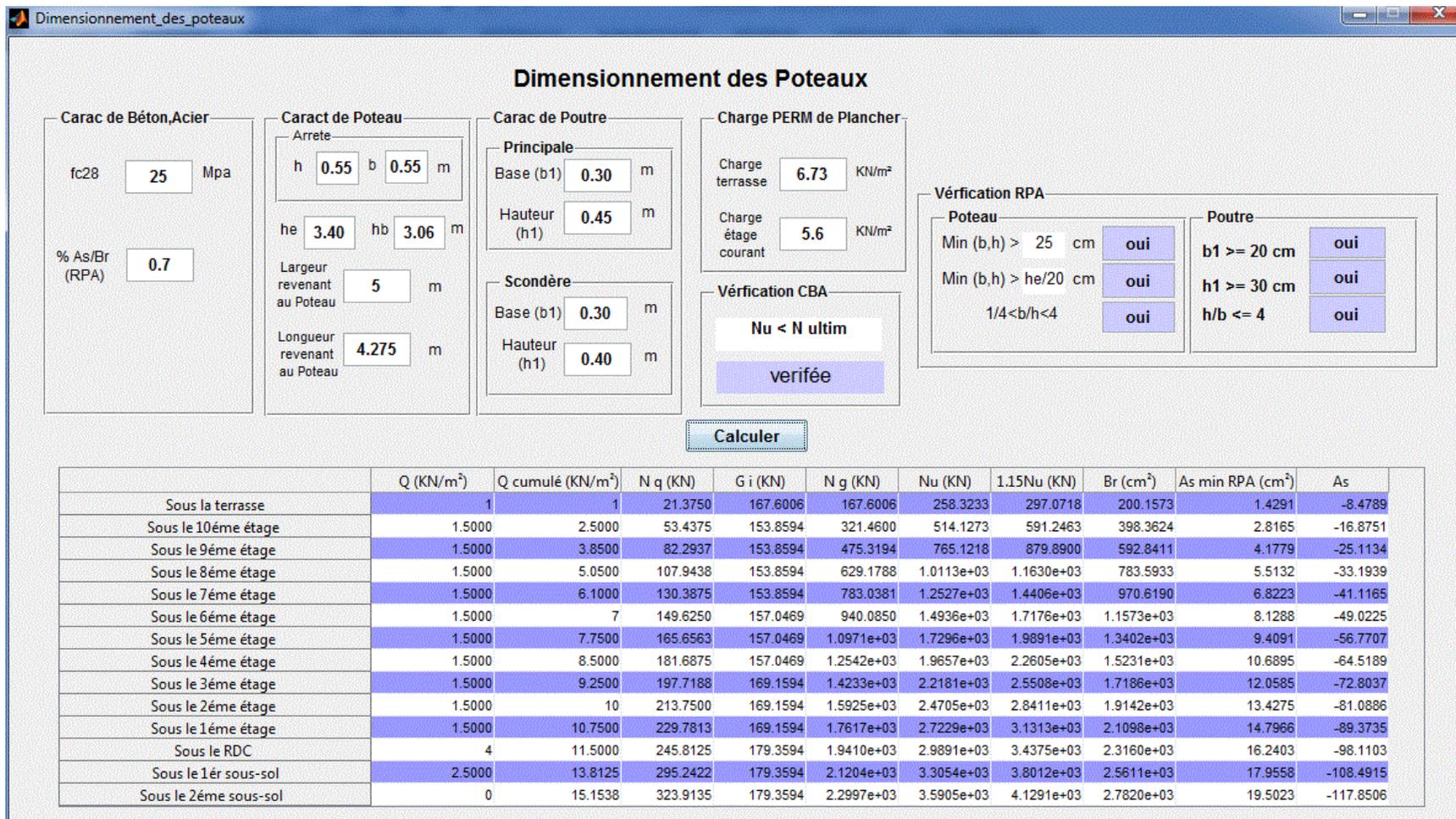


Fig. III.9. Résultats correspond un bâtiment 2SS+R+9.

Chapitre III : Etude comparative

➤ Comparaison Résultats obtenus par le logiciel SAP 2000 :

Le ferrailage sera calculé à l'aide de logiciel SAP2000 et on compare avec le minimum du RPA99 (Amin) et As min RPA Programme.

Tab.III.11. Ferrailage des poteaux As min RPA, AS min RPA Programme.

<i>Etage</i>	<i>Section</i>	<i>A min RPA</i> (<i>cm²</i>)	<i>Section du SAP</i> (<i>cm²</i>)	<i>As min RPA Programme</i> (<i>cm²</i>)
1SS	(55x55)	21.175	13.639	18.50
2SS	(55x55)	21.175	10.308	17.95
RDC	(50x50)	17.5	11.489	16.24
1^{er} étage	(50x50)	17.5	9.000	14.79
2^{eme} étage	(45x45)	14.175	7.908	13.42
3^{eme} étage	(45x45)	14.175	6.889	10.86
4^{eme} étage	(40x40)	11.20	5.870	9.40
5^{eme} étage	(40x40)	11.20	6.630	8.12
6^{eme} étage	(35x35)	8.575	7.620	10.68
7^{eme} étage	(35x35)	8.575	10.280	5.5
8^{eme} étage	(30x30)	6.30	11.100	4.17
9^{eme} étage	(30x30)	6.30	16.367	2.81
Buanderie	(30x30)	6.30	6.29	1.43

➤ ETUDE D'UNE TOUR R+9 AVEC SOUS-SOL (AZZI REDOUANE, ALEM NESRINE DALLEL, 2004/2005) « ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE »

- $f_{c28} = 25\text{MPa}$; $f_e = 400\text{MPa}$; $\rho_b = 25\text{KN/m}^3$
- Zone sismique (III)

Caractéristiques géométriques de poteau et l'étage :

Tab.III.12. Caractéristiques géométriques de poteau et l'étage.

<i>Hauteur de base</i> <i>h_b(m)</i>	<i>Hauteur courant</i> <i>h_e(m)</i>	<i>section</i>		<i>Surface reprise par poteau</i>	
		<i>b(m)</i>	<i>h(m)</i>	<i>L(m)</i>	<i>l(m)</i>
2	3	0.55	0.55	4.6	3.25

Chapitre III : Etude comparative

Caractéristiques géométriques des poutres :

Tab.III.13. Caractéristiques géométriques des poutres.

	<i>hauteur (cm)</i>	<i>base(cm)</i>
<i>Poutre principale</i>	45	30
<i>Poutre secondaire</i>	40	30

Charge permanente de l'étage :

Tab.III.14. Charge permanente de l'étage.

<i>étage terrasse (KN/m²)</i>	<i>étage courant (KN/m²)</i>
7	5.4

Charge d'exploitation :

Tab.III.15. Charge d'exploitation de l'étage.

<i>étage terrasse (KN/m²)</i>	<i>étage courant (KN/m²)</i>	
	<i>E C</i>	<i>RDC</i>
1	1.5	2.5

➤ **Résultats obtenus par le logiciel SAP 2000 :**

Le ferrailage sera calculé à l'aide de logiciel SAP2000 et on compare avec le minimum du RPA99 (Amin) et As min RPA Programme.

Tab.III.16. Ferrailage des poteaux As min RPA, AS min RPA Programme.

<i>Section de poteaux</i>	<i>55cmx55cm</i>	<i>50cmx50cm</i>	<i>45cmx45cm</i>	<i>40cmx40cm</i>
<i>Asc (cm²)</i>	0	0	0	0
<i>As(cm²)</i>	9.3	3.72	3.72	5.25
<i>Asmin RPA(cm²)</i>	37.68	24.12	24.12	18.46
<i>As programme RPA(cm²)</i>	16.95	12.98	8.22	6.00

Chapitre III : Etude comparative

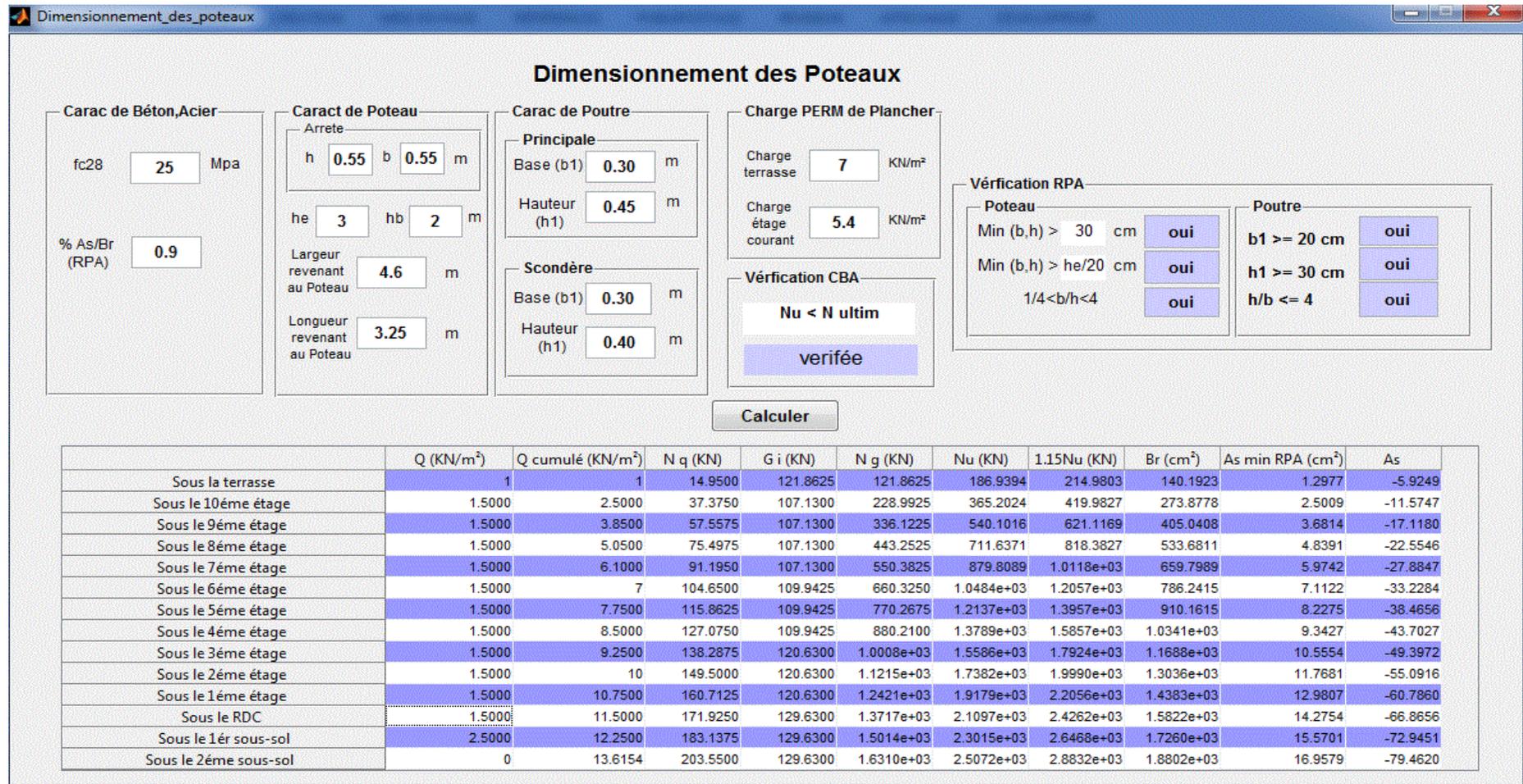


Fig. III.10. Résultats correspond un bâtiment 1SS+R+9.

Chapitre III : Etude comparative

III.4. Discussion des résultats :

D'après les différents résultats obtenus dans les tableaux, on a remarqué les s suivant :

- La section d'armature dans les poteaux A_s correspond la section donnée par la minimale donné par BAEL.
- La section d'armature dans les poteaux calculée A_s BAEL est moins grande que la section donnée par le règlement RPA99 V2003.
- La différence entre les sections d'armatures minimales obtenus par SAP2000 et le programme selon RPA revient que la section d'armature $A_{s\ RPA}$ déterminée par RPA est calculée directement à partir de la section réelle adoptée, et que la section calculée par le programme a été déterminée à partir de la section B_r réduite qui est moins grande que la section adopté.

Conclusion :

Cette étude comparative pour différentes structures, nous a permis de constater les éléments suivantes :

- L'étude comparative présente un outil efficace pour la détermination de l'influence de certains paramètres (hauteur d'étage, zone sismique) sur les niveaux de performance des structures.
- les poteaux sont ferrailés par la section minimale donnée par RPA99 V2003.
- Il y aura surdimensionnement de la section d'armatures donné par le RPA99 par rapport à la section donnée par BAEL
- La section d'armatures donnée par BAEL correspond la section minimale qu'il faut adopter lors que la section calculée est négative.

Annexe

Programme source de Programme de dimensionnement :

```
% Caractéristiques de Béton,Acier
fc28=str2num(get(handles.fc_28,'string'));
ro=25;
fe=400;
ASBr=str2num(get(handles.As_Br,'string'));

% Caractéristiques de potau
hpot=str2num(get(handles.h_pot,'string'));
bpot=str2num(get(handles.b_pot,'string'));
a=hpot*bpot;
hp=str2num(get(handles.hauteur,'string')); %#ok<*ST2NM>
hb=str2num(get(handles.h_b,'string'));
l=str2num(get(handles.larg_reve_pot,'string'));
L=str2num(get(handles.long_revn_potau,'string'));
% Caractéristiques de poutre principale
b1=str2num(get(handles.base_poutre,'string'));
hpr1=str2num(get(handles.H_poutre,'string'));
% Caractéristiques de poutre scandre
b2=str2num(get(handles.b_poutre,'string'));
hpr2=str2num(get(handles.h_poutre,'string'));
% charge permanente des plancher
G_t=str2num(get(handles.ch_terrasse,'string'));
G_ec=str2num(get(handles.ch_ecourant,'string'));
%%%%%%%%%%%%%%
f_bu=(0.85*fc28)/1.5 %#ok<*NOPRT>
ar=min(hpot,bpot);
lamd=(0.7*hp*sqrt(12))/ar;
Br=(hpot-0.02)*(bpot-0.02);
if lamd<=50
    bta=1+0.2*power(lamd/35,2);
elseif 50<=lamd<=70 %#ok<*CHAIN>
    bta=(0.85*power(lamd,2))/1500;
end

%% charge permanente%
Sr=l*L;
ppt1=(b1*hpr1*(L-hpot)*ro);
pst1=(b2*hpr2*(L-bpot)*ro);
Gt=(Sr*G_t);
G_tot1=ppt1+pst1+Gt;
ppt2=(b1*hpr1*(L-hpot)*ro);
pst2=(b2*hpr2*(L-bpot)*ro);
Gec=(Sr*G_ec);
G_tot2=ppt1+pst1+Gec;
```

```

%% table de charges
format compact
% Q cumulé
data=get(handles.uitable1,'data');
data(1,2)=data(1,1);
data(2,2)=data(1,1)+data(2,1);
data(3,2)=data(1,1)+0.95*(data(2,1)+data(3,1));
data(4,2)=data(1,1)+0.90*(data(2,1)+data(3,1)+data(4,1));
data(5,2)=data(1,1)+0.85*(data(2,1)+data(3,1)+data(4,1)+data(5,1));
data(6,2)=data(1,1)+0.80*(data(2,1)+data(3,1)+data(4,1)+data(5,1)+data(6,
1));

for i=6:13

data(i+1,2)=data(1,1)+((3+i)/(2*i))*((data(2,1)+data(3,1)+data(4,1)+data(
5,1)+sum(data(5:i,1))));
end
%% Nq
data(:,3)=data(:,2)*Sr;
data(1,4)=G_tot1;
data(2:5,4)=G_tot2+(0.35*0.35*hp*ro);
data(6:8,4)=G_tot2+(0.40*0.40*hp*ro);
data(9:11,4)=G_tot2+(0.55*0.55*hp*ro);
data(12:14,4)=G_tot2+(0.65*0.65*hp*ro);

data(:,5)=cumsum(data(:,4));
data(:,6)=1.35*data(:,5)+1.5*data(:,3);
data(:,7)=1.15*data(:,6);
A=10*(1.2)/((f_bu/0.9)+0.85*(fe*(ASBr/(100))/1.15));
data(:,8)=(A)*data(:,7);
data(:,9)=(ASBr/100)*(data(:,8)+4);

data(:,10)=(1/(0.85*fe))*(bta*data(:,6)-(data(:,8)*f_bu/0.9));
set(handles.uitable1,'data',data);

%% verification CBA

if lamd<=50

alpha=(0.85)/(1+0.2*power((lamd/35),2));

elseif (50<=lamd)&&(lamd<=70)

alpha=0.6/(power((50/lamd),2));
end

Nult=alpha*(((Br*fc28)/(0.9*1.5))+(0.001*Br*fe/1.15))*1000
i=0

```

```

for i=0:14
if data(1:i,7)<=Nult
    oui='vérifiée'
    set(handles.cba_verf,'string',oui);
else
    set(handles.cba_verf,'string','non');

end
end

%% verification RPA
%1verf
if ASBr==0.9
    set(handles.trs,'string','30');
    if (min(hpot,bpot)>=0.30)
        set(handles.min_b_h,'string','oui');
    else set(handles.min_b_h,'string','non');
    end
elseif (ASBr==0.7);
    set(handles.trs,'string','25');
    if (min(hpot,bpot)>=0.25);
        set(handles.min_b_h,'string','oui');
    else set(handles.min_b_h,'string','non');
    end
elseif (min(hpot,bpot)>=0.25);
    set(handles.trs,'string','25');
    if (min(hpot,bpot)>=0.25);
        set(handles.min_b_h,'string','oui');
    else set(handles.min_b_h,'string','non');
    end
else
    set(handles.min_b_h,'string','zone !!!');
end
%2verf
if (min(hpot,bpot)>=hp/20)
    set(handles.min_he,'string','oui');
else
    set(handles.min_he,'string','non');
end
%3verf
if (1/4<(b1/bpot<4))
    set(handles.mi_he_b,'string','oui');
else
    set(handles.mi_he_b,'string','non');
end
%%ver pot RPA
if min(b1,b2)>=0.2
    set(handles.b_11,'string','oui');
else

```

```
    set(handles.b_11,'string','non');  
end
```

```
if min(hpr1,hpr2)>=0.3  
    set(handles.h_11,'string','oui');  
else  
    set(handles.h_11,'string','non');  
end
```

```
if (hpr1/b1<=4 )&&(hpr2/b2<=4 )  
    set(handles.h_s_b,'string','oui');  
else  
    set(handles.h_s_b,'string','non');  
end
```

Références bibliographiques :

- [1] **C.B.A .93 (DTR B.C.2-41)** : règles de conception et de calcul des structure en béton arme (Centre national de recherche appliquée en Génie Parasismique), ALGER 1994.
- [2] **DTR B.C. 2.2** : Document technique réglementaire charges permanentes et charges d'exploitation, (Centre national de recherche appliquée en Génie Parasismique) ALGER Mai 1989.
- [3] **RPA99-2003** : Règles parasismique algériennes 1999 version 2003. (Centre national de recherche appliquée en Génie Parasismique), ALGER 2^{ème} trimestre 2004.
- [4] **Henry, Thonier** : Conception et calcul des structures de bâtiment tome 1-2-3-4. Presse des ponts et chaussées.1992.
- [5] **Mr. BOUTEMEUR** : Cours de Béton Armé 2^{ème} Année 2013/2014.
- [6] **Mr. M.ALLALI** : Cours analyse numérique 1^{ème} Année 2012/2013.
- [7] **Mm. A.CHIKH** : Cours de Bâtiment de 2^{ème} Année 2013/2014.
- [8] **Mm. N. BAUCHE** : Cours de Structures en béton, Constructions Parasismiques de 3^{ème} Année 2014/2015.
- [9] **A.KADDOUR, Z.ZADRI** : étude d'un bâtiment R+10+2SS à usage de bureaux, PFE. ENP. Juin 2015.
- [10] **Chikh Hanane** : BÂTIMENT« 2 SOUS SOL, RDC + 9 ÉTAGES » DU FORME IRRÉGULIÈRE À USAGE MULTIPLE.PFE. Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen. Juin 2012.
- [11] **R.AZZI, N ALEM** : Etude d'une tour R+9 avec sous-sol PFE. ENP. Juin 2005.

Logiciels

- **MATLAB**