

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen  
Faculté de la technologie  
Département : de Génie civil

جامعة أبو بكر بلقايد بتلمسان  
كلية التكنولوجيا  
قسم : الهندسة المدنية



Mémoire d'Obtention du Diplôme  
Du MASTER en Génie civil  
*Option : structure*

**Thème :**

**Etude Technico- Economique d'un bâtiment (R+12+2sous  
sols) à usage d'habitation contreventé entièrement par des  
Voiles.**

**Voiles**

**2012) à usage d'habitation contreventé entièrement par des**

Présenté en Juin 2018 par :

**Abdelmoumene Merieme**

**Belkadi Khouira**

Devant le Jury composé de :

✚ Melle HAMIMED.N.

**Président**

✚ Mr MEDJAHED.L.

**Examineur**

✚ Mr ZADJAOUI.A.

**Examineur**

✚ Mr BENAMAR.A.

**Encadreur**

✚ Mr GHENNANI.B.

**Encadreur**

✚ Mr BENYACOU.B.

**Encadreur**

**Année Universitaire : 2017-2018**

## *Dédicaces*

Je remercie Allah et grâce à lui que je vous arrivée à ce niveau.

Je dédie mon travail à mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

Comme je la dédie à mes chères sœurs : Djamila, Latifa, et Ma petite nièce Anfel, et mes frères, et je ne oublier pas ma chère sœur Nadia, que le Dieu ait pitié d'elle.

Même je dédie cette mémoire aussi à toute ma famille sans exception.

A tous mes amies : ma binôme Khouira et Nadjat, Salima, Hayate. Et toute la promotion de master 2 génie civil.

Enfin à tous ceux qui nous sont très chers.

*Abdelmoumene Merieme*

## *Dédicaces*

Je remercie Allah et grâce à lui que je vous arrivée à ce niveau.

Je dédie mon travail à mes très chers parents qui m'ont guidé durant les moments les plus pénibles de ce long chemin, ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie, et mon père qui a sacrifié toute sa vie afin de me voir devenir ce que je suis, merci mes parents.

Comme je la dédie à mes chères sœurs : Samia, Bedriya, Amina, Amel et mon frère Djawed.

Même je dédie cette mémoire aussi à toute ma famille sans exception.

A tous mes amies : ma binôme Merieme et Nadjat, Salima, Hayate. Et toute la promotion de master 2 génie civil.

Enfin à tous ceux qui nous sont très chers.

*Belkadi Khouira*

# *Remerciement*

Toute notre parfaite gratitude et remerciement à Allah le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté pour élaborer ce travail ; Ainsi nous remercions tous les enseignants qui ont contribués à notre formation durant tous les cycles.

Nous remercions vivement, notre promoteur Mr : **BENYAKOUB.A** de nous avoir pris en charges, et pour sa disponibilité, son aide et ses précieux conseils.

Nous remercions vivement, notre encadreur **Mr : BENAMAR .A** et Mr **GHENNANI.B** de nous avoir pris en charges, et pour leurs disponibilités, leurs aide et leurs précieux conseils.

Nous remercions le président ainsi que l'ensemble des examinateurs pour avoir accepté d'examiner ce travail et pour leurs participations au jury.

Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à tous les enseignants de département Génie Civil qui ont participé à notre formation durant tous les cycles.

Nous terminons par remercier les personnes qui ont contribués de près ou loin à la réalisation de ce mémoire.

## ***RESUME***

Ce projet présente une étude d'un bâtiment à usage d'habitation contreventé par des murs porteurs (les voiles) ; Il est constitué d'un rez de chaussée et de douze étages et deux sous-sols.

Ce bâtiment situe à TLEMCEN qui fait partie de la zone de faible sismicité, sa conception est faite conformément aux Règlement Parasismique Algérien (RPA99 version 2003) et les codes du béton armé (BAEL 91 modifié99).

Le but de cette l'étude est la modélisation de la structure avec un logiciel de calcul aux éléments finis, SAP2000, afin d'effectuer l'analyse modale et le calcul sismique, mais aussi l'analyse économique relative à ce bâtiment.

Ce mémoire est constitué de 8 chapitres :

- ❖ **Le Premier chapitre** consiste à faire une généralité sur les voiles ou les murs porteurs
- ❖ **Le deuxième chapitre** consiste à la présentation complète de bâtiment, la définition des différents éléments et le choix des matériaux à utiliser.
- ❖ **Le 3ème chapitre** présente le predimensionnement des éléments structuraux (tel que les voiles, les dalles plein) et à calculer les différentes charges auxquelles la structure est soumise
- ❖ **Le 4ème chapitre** présente le calcul des éléments non structuraux (l'acrotère, les escaliers et l'ascenseur).
- ❖ **Le 5ème chapitre** portera sur l'étude dynamique du bâtiment, la détermination de l'action sismique et les caractéristiques dynamiques propres de la structure lors de ses vibrations. L'étude du bâtiment sera faite par l'analyse du modèle de la structure en 3D à l'aide du logiciel de calcul SAP 2000.
- ❖ **Le 6ème chapitre** concerne Le calcul des ferrailages des éléments structuraux, fondé sur les résultats du logiciel SAP2000 est présenté dans le 5ème chapitre.
- ❖ **Le 7ème chapitre** présente l'étude de l'infrastructure(les fondations).
- ❖ **Pour le dernier chapitre** l'étude économique suivie par une conclusion générale.

**Mot clés :** bâtiment, murs voiles, béton armé, RPA99 version 2003, BAEL91 modifié99.

## ***ABSTRACT :***

This project presents a study of a habitation structure braced by load-bearing walls (sails); it consists of a ground floor and twelve floors and two basements.

This building located at TLEMCEN, which is part of the low seismicity zone, is designed in accordance with the Algerian Parasism Regulations (RPA99 version 2003) and the reinforced concrete codes (BAEL 91 modifies99).

The purpose of this study is the modeling of the structure with a finite element calculation software, SAP2000, to perform the modal analysis and the seismic calculation, but also the economic analysis relating to this building.

This memoir consists of 8 chapters:

- ❖ The first chapter is to make a generality on the sails or the load-bearing walls
- ❖ The second chapter consists of the complete building presentation, the definition of the different elements and the choice of materials to use.
- ❖ The 3th chapter presents the Predimensioning of the structural elements (such as sails, solid slabs) and to calculate the different loads to which the structure is subjected
- ❖ The 4th chapter presents the calculation of the non-structural elements (the acroterium, the stairs and the elevator).
- ❖ The 5th chapter will deal with the dynamic study of the building, the determination of the seismic action and the specific dynamic characteristics of the structure during its vibrations. The building study will be done by analyzing the 3D structure model using the SAP 2000 calculation software.
- ❖ The 6th chapter concerns the calculation of structural reinforcement steel, based on the results of SAP2000 software is presented in the 5th chapter.
- ❖ The 7th chapter presents the study of infrastructure (foundations).
- ❖ For the last chapter we present the economic study followed by a general conclusion.

**Key words:** building, walls sails, reinforced concrete, RPA99 version 2003, BAEL91 modifies99.

## المخلص:

يقدم هذا المشروع دراسة لمبنى سكني تتوسطه جدران حاملة؛ يتكون من طابق أرضي واثنى عشر طابقاً وطابقين أرضيين.

هذه البناية تقع في ولاية تلمسان المصنفة ذات نشاط زلزالي ضعيف تم التصميم وفقاً لقوانين ومعايير البناء المطبقة في الجزائر RPA اصدار 2003 و BAEI 91 اصدار 99.

الغرض من هذه الدراسة هو نمذجة البنية باستخدام برنامج حساب العناصر المحدودة، SAP2000 لإجراء التحليل النموذجي والحساب الزلزالي، وأيضاً التحليل الاقتصادي المتعلق بهذا المبنى هذه المذكرات تتكون من 8 اجزاء:

- الجزء الأول هو عبارة عن عموميات حول على الجدران المسلحة.
- يتكون الجزء الثاني من وصف كامل للمبنى، وتعريف العناصر المختلفة واختيار المواد المستخدمة.
- يقدم الجزء الثالث تقدير العناصر الهيكلية (مثل الجدران المسلحة والبلاطات الصلبة) لحساب الأحمال المختلفة التي يتعرض لها المبنى.
- يقدم الجزء الرابع حساب العناصر الثانوية.
- سيتناول الجزء الخامس الدراسة الديناميكية للمبنى، وتحديد العمل الزلزالي والخصائص الديناميكية المحددة للهيكल أثناء اهتزازاته. سيتم إجراء دراسة البناء عن طريق تحليل نموذج البنية الثلاثية الأبعاد للحساب باستخدام برنامج SAP2000.
- الفصل السادس يتعلق بحساب تسليح العناصر الأساسية للمبنى بناءً على نتائج برنامج SAP2000 المقدم في الفصل الخامس.
- يقدم الفصل السابع دراسة البنية التحتية (الأساسات).
- بالنسبة للفصل الأخير نقدم الدراسة الاقتصادية متنوعة بخاتمة عامة.

**الكلمات المفتاحية:** بناية، الجدران المسلحة، الخرسانة المسلحة، RPA اصدار 2003، BAEI 91.

## Sommaire :

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Introduction générale</b>                                                              | <b>1</b>  |
| <b>Chapitre I : Généralité sur les voiles</b>                                             | <b>2</b>  |
| I.1-Définition des voiles                                                                 | 3         |
| I.2-Classification des types des voiles                                                   | 4         |
| I.3-Classification des structures avec voiles                                             | 5         |
| I.4-Le Rôles des voiles                                                                   | 6         |
| I.5-TYPE DE VOILES                                                                        | 7         |
| I.6-les principales caractéristiques du comportement des voiles                           | 7         |
| I.7-Mode de fonctionnement des murs voile                                                 | 7         |
| <b>Chapitre II : Présentation du projet et caractéristiques des matériaux</b>             | <b>10</b> |
| I.1. Introduction                                                                         | 11        |
| I.2 Présentation de l'ouvrage                                                             | 11        |
| I.2. Situation de l'ouvrage                                                               | 11        |
| I.3 Caractéristiques de la structure                                                      | 11        |
| I.4. Conception de la structure                                                           | 11        |
| <b>I.5. Caractéristiques mécaniques des matériaux</b>                                     | <b>12</b> |
| I.5.1. Introduction                                                                       | 12        |
| I.5.2 Définition                                                                          | 12        |
| I.5.3. Le Béton                                                                           | 13        |
| 1.5.4. ACIERS                                                                             | 15        |
| <b>Chapitre III : Predimensionnement des éléments structuraux et Descente Des Charges</b> | <b>17</b> |
| III.2- PREDIMENSIONNEMENT DES ELEMENTS STRUCTURAUX                                        | 18        |
| III-2-1.Introduction                                                                      | 18        |
| III-2-2.Predimensionnement des éléments                                                   | 18        |
| 1-plancher dalle pleine                                                                   | 18        |
| 2-les voiles                                                                              | 19        |
| III-1-EVALUATION DES DESCENTES DE CHARGE                                                  | 19        |
| III-1-1.Introduction                                                                      | 19        |
| III-1-Plancher terrasse inaccessible                                                      | 20        |
| III-1-2.Plancher terrasse accessible                                                      | 20        |
| III-1-3.Plancher étage courant et RDC                                                     | 20        |
| III-1-4. Plancher des sous-sols                                                           | 20        |
| III-1-5. Murs extérieures                                                                 | 20        |
| III-1-6-Balcons                                                                           | 21        |
| <b>Chapitre IV : Etude des éléments secondaires</b>                                       | <b>23</b> |
| <b>IV.1-Introduction</b>                                                                  | <b>24</b> |
| <b>IV.2.Etude de balcon</b>                                                               | <b>24</b> |
| 1-Introduction                                                                            | 23        |



|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| 2-Evaluation et combinaisons des charges        | 24 |
| 3-Calcul de M et T                              | 24 |
| 4-Détermination du ferrailage                   | 25 |
| <b>IV.3- Étude de l'escalier</b>                | 27 |
| 1-Introduction                                  | 28 |
| 2-Terminologie                                  | 28 |
| 3-Dimensions des escaliers                      | 29 |
| a)Escalier droite à trois (3) volées            | 29 |
| *Le nombre de contre marche                     | 29 |
| *Le nombre des marches (n-1)                    | 29 |
| *La longueur de la ligne de foulés              | 29 |
| * Les différents types des escaliers            | 30 |
| *calcul des différents angles d'inclinaison     | 30 |
| *calcul des épaisseurs                          | 31 |
| *Descente des charges des escaliers             | 31 |
| *Détermination du ferrailage                    | 34 |
| *Vérification au cisaillement                   | 36 |
| b) Escalier balancé                             | 36 |
| *Dimension d'escalier                           | 36 |
| *Descente des charges des escaliers             | 37 |
| *Détermination des efforts internes             | 38 |
| *Détermination du ferrailage                    | 38 |
| *Vérification au cisaillement                   | 40 |
| <b>IV.4. Étude de L'acrotère</b>                | 41 |
| 1-Introduction                                  | 41 |
| 2-Evaluation des charges et Surcharges          | 41 |
| 3-Calcul de ferrailage                          | 43 |
| <b>IV.5. Étude des dalles pleines</b>           | 46 |
| 1-Introduction                                  | 46 |
| 2-Calcul du Planchers d'étages et RDC           | 46 |
| 3-calcul du Plancher sous-sol 1                 | 49 |
| 4-calcul du Plancher terrasse accessible        | 50 |
| 5-calcul du Plancher terrasse inaccessible      | 51 |
| <b>IV.6. Étude de la dalle machine</b>          | 52 |
| 1-Introduction                                  | 52 |
| 2-Le Pré dimensionnement                        | 52 |
| 3-determination de charge et surcharge          | 52 |
| 4-ferrailage de la dalle                        | 53 |
| 5-Vérification à l'ELS                          | 54 |
| 6-Vérification de la condition de non fragilité | 56 |

|                                                               |           |
|---------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Chapitre V : Etude dynamique de la structure</b>           | <b>58</b> |
| V.1.Introduction                                              | 59        |
| V.2.Objectif de l'étude dynamique                             | 59        |
| V.3.Modélisation de la structure étudiée                      | 59        |
| V.4.Méthodes de calculs                                       | 60        |
| V.5.Combinaison d'action                                      | 60        |
| V.6.choix de la méthode de calcul                             | 61        |
| V.7.Méthode statique équivalente                              | 61        |
| 1-Détermination des coefficients                              | 61        |
| 2-Poids de la structure                                       | 63        |
| 3-Calcul des forces sismiques de chaque niveau                | 63        |
| V.8.Méthode d'analyse spectrale modale                        | 64        |
| 1-Spectre de réponse                                          | 64        |
| 2- Nombre des modes à considérer                              | 65        |
| 3-Analyse des modèles                                         | 65        |
| *Les déformées modales obtenues après analyser par le SAP2000 | 66        |
| V.9. Vérifications réglementaires                             | 68        |
| 1-Période fondamentale théorique RPA Art 4.2.4                | 68        |
| 2- Résultante des forces sismiques de calcul                  | 68        |
| 3-Vérification au renversement                                | 68        |
| 4- Vérification des déplacements                              | 70        |
| 5-Vérification de l'effet P-Delta                             | 71        |
| <b>Chapitre VI : Ferrailage des voiles.</b>                   | <b>73</b> |
| VI.1.Introduction                                             | 74        |
| VI.2.Voiles pleins                                            | 74        |
| 1) Aciers verticaux                                           | 74        |
| 2) Aciers horizontaux                                         | 74        |
| 3) Règles communes                                            | 74        |
| 4) Combinaisons de calcul                                     | 75        |
| VI.3. Ferrailage des voiles                                   | 75        |
| 1) Disposition du voile                                       | 75        |
| 2) Etude de la section soumise à la flexion composée          | 76        |
| *Exemple de calcul                                            | 77        |
| *Calcul du ferrailage vertical                                | 78        |
| *Calcul de ferrailage horizontal                              | 80        |
| *Vérification des contraintes de cisaillement                 | 81        |
| * Espacement des armatures transversales                      | 81        |
| * Calcul des armatures transversales                          | 81        |
| VI.3. Poutre noyées                                           | 84        |
| VI.3.1.Definition                                             | 84        |
| VI.3.2.Ferrailage                                             | 84        |
| 1-Ferrailage longitudinale                                    | 84        |

|                                                  |     |
|--------------------------------------------------|-----|
| *Ventilation des moments                         | 84  |
| *Condition de non fragilité                      | 84  |
| *Armature minimal                                | 84  |
| 2-Ferraillage transversal                        | 85  |
| <b>Chapitre VII : Etude De L'infrastructure</b>  | 86  |
| VII.1. INTRODUCTION                              | 87  |
| VII.2. ETUDE GEOTECHNIQUE                        | 87  |
| *Le choix de type de fondation                   | 88  |
| <b>VII.3. ETUDE DU RADIER GENERAL</b>            | 88  |
| *Predimensionnement                              | 88  |
| 1-Dalle                                          | 88  |
| 2-Nervure                                        | 88  |
| 3-Débordement (D)                                | 88  |
| *Vérification de la contrainte du sol            | 88  |
| * Les différentes sollicitations                 | 89  |
| *Calcul du ferraillage                           | 90  |
| *Vérification à l'ELS                            | 91  |
| *Ferraillage de la nervure                       | 94  |
| 1. Ferraillage longitudinal                      | 94  |
| 2. Ferraillage transversal                       | 95  |
| <b>VII.4. CALCUL DES ELEMENTS DE SOUTÈNEMENT</b> | 96  |
| 1- Introduction                                  | 96  |
| 2- Dimensionnement du voile                      | 96  |
| 3- Détermination des sollicitations              | 96  |
| 4-Calcul du ferraillage des voiles périphérique  | 97  |
| a-calcul du moment                               | 97  |
| b- Calcul du ferraillage                         | 98  |
| c- Condition de non fragilité                    | 98  |
| 5-vérification de la contrainte du cisaillement  | 98  |
| 6-Vérification à l'ELS                           | 99  |
| <b>Chapitre VIII : Etude Economique.</b>         | 101 |
| VIII.1. Introduction                             | 102 |
| VIII.2.C'est quoi un projet                      | 102 |
| VIII .3. Le management de projet                 | 103 |
| VIII.4. Objectifs à atteindre                    | 104 |
| VIII.5.Le découpage du projet                    | 104 |
| VIII.6.Identification des ressources             | 106 |
| VIII.7.Etude économique                          | 108 |
| VIII.8. Courbe financière                        | 111 |
| VIII.9. Diagramme de GANTT                       | 111 |
| VIII.10. Conclusion                              | 112 |
| <b>Conclusion Générale</b>                       | 113 |
| <b>Références bibliographiques</b>               | 114 |
| <b>Annexes</b>                                   | 115 |

## Liste des figures :

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figure 1 : Coupe</b> de voile en élévation                                            | 4   |
| <b>Figure 2 :</b> Coupes de voiles en plan                                               | 4   |
| <b>Figure 3 :</b> structures << mixtes>> avec des murs porteurs associés à des portiques | 5   |
| <b>Figure 4 :</b> structures à noyau central                                             | 6   |
| <b>Figure 5 :</b> structures uniquement à murs porteurs                                  | 6   |
| <b>Figure 6 :</b> Modes de rupture des voiles élancés                                    | 7   |
| <b>Figure 7 :</b> Modes de rupture des voiles courts                                     | 8   |
| <b>Figure 8 :</b> Diagramme contrainte de compression à l'ELU                            | 14  |
| <b>Figure 9 :</b> Diagramme des Contraintes de Déformations du béton a ELS               | 15  |
| <b>Figure 10 :</b> diagramme contrainte-déformation d'acier                              | 16  |
| <b>Figure 11 :</b> Coupe transversale du mur extérieur                                   | 21  |
| <b>Figure 12 :</b> Ferraillage du balcon (pour 1ml)                                      | 27  |
| <b>Figure 13 :</b> un escalier droit                                                     | 28  |
| <b>Figure 14 :</b> un escalier balancé                                                   | 28  |
| <b>Figure 15 :</b> Schéma d'un escalier                                                  | 29  |
| <b>Figure 16 :</b> diagramme des moments et l'effort tranchant à ELU                     | 34  |
| <b>Figure 17 :</b> Détails et modélisation de l'acrotère                                 | 41  |
| <b>Figure 18 :</b> Schéma de ferraillage de l'acrotère                                   | 45  |
| <b>Figure 19 :</b> ferraillage de la dalle machin dans le sens X-X                       | 57  |
| <b>Figure 20 :</b> ferraillage de la dalle machin dans le sens Y-Y                       | 57  |
| <b>Figure 21 :</b> modélisation de la structure par le SAP2000                           | 60  |
| <b>Figure 22 :</b> La courbe de spectre de réponse                                       | 64  |
| <b>Figure 23 :</b> La première disposition des voiles                                    | 66  |
| <b>Figure 24 :</b> mode 1 – translation suivant x $T=1,0965$ s                           | 66  |
| <b>Figure 25 :</b> mode 2 – translation suivant y $T=1,0392$ s                           | 67  |
| <b>Figure 26 :</b> mode 3 – torsion $T=0,6461$ s                                         | 67  |
| <b>Figure 27 :</b> ferraillage de poutres noyées                                         | 85  |
| <b>Figure 28 :</b> Déplacement maximal suivant $U_z$ (ELS)                               | 89  |
| <b>Figure 29 :</b> moment $M_{22}$ « ELU »                                               | 90  |
| <b>Figure 30 :</b> moment $M_{11}$ « ELU »                                               | 90  |
| <b>Figure 31 :</b> Dimension de la nervure                                               | 94  |
| <b>Figure 32 :</b> Schéma d'un mur périphérique                                          | 96  |
| <b>Figure 33 :</b> Objectif principal d'un projet                                        | 102 |
| <b>Figure 34 :</b> Cycle de vie d'un projet                                              | 103 |
| <b>Figure 35 :</b> Les différents acteurs de projet de bâtiment                          | 103 |
| <b>Figure 36 :</b> Vue en plan de la fouille                                             | 108 |
| <b>Figure 37 :</b> La courbe financière (courbe en S) d'un bâtiment R+12+2SS             | 111 |

## Liste des tableaux :

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1 :</b> Descente des charges du plancher terrasse inaccessible                   | 19 |
| <b>Tableau 2 :</b> Descente des charges du plancher terrasse accessible                     | 19 |
| <b>Tableau 3 :</b> Descente des charges du plancher étage courant et RDC                    | 19 |
| <b>Tableau 4 :</b> Descente des charges du plancher des sous-sols                           | 20 |
| <b>Tableau 5 :</b> Descente des charges des murs extérieures                                | 20 |
| <b>Tableau 6 :</b> Descente des charges des murs intérieures                                | 21 |
| <b>Tableau 7 :</b> Descente des charges des Balcons                                         | 21 |
| <b>Tableau 8 :</b> description d'escalier                                                   | 29 |
| <b>Tableau 9 :</b> Descente des charges de Palier                                           | 30 |
| <b>Tableau 10 :</b> Descente des charges de Paillasse                                       | 31 |
| <b>Tableau 11 :</b> La charge permanente des différentes volées                             | 31 |
| <b>Tableau 12 :</b> les efforts internes pour les différentes volées                        | 33 |
| <b>Tableau 13 :</b> ferraillage d'escalier                                                  | 34 |
| <b>Tableau 14 :</b> description d'escalier balancé                                          | 36 |
| <b>Tableau 15 :</b> Descente des charges de Paillasse                                       | 36 |
| <b>Tableau 16 :</b> La charge permanente des différentes volées                             | 36 |
| <b>Tableau 17 :</b> ferraillage d'escalier                                                  | 38 |
| <b>Tableau 18 :</b> Récapitulation des moments totaux appliqués sur la dalle d'étages       | 42 |
| <b>Tableau 19 :</b> Synthèse du calcul des aciers pour plancher du 1ere sous-sol            | 49 |
| <b>Tableau 20 :</b> Synthèse du calcul des aciers pour plancher de la terrasse accessible   | 49 |
| <b>Tableau 21 :</b> Synthèse du calcul des aciers pour plancher de la terrasse inaccessible | 50 |
| <b>Tableau 22 :</b> Tableau récapitulatif des résultats de ferraillage en travée (sens Lx)  | 52 |
| <b>Tableau 23 :</b> Tableau récapitulatif des résultats de ferraillage en travée (sens Ly)  | 53 |
| <b>Tableau 24 :</b> Tableau récapitulatif des résultats de ferraillage en appuis (sens Lx)  | 53 |
| <b>Tableau 25 :</b> Vérification des contraintes de la dalle machine                        | 54 |
| <b>Tableau 26 :</b> la pénalité en fonction de critère de qualité                           | 61 |
| <b>Tableau 27 :</b> la masse de la structure                                                | 62 |
| <b>Tableau 28 :</b> l'effort tranchant et Les forces sismiques de chaque niveau             | 63 |
| <b>Tableau 29 :</b> Participation des masses modales effectives                             | 64 |
| <b>Tableau 30 :</b> Les réactions à la base obtenue par SAP2000                             | 67 |
| <b>Tableau 31 :</b> Comparaison entre l'effort statique et dynamique                        | 67 |
| <b>Tableau 32 :</b> Vérification au renversement(x-x)                                       | 68 |

|                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tableau 33 : Vérification au renversement (y-y)</b>                  | 68  |
| <b>Tableau 34 : Vérification des déplacements</b>                       | 69  |
| <b>Tableau 35 : Vérification de l'effet P-<math>\Delta</math> (x-x)</b> | 66  |
| <b>Tableau 36 : Vérification de l'effet P-<math>\Delta</math> (y-y)</b> | 67  |
| <b>Tableau 37 : résultats de ferrailage vertical des voiles</b>         | 78  |
| <b>Tableau 38 : Les contraintes de cisaillement</b>                     | 80  |
| <b>Tableau 39 : résultats de ferrailage transversal des voiles</b>      | 81  |
| <b>Tableau 40 : résultats de ferrailage des voiles</b>                  | 82  |
| <b>Tableau 41 : Résumé des résultats de ferrailages de radier</b>       | 92  |
| <b>Tableau 42 : ferrailage longitudinale des nervures sens x-x</b>      | 93  |
| <b>Tableau 43 : ferrailage longitudinale des nervures sens y-y</b>      | 93  |
| <b>Tableau 44 : Tableau récapitulatif des résultats de ferrailage</b>   | 97  |
| <b>Tableau 45 : Ferrailage des voiles périphérique</b>                  | 97  |
| <b>Tableau 46 : Vérification des contraintes</b>                        | 99  |
| <b>Tableau 47 : Le WBS du projet</b>                                    | 104 |
| <b>Tableau 48 : Matériaux du projet</b>                                 | 107 |
| <b>Tableau 49 : Devis quantitatif du bâtiment R+2SS+12etages</b>        | 109 |

## NOTATIONS

$G$  : Action permanente  
 $Q$  : Action d'exploitation  
 $E_x$  : Charge dynamique spectral suivant x  
 $E_y$  : Charge dynamique spectral suivant y  
 $S_x$  : Charge dynamique temporelle suivant x  
 $S_y$  : Charge dynamique temporelle suivant y  
 $\bar{\sigma}_{bc}$  : Contrainte admissible du béton  
 $\bar{\tau}_u$  : Contrainte ultime de cisaillement  
 $\sigma_{bc}$  : Contrainte du béton  
 $\sigma_u$  : Contrainte de cisaillement  
 $f_{bc}$  : Contrainte de calcul  
 $f_{cj}$  : Résistance à la compression  
 $f_{tj}$  : Résistance à la traction  
 $f_{c28}$  : Résistance caractéristique a 28 jours  
 $\gamma_b$  : Coefficient de sécurité béton  
 $\theta$  : Coefficient d'application  
 $\eta$  : Facteur de correction d'amortissement  
 $I_x, I_y$  : Moment d'inertie  
 $Br$  : Section réduite  
 $M$  : Moment fléchissant  
 $T$  : Effort tranchant  
 $N$  : Effort normal  
 $A$  : Coefficient d'accélération de zone  
 $D$  : Facteur d'amplification dynamique  
 $R$  : Coefficient de comportement global de la structure  
 $Q$  : Facteur de qualité  
 $W$  : Poids total de la structure  
 $V$  : Force sismique total  
 $W_i$  : Poids sismique au niveau « i »  
 $CT$  : Coefficient de période  
 $\beta$  : Coefficient de pondération  
 $C$  : Coefficient d'amortissement  
 $A_n$  : Est l'amplitude.  
 $G(\omega)$  : la contribution de la puissance totale  
 $K$  : coefficient de raideur de sol.





## INTRODUCTION GENERALE

Le Génie civil représente l'ensemble des techniques concernant les constructions civiles.

Les ingénieurs civils s'occupent de la conception, la réalisation, l'exploitation et de 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 du public et la protection de l'environnement.

Dans le cadre de ce projet, nous avons procédé au calcul d'un bâtiment implanté dans une zone de faible sismicité (**Zone I**), comportant un RDC, douze étages et deux sous-sol dont le système de contreventement constitue uniquement par des murs porteurs (les voiles) en béton armé.

Le présent projet de fin d'étude a pour but d'étudier et modéliser la structure avec un logiciel de calcul aux éléments finis, SAP2000, afin d'effectuer l'analyse modale et le calcul sismique, mais aussi l'analyse économique relative à ce bâtiment.

Ce mémoire est constitué de 8 chapitres :

- ❖ **Le Premier chapitre** consiste à faire une généralité sur les voiles ou les murs porteurs
- ❖ **Le deuxième chapitre** consiste à la présentation complète de bâtiment, la définition des différents éléments et le choix des matériaux à utiliser.
- ❖ **Le 3ème chapitre** présente le Prédimensionnement des éléments structuraux (tel que les voiles, les dalles plein) et à calculer les différentes charges auxquelles la structure est soumise
- ❖ **Le 4ème chapitre** présente le calcul des éléments non structuraux (l'acrotère, les escaliers et l'ascenseur).
- ❖ **Le 5ème chapitre** portera sur l'étude dynamique du bâtiment, la détermination de l'action sismique et les caractéristiques dynamiques propres de la structure lors de ses vibrations. L'étude du bâtiment sera faite par l'analyse du modèle de la structure en 3D à l'aide du logiciel de calcul SAP 2000.
- ❖ **Le 6ème chapitre** concerne Le calcul des ferraillages des éléments structuraux, fondé sur les résultats du logiciel SAP2000 est présenté dans le 5ème chapitre.
- ❖ **Le 7ème chapitre** présente l'étude de l'infrastructure(les fondations).
- ❖ **Pour le dernier chapitre** présent l'étude économique suivie par une conclusion générale.

# **Chapitre I :**

## **Généralité sur les voiles**

### I.1-Introduction :

Beaucoup d'immeubles privés ou de bureaux dans le monde sont construits en utilisant des voiles comme éléments principaux de résistance. Structures des murs en cisaillement (voile) ont été pratiquées depuis 1960 pour les immeubles moyennes et grandes hauteurs et pour les ouvrages spéciaux (les ouvrages nucléaires) dans de nombreux pays qui sont exposés au risque sismique.

Dans ce chapitre, nous aborderons sur le comportement des murs voile et son rôles et les déférentes modes de rupture.

### I.2-Définition des voiles :

Les voiles ou murs de contreventement, est un élément de structure dont l'épaisseur a une dimension largement inférieure aux deux autres, les quelles se trouvent sur même plan. [1]

#### + Géométrie et rigidité :

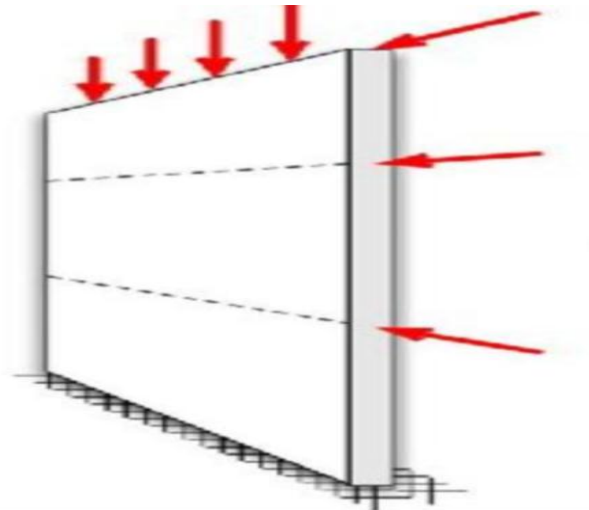
Des éléments verticaux à deux dimensions dont la raideur hors plan est négligeable. [1]

#### + Résistance et sollicitation :

- 1 .Dans leur plan : présentent généralement une grande résistance est une grande rigidité vis-à-vis des force horizontales.
- 2 .Dans la direction perpendiculaire à leur plan : offrent peu de résistance vis-à-vis des forces horizontales et ils doivent être contreventés par d'autres murs ou par des portiques.

#### + Matériau :

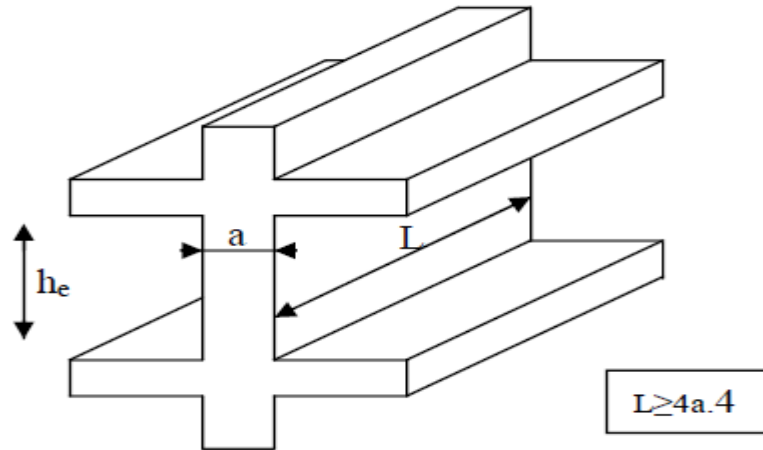
Murs en béton armé



#### + Coffrage :

Sont considérés comme voiles les éléments satisfaisant à la condition  $l > 4a$ .

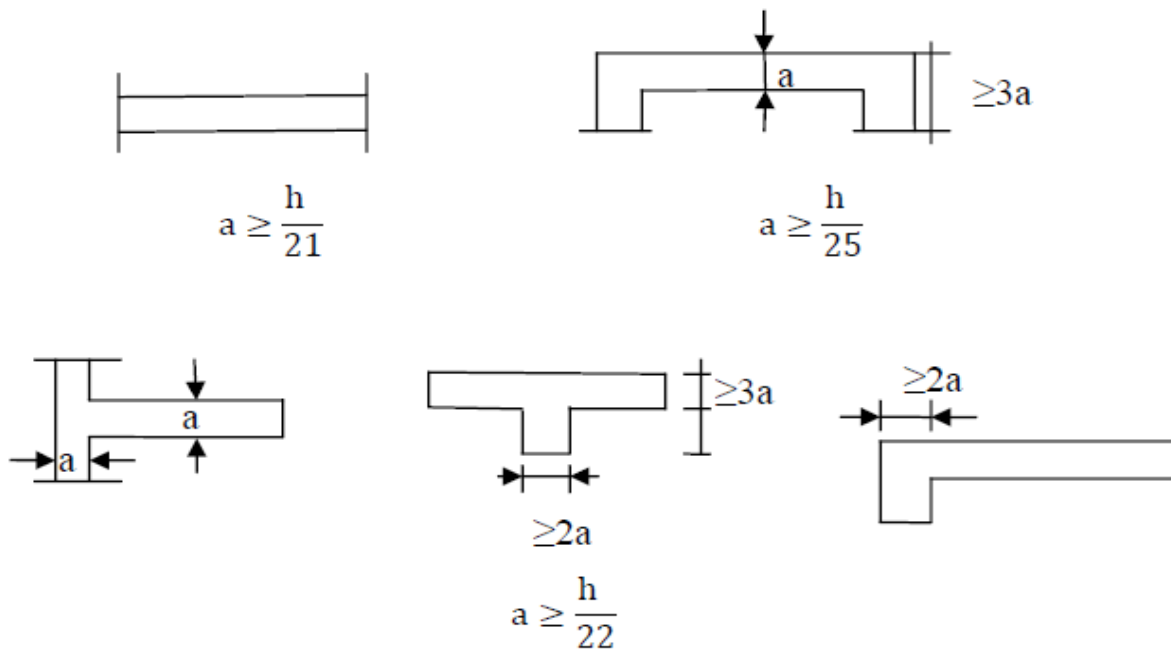
Dans le cas contraire, ces éléments sont considérés comme des éléments linéaires



**Figure 1 : Coupe de voile en élévation**

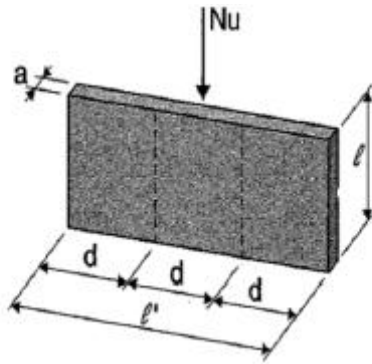
## **Pré dimensionnement :**

L'épaisseur minimale est de **15 cm** .De plus, l'épaisseur doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage **h<sub>e</sub>** et des conditions de rigidité aux extrémités comme indiqué à la figure suivant :

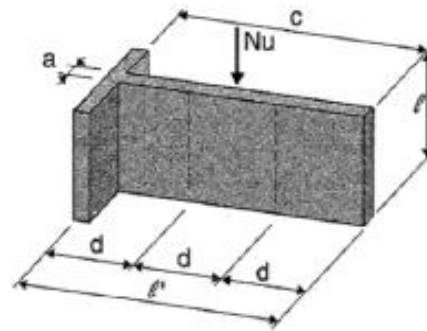


**Figure 2 : Coupes de voiles en plan.**

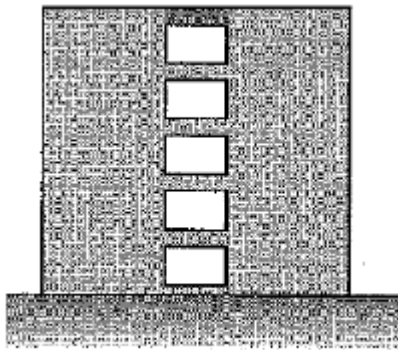
### I.3-Classification des types des voiles :



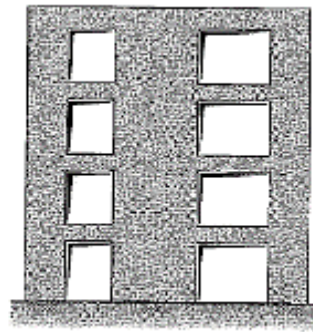
**a-voile sans raidisseur**



**b-voile avec raidisseur**



**c-voile avec une seule file d'ouverture**



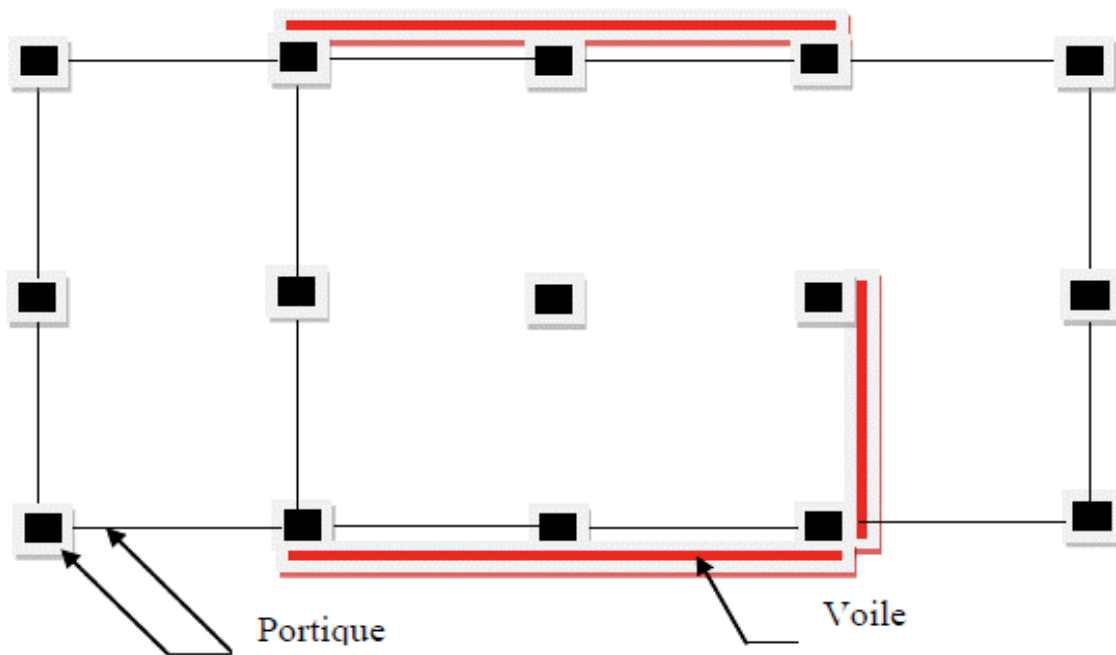
**d-voile avec plusieurs files d'ouverture**

### I.4-Classification des structures avec voiles :

Vue la grande variété des constructions à voiles de contreventement, on peut fournir une classification pratique de ces constructions. A cet égard, trois grandes catégories peuvent être rencontrées :

#### **1) structures << mixtes >> avec des murs porteurs associés à des portiques :**

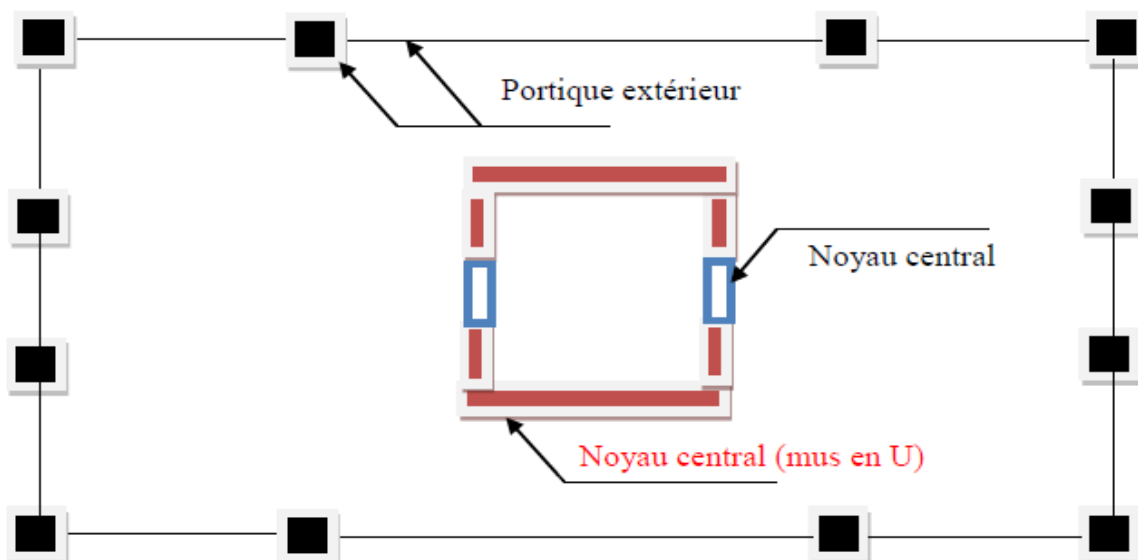
le type des voiles illustré dans la Figure 3, le rôle porteur vis-à-vis des charges verticales est assuré par les poteaux et les poutres, tandis que les voiles assurent la résistance aux forces horizontales.



**Figure 3 :** structures << mixtes >> avec des murs porteurs associés à des portiques. [2]

### 2) structures à noyau central :

Un noyau central formé de deux murs couplés à chaque étage par des poutres assure majoritairement la résistance aux forces horizontales. Une certaine résistance supplémentaire peut être apportée par les portiques extérieurs, comme le montre la Figure 4.



**Figure 4 :** structures à noyau central. [2]

### 3) structures uniquement à murs porteurs :

Dans la figure 5, les voiles assurent en même temps le rôle porteur vis-à-vis des charges Verticales et le rôle de résistance aux forces horizontales.

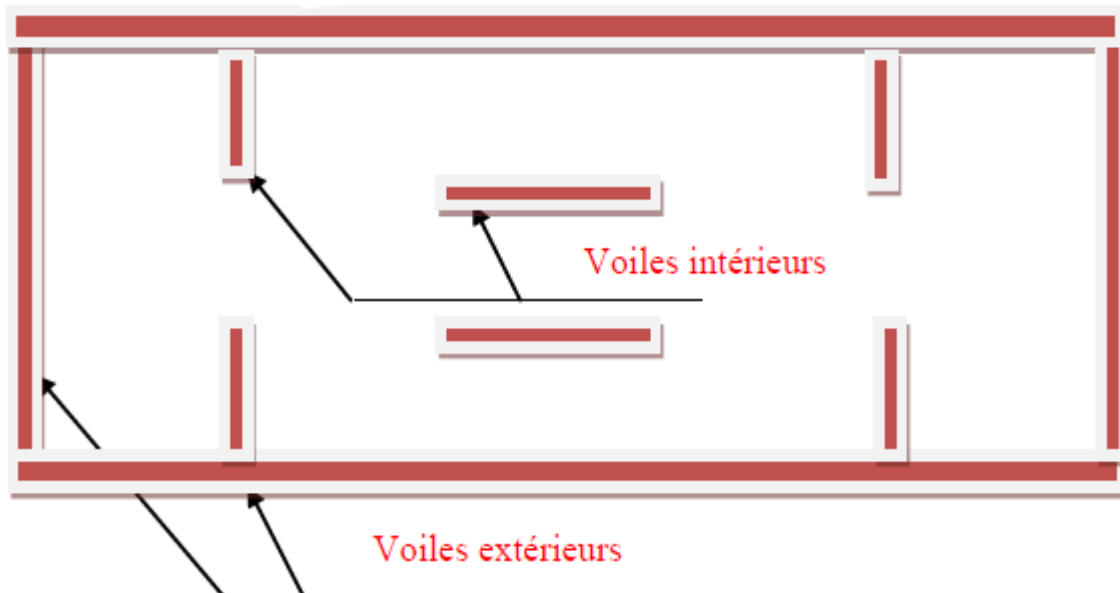


Figure 5 : structures uniquement à murs porteurs. [2]

#### I.4-Le Rôles des voiles :

Les voiles en béton armé ont une triple fonction : **Supporter, contreventer et cloisonner l'espace.**

Ils jouent aussi d'autres rôles à savoir :

- Augmente la rigidité de l'ouvrage.
- Diminue l'influence des phénomènes du second ordre et éloigne la possibilité d'instabilité.
- Diminue les dégâts des éléments non-porteurs dont le coût de réparation est souvent plus grand que celui des éléments porteurs.
- Apaise les conséquences psychologiques sur les habitants de haut bâtiment dont les déplacements horizontaux sont importants lors des séismes.
- Rend le comportement de la structure plus fiable que celui d'une structure ne comportant que des portiques.

#### I.5-TYPE DE VOILES :

Il y a lieu de distinguer 2 types de voiles

- **les voiles élancés** (élancement  $H/L$  supérieur à 1.5 environ).
- **Les voiles courts** (élancement  $H/L$  inférieur à 1.5).

### I.6-LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DU COMPORTEMENT DES VOILES :

Les principaux paramètres influençant le comportement des voiles en béton armé sont :

- l'élancement (rapport hauteur  $H$  la largeur  $L$  du voile).
- Les armatures (pourcentages et dispositions).
- Contrainte normale moyenne.

### I.7-Mode de fonctionnement des murs voile :

Les règlements parasismiques dans le monde classifient les voiles selon leur élancement on distingue 2 types des voiles :

\*Les voiles élancés : qui ont un élancement de l'ordre supérieur de 1,5.

\*Les voiles courts : qui ont un élancement de l'ordre inférieur de 1,5.

Pour les deux types, les voiles ont un comportement différent et un mode de rupture

Différent vis-à-vis des sollicitations.

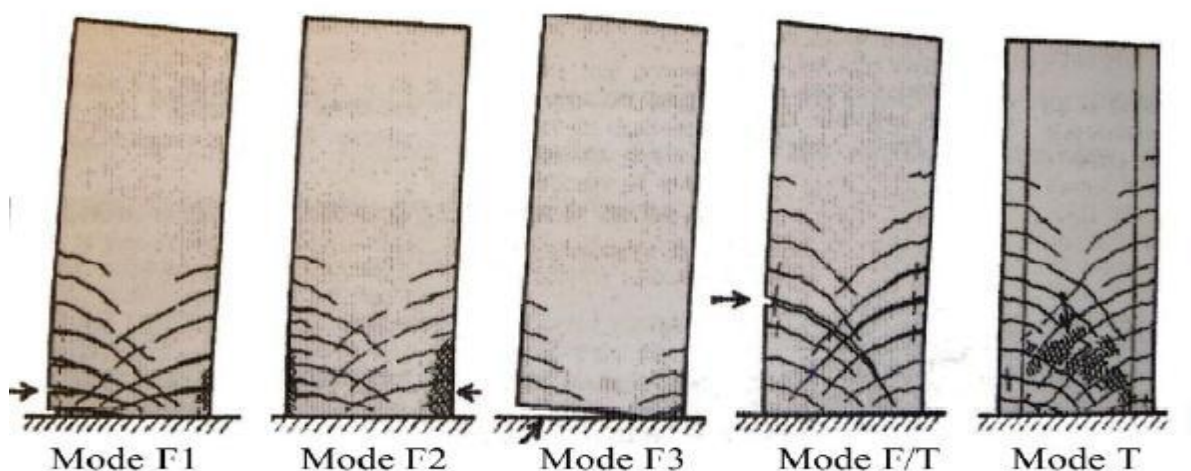


Figure 6 : Modes de rupture des voiles élancés

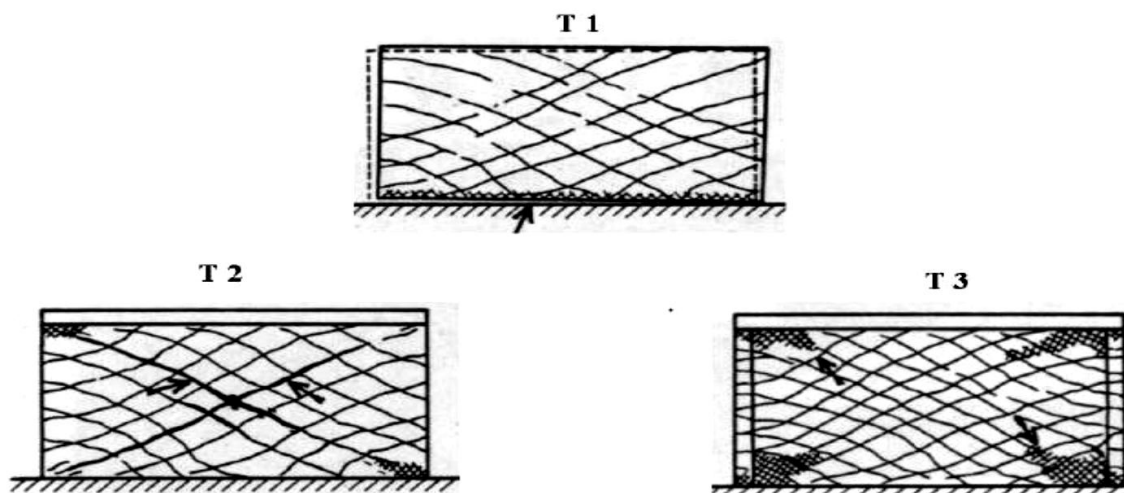


Figure 7 : Modes de rupture des voiles courts



### 1) Mode de fonctionnements pour les voiles élancés :

#### Endommagement en flexion :

-**Mode F1** : rupture par plastification des armatures verticales tendue et écrasement du béton comprimé et formation des rotules plastique dans la partie inférieure du voile.

-**Mode F2** : rupture par écrasement du béton, ce mode de ruine est rencontré pour les voiles assez fortement armé, sollicité par des efforts normaux plus importants.

-**Mode F3** : la ruine s'effectue par la rupture fragile des armatures verticales tendues c'est un mode qui est rencontré dans les voiles faiblement armés aux extrémités ; Lorsque les armatures verticales sont essentiellement reparties et ne concentrent pas aux extrémités.

#### Endommagement en flexion et effort tranchant :

-**Mode F/T** : rupture par la plastification des armatures verticales de flexion et armatures transversales, rencontré dans les voiles moyennement élancés ou la flexion n'est plus prépondérante ou les armatures horizontales sont insuffisantes.

#### Endommagement par effort tranchant :

-**Mode T** : la rupture se fait par écrasement de béton de l'âme, ce mode de rupture est rencontré dans le cas des efforts de cisaillement plus importants.

### 2) Mode de fonctionnements pour les voiles courts :

-**Mode T1** : Endommagement par glissement à l'encastrement est obtenu par plastification progressive des armatures verticales. Ce type de ruine engendre une perte importante sur la rigidité et de la dissipation d'énergie.

-**Mode T2** : Endommagement par plastification des aciers horizontaux ou verticaux (tension-failure) : Rupture par effort tranchant et rupture des armatures le long de fissure diagonale c'est un cas aussi fréquemment rencontré.

-**Mode T3** : Endommagement par ruine par compression du béton de la diagonale (compression-failure) : Rupture par écrasement du béton de l'âme, à la base des bielles transmettant les efforts de compression. C'est un mode de ruine caractéristique des voiles fortement armés, surtout s'ils sont associés à des raidisseurs sur leur bord.

## **Chapitre II :**

### **Présentation du Projet et Caractéristiques des Matériaux**

### II.1. Introduction :

Toute étude de projet d'un bâtiment a pour but d'assurer la stabilité et la résistance de l'ouvrage, afin d'assurer la sécurité des usagers.

Dans notre pays, on utilise souvent le béton armé comme matériaux de construction, parce qu'il est le moins cher par rapport aux autres matériaux et le mieux maîtrisé.

### II.2 Présentation de l'ouvrage :

Dans le cadre de notre formation de master en génie civil, nous sommes amenés à l'issue de notre cursus à réaliser un projet de fin d'études. Nous avons choisi d'étudier un projet de 50 logements plus commerces et avec service à Ain Nedjar dans la wilaya de Tlemcen.

La conception architecturale est prévue pour la projection de 03 blocs, les deux blocs de R+11 étages+2 sous-sols et le dernier bloc de R+12 étages+2 sous-sols.

L'ouvrage à étudier est un bâtiment (bloc c) en R+12 étages+2 sous-sols choisit parmi les trois blocs, composé de deux niveaux sous-sol (bureaux de fonctionnements) et d'un rez-de-chaussée et les 12 niveaux à usage d'habitation et notre bâtiment est une structure poteau –poutre et on transfère à une structure voiles - dalle plein.

### II.2. Situation de l'ouvrage :

Le projet se situe à Tlemcen, près du quartier des cerisiers .Il est limité au nord et à l'est par des terrains vagues et des habitations individuel au sud par une construction en R+4 et à l'ouest par un boulevard.

### II.3 Caractéristiques de la structure :

#### II.3.1. Dimensions en élévation :

- Hauteur totale de bâtiment..... $H = 46.18\text{m}$ .
- Hauteur de RDC..... $h = 3.06\text{m}$ .
- Hauteur d'étage courant..... $h = 3.06\text{m}$ .
- Hauteur du 1ere sous-sols..... $h = 3.34\text{m}$ .
- Hauteur du 2 ème sous-sol..... $h = 2.84\text{m}$ .
- Hauteur de la buanderie ..... $h = 3.06\text{m}$ .

#### II.3.2 Dimensions en plans :

- Longueur totale ..... $L_{\text{long}} = 12,25\text{m}$ .
- Largeur totale..... $L_{\text{trans}} = 20,15\text{m}$ .

#### II.3.3 Données du site :

- Le bâtiment est implanté dans une zone classée par les règles parasismiques Algériennes 99/version 2003 comme zone de faible sismicité (**zone I**).
- selon le RPA99/version 2003, l'ouvrage est un bâtiment d'habitation collective dont la hauteur ne dépasse pas 48 m donc il est classé dans le groupe 2.
- Le site est considéré comme meuble (S3).
- Contrainte admissible du sol  $\sigma_{\text{sol}} = 2.50 \text{ bar}$  (selon le rapport géotechnique).

### II.4. Conception de la structure :

#### II.4.1 Ossature de l'ouvrage :

Le contreventement de la structure est assuré uniquement à murs porteurs (voiles), disposés dans les deux sens (transversal, longitudinal), pour stabiliser l'ouvrage sous l'effet des actions verticales et des actions horizontales.

### **II.4. 2 Plancher :**

C'est une aire généralement plane destinée à séparer les niveaux, le type de plancher utiliser dans notre structure est :

#### **\* Plancher à dalle pleine :**

J'ai opté pour des dalles pleines à cause de leurs formes irrégulières et ceci dans le but de minimiser le temps et le coût nécessaire pour la réalisation des poutrelles spéciales à ces zones.

### **II.4.3. Escalier :**

Sont des éléments non structuraux, permettant le passage d'un niveau à un autre avec trois volées et de deux paliers de repos encastrés dans les voiles.

### **II.4.4 Maçonnerie :**

On distingue :

- Mur extérieur (double cloison).
- Mur intérieur (une cloison).

### **II.4.5 Revêtement :**

Le revêtement du bâtiment est constitué par :

- Un carrelage de 2cm pour les chambres, les couloirs et les escaliers.
- De l'enduit de plâtre pour les murs intérieurs et plafonds.
- Du mortier de ciment pour crépissages des façades extérieurs.

### **II.4.6. Balcon :**

Dans notre structure les balcons sont représentés par différent forme.

### **II.4.7. Gaine d'ascenseurs :**

Vu la hauteur importante de ce bâtiment, la conception d'un ascenseur est indispensable pour faciliter le déplacement entre les différents étages.

## **II.5. Caractéristiques mécaniques des matériaux :**

### **II.5.1. Introduction :**

Dans notre étude, nous avons utilisé, le règlement du béton armé aux états limite à savoir le BAEL 91, ainsi que le règlement parasismique Algérien RPA 99/2003. Le règlement BAEL 91 est basé sur les états limites définies ci-dessous.

### **II.5.2 Définition :**

Un état limite est celui pour lequel une condition requise d'une construction ou d'une de ses éléments (tel que la stabilité et la durabilité) est strictement satisfaite et cesserait de l'être en cas de modification défavorable d'une action (majoration ou minoration selon le cas). On distingue deux états limites :

#### **a. état limite ultime : (ELU)**

Correspondant à la limite :

- ✓ Soit de l'équilibre statique de la construction (pas de renversement).
- ✓ Soit de la résistance de l'un des matériaux (pas de rupture).
- ✓ Soit de la stabilité de forme.

#### **b. état limite de service :(ELS)**

Définissant les conditions que doit satisfaire l'ouvrage pour que son usage normal et sa durabilité soient assurés.

- ✓ État limite de compression du béton.
- ✓ État limite d'ouverture des fissures.
- ✓ État limite de déformation.

### II.5.3. Le Béton :

#### a. Résistance du béton :

##### \* Résistance du béton à la compression :

Le béton est caractérisé par sa résistance à la compression «J» jours, généralement à 28 jours. Cette valeur est déterminée par des essais sur des éprouvettes cylindriques de 200,96 cm<sup>2</sup> de section et de 32 cm de hauteur.

$$j \leq 28 \text{ jour} \quad \longrightarrow \quad f_{cj} \leq 0,685 * f_{c28} * \log(j+1)$$

$$j = 28 \text{ jour} \quad \longrightarrow \quad f_{cj} = f_{c28}$$

$$j > 28 \text{ jours} \quad \longrightarrow \quad f_{cj} = 1,1 f_{c28}$$

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

##### \* Résistance du béton à la traction :

La résistance à la traction est déterminée par plusieurs essais ; parmi ces essais on peut citer :

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

La résistance à la traction est notée par «  $f_{tj}$  », elle est définie par la relation :

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

$f_{c28} = 25 \text{ MPa}$ , on trouve  $f_{tj} = 2,1 \text{ MPa}$

##### \* Module de déformation longitudinale :

Ce module est connu sous le nom de module de « Young ou module de déformation longitudinal », il est défini sous l'action des contraintes normales d'une longue durée ou de courte durée d'application.

##### \* Module d'élasticité instantanée « $E_{ij}$ » :

Il est mesuré à partir de la courbe ( $\sigma - \xi$ ) d'un test de courte durée, il représente le module d'élasticité sous chargement accidentel.

$$E_{ij} = 11000 (f_{cj})^{1/3} \quad (E_{ij} ; f_{cj} \text{ en MPa})$$

##### \* Module d'élasticité différée « $E_{vj}$ » :

Il est mesuré à partir de la courbe ( $\sigma - \xi$ ) d'un test de longue durée, il représente le module d'élasticité sous chargement durable ou transitoire.

$$E_{vj} = 3700 (f_{cj})^{1/3} \quad (E_{vj} ; f_{cj} \text{ en MPa})$$

Pour notre cas :  $f_{cj} = f_{c28} = 25 \text{ MPa}$

$$\longrightarrow \begin{cases} E_{vj} = 32164.19 \text{ MPa} \\ E_{ij} = 10818.86 \text{ MPa} \end{cases}$$

#### b. Coefficient de poisson :

Le coefficient de poisson représente la variation relative de dimension transversale d'une pièce soumise à une variation relative de dimension longitudinale.

$$\nu = (\Delta a / A) / (\Delta b / B)$$

- **E.L.U** :  $\nu = 0,0$  calcul des sollicitations (béton fissuré)

- **E.L.S** :  $\nu = 0,2$  calcul des déformations (béton non fissuré)

### c. Poids volumique du béton :

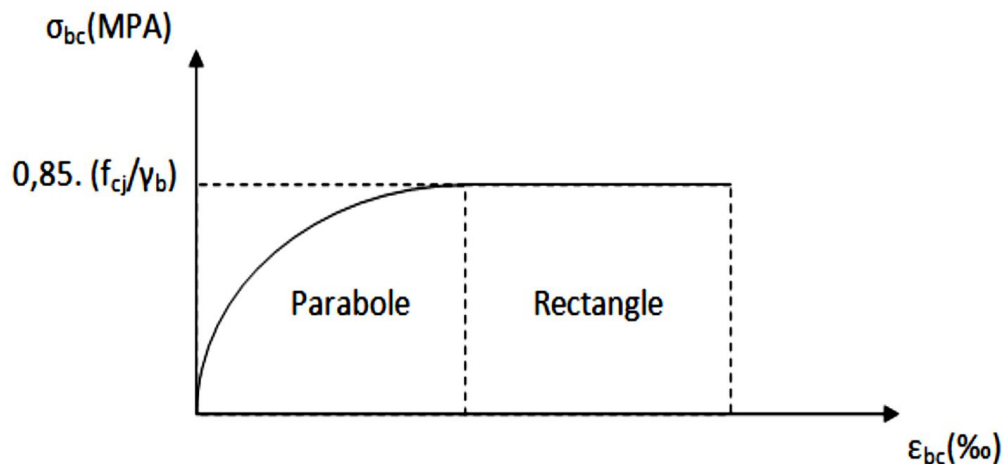
On adopte la valeur  $\rho = 25 \text{ kN/m}^3$

### d. Les contraintes limite de calcul :

#### \*Contraintes limites à l'état limite ultime (E.L.U) :

L'état limite ultime est défini généralement par la limite de résistance mécanique au-delà de laquelle il y a ruine de l'ouvrage.

$$F_{bu} = \frac{0.85 \cdot f_{c28}}{\theta \cdot \gamma_b}$$



**Figure 8 :** Diagramme contrainte de compression à l'ELU

Avec :

- $\gamma_b$  : Coefficient de sécurité. Il vaut 1.5 pour les combinaisons normales et 1.15 pour les combinaisons accidentelles.
- $\theta$  : coefficient qui dépend de la durée d'application du chargement. Il est fixé à 1 lorsque la durée probable d'application de la combinaison d'actions considérée est supérieure à 24 h, 0.9 lorsque cette durée est comprise entre 1 h et 24 h, et à 0.85 lorsqu'elle est inférieure à 1 h.

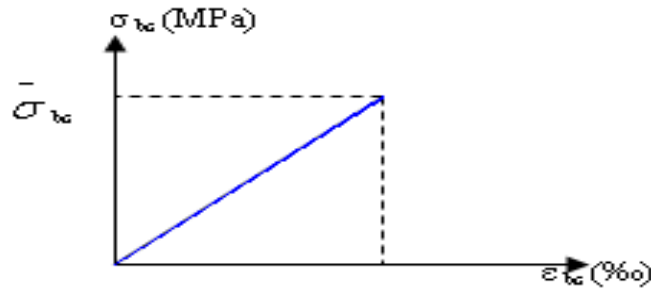
#### \*Contraintes limites à l'état limite de service (E.L.S) :

L'état limite de service est un état de chargement au-delà duquel la construction ne peut plus assurer le confort et la durabilité pour lesquels elle a été conçue ; on distingue :

- L'état limite de service vis-à-vis de la compression de béton
- L'état limite de service d'ouverture des fissures.
- L'état limite de service de déformation.

La contrainte limite de service est donnée par :  $\sigma_{bc} = 0.6 \cdot f_{c28}$

$f_{c28} = 25 \text{ MPa}$  on trouve :  **$\sigma_{bc} = 15 \text{ MPa}$**



**Figure 9 :** Diagramme des Contraintes de Déformations du béton a ELS

### 1.5.4. ACIERS :

Afin de remédier au problème de non résistance du béton à la traction, on intègre dans les pièces du béton des armatures d'acier pour reprendre les efforts de traction.

Les aciers utilisés pour constituer les pièces en béton armé :

- \*Ronds lisses (R.L) : FeE24
- \*Barres à haute adhérences (HA) : FeE40
- \*Treillis soudés (TS) : TLE52  $\varnothing = 6$  mm pour les dalle

#### a. Les limites élastiques :

- \*Les ronds lisses (R.L) : FeE = 22 ( $f_e = 215$  MPa) ; FeE = 24 ( $f_e = 235$  MPa)
- \*Barres à haute adhérences (HA) :  $f_e = 400$  MPa.
- \*Treillis soudés (TS) :  $f_e = 520$  MPa.

#### b. Module d'élasticité des aciers :

Les aciers sont aussi caractérisés par le module d'élasticité longitudinale. Les é ont montré que sa valeur est fixée quel que soit la nuance de l'acier.

$$E_s = 2,1.10^5 \text{ MPa}$$

#### c. Les contraintes limite de calcul :

##### \* Contraintes limites à l'état limite ultime (E.L.U) :

On adopte le diagramme contrainte- déformation suivant :

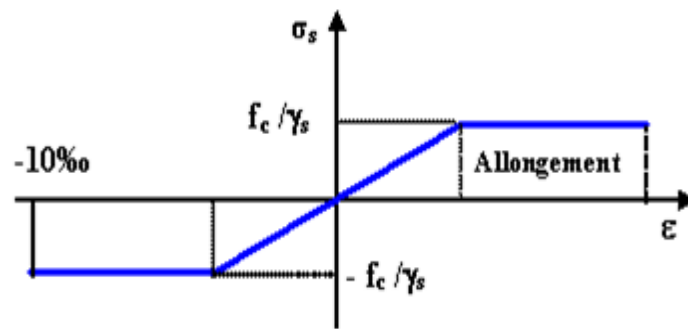
**$f_e$**  : Contrainte limite élastique.

**$\epsilon_s$**  : Déformation (allongement) relative de l'acier  $\epsilon_s = \Delta L / L$

$$\epsilon_{es} = \frac{f_e}{E_s \cdot \gamma_s} ; \quad \sigma_s : \text{Contrainte de l'acier avec : } \sigma_s = f_e / \gamma_s$$

**$\gamma_s$**  : Coefficient de sécurité de l'acier.

$$\gamma_s = \begin{cases} 1.15 & \text{Cas des situations durables ou transitoires} \\ 1.0 & \text{Cas des situations accidentelles} \end{cases}$$



**Figure 10 :** Diagramme contrainte-déformation d'acier

**\*Contraintes limites à l'état limite de service (E.L.S) :**

C'est l'état où on fait des vérifications des contraintes par rapport aux cas appropriées :

\*Fissuration peu nuisible : pas de vérification.

\*Fissuration préjudiciable :  $\sigma_s = \min (2/3 \cdot f_e ; 110(\eta \cdot f_{tj})^{1/2})$

\*Fissuration très préjudiciable :  $\sigma_s = \min (1/2 \cdot f_e ; 90(\eta \cdot f_{tj})^{1/2})$

$\eta$  : Coefficient de fissuration

$\eta = 1,00$  pour les aciers ronds lisse.

$\eta = 1,60$  pour les aciers à haute adhérence.



**Chapitre III :**  
**Prédimensionnement Des éléments Structuraux**  
**Et Descentes des Charges**

### III-1-Prédimensionnement des éléments structuraux :

#### + Introduction :

L'estimation des dimensions des éléments de la structure, avant d'entamer tout calcul est obligatoire. Pour cela les règlements « RPA99 version 2003 et le BAEL91 modifié 99 » propose des recommandations pour un Prédimensionnement à la fois sécuritaire et économique.

#### + Prédimensionnement des éléments :

##### 1-plancher dalle pleine :

Les dalles sont des plaques minces dont l'épaisseur est faible par rapport aux autres dimensions, elles reposent sur 2, 3 ou 4 appuis.

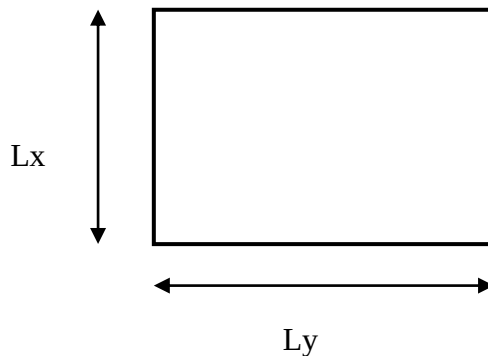
L'épaisseur de la dalle dépend des conditions suivantes :

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} \Rightarrow \begin{cases} L_x : \text{la plus petite portée.} \\ L_y : \text{la plus grande portée.} \end{cases}$$

-e : épaisseur de la dalle.

- Si  $\rho < 0,4$  : dalle portant dans un seul sens  $\Rightarrow e \geq L_x/25$  (pour une dalle continue) ;  $e \geq L_x/20$  (pour une dalle isolée).
- Si  $0,4 \leq \rho \leq 1$  : dalle portant dans deux sens  $\Rightarrow e \geq L_x/40$  (pour une dalle continue) ;  $e \geq L_x/30$  (pour une dalle isolée).

Dans notre cas on a :  $L_x = 4,10\text{m}$  ;  $L_y = 4,45\text{m}$



$\rho = 4,1/4,45 = 0,92 \Rightarrow 0,4 \leq \rho \leq 1$  : dalle portant dans deux sens

Donc :  $e \geq L_x/40 = 12\text{cm}$

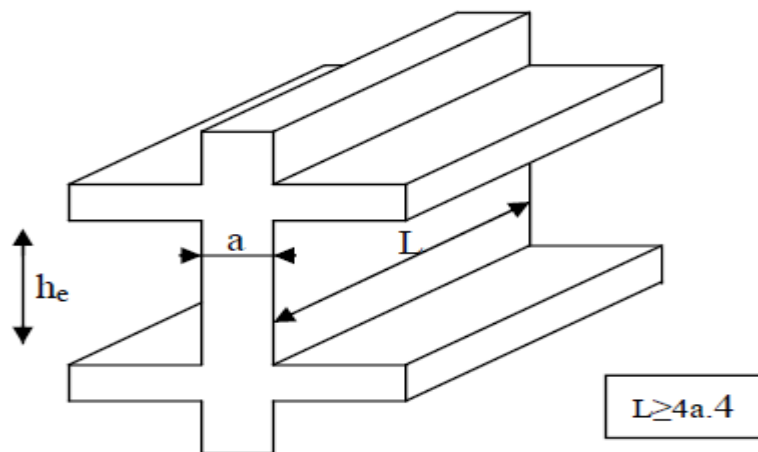
On prend :

**e = 20 cm**

### 2-les voiles :

D'après l'article 7.7.1 du RPA version 2003 l'épaisseur d'un voile est au moins égale à 15cm, de plus, cette épaisseur doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage ( $h_e$ ) ; et des conditions de rigidité aux extrémités.

$$a \geq \max (h_e/25, h_e/22, h_e/20)$$



$$a \geq h_e/20 \Rightarrow a \geq \frac{3,34-0,2}{20} \Rightarrow a \geq 0,16\text{m} \quad \text{Pour le sous-sol}$$

$$a \geq \frac{3,06-0,2}{20} \Rightarrow a \geq 0,14\text{m} \quad \text{Pour les étages}$$

On prend : **a=20cm**

### III-2-EVALUATION DES DESCENTES DE CHARGES :

#### Introduction :

L'objectif de calcul de la descente des charges est de déterminer les charges et les surcharges revenant à chaque élément porteur au niveau de chaque plancher.

Les charges qui sont définies par le D.T.R sont les suivantes :

- G : la charge permanente qui représente le poids mort.
- Q : la charge d'exploitation ou la surcharge.

## ➤ Plancher terrasse inaccessible :

**Tableau 1 :** Descente des charges du plancher terrasse inaccessible

| Désignation             | e (m) | $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> ) | G (kN/m <sup>2</sup> )    |
|-------------------------|-------|-----------------------------|---------------------------|
| Gravillon roulé         | 0.06  | 20                          | 1.20                      |
| Etanchéité              | 0.02  | 6                           | 0.12                      |
| Forme de pente          | 0.1   | 20                          | 2                         |
| Isolation thermique     | 0.05  | 4                           | 0.2                       |
| Dalle pleine (20 cm)    | 0.2   | 25                          | 5                         |
| Enduit plâtre           | 0.02  | 10                          | 0.2                       |
| Charge permanente :     |       |                             | G=8.72 kN/m <sup>2</sup>  |
| Charge d'exploitation : |       |                             | Q= 1.00 kN/m <sup>2</sup> |

## ➤ Plancher terrasse accessible :

**Tableau 2 :** Descente des charges du plancher terrasse accessible

| Désignation           | e (m) | $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> ) | G (kN/m <sup>2</sup> )    |
|-----------------------|-------|-----------------------------|---------------------------|
| Carrelage             | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Mortier de pose       | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Lit de sable          | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Etanchéité            | 0.02  | 6                           | 0.12                      |
| Dalle pleine (20cm)   | 0.2   | 25                          | 5                         |
| Enduit plâtre         | 0.02  | 10                          | 0.2                       |
| Charge permanente     |       |                             | G=6.52 kN/m <sup>2</sup>  |
| Charge d'exploitation |       |                             | Q= 1.50 kN/m <sup>2</sup> |

## ➤ Plancher étage courant et RDC (usage d'habitation) :

**Tableau 3 :** Descente des charges du plancher étage courant et RDC

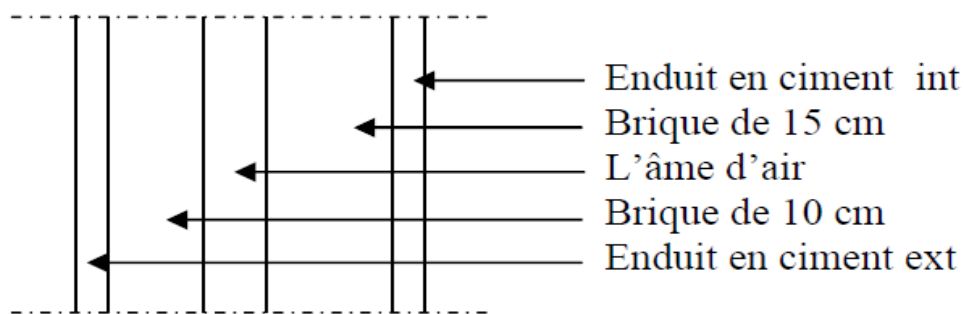
| Désignation             | e (m) | $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> ) | G (kN/m <sup>2</sup> )    |
|-------------------------|-------|-----------------------------|---------------------------|
| Carrelage               | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Mortier de pose         | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Lit de sable            | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Dalle pleine (20cm)     | 0.2   | 25                          | 5                         |
| Enduit ciment           | 0.02  | 18                          | 0.36                      |
| Cloison légère          | -     | -                           | 1                         |
| Charge permanente :     |       |                             | G=7.56 kN/m <sup>2</sup>  |
| Charge d'exploitation : |       |                             | Q= 1.50 kN/m <sup>2</sup> |

## ➤ Plancher des sous-sols (bureau de fonctionnement libéral) :

**Tableau 4 :** Descente des charges du plancher des sous-sols

| Désignation             | e (m) | $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> ) | G (kN/m <sup>2</sup> )    |
|-------------------------|-------|-----------------------------|---------------------------|
| Carrelage               | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Mortier de pose         | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Lit de sable            | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Dalle pleine (20cm)     | 0.2   | 25                          | 5                         |
| Enduit ciment           | 0.02  | 18                          | 0.36                      |
| Cloison légère          | -     | -                           | 1                         |
| Charge permanente :     |       |                             | G=7.56 kN/m <sup>2</sup>  |
| Charge d'exploitation : |       |                             | Q= 2.50 kN/m <sup>2</sup> |

## ➤ Murs extérieures :



**Figure11 :** Coupe transversale du mur extérieur.

**Tableau 5 :** Descente des charges des murs extérieures

| Désignation       | e (m) | $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> ) | G (kN/m <sup>2</sup> )   |
|-------------------|-------|-----------------------------|--------------------------|
| Enduit en plâtre  | 0.02  | 10                          | 0.20                     |
| Brique creuse     | 0.10  | -                           | 0.9                      |
| Vide              | 0.05  | -                           | /                        |
| Brique creuse     | 0.15  | -                           | 1.35                     |
| Enduit de ciment  | 0.02  | 18                          | 0.36                     |
| Charge permanente |       |                             | G=2.81 kN/m <sup>2</sup> |

➤ Murs intérieures :

**Tableau 6 :** Descente des charges des murs intérieures

| Désignation       | e (m) | $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> ) | G (kN/m <sup>2</sup> )   |
|-------------------|-------|-----------------------------|--------------------------|
| Enduit en ciment  | 0.02  | 10                          | 0.36                     |
| Brique creuse     | 0.10  | -                           | 0.9                      |
| Enduit de ciment  | 0.02  | 18                          | 0.36                     |
| Charge permanente |       |                             | G=1,62 kN/m <sup>2</sup> |

➤ Balcons :

**Tableau7 :** Descente des charges des Balcons

| Désignation             | e (m) | $\rho$ (kN/m <sup>3</sup> ) | G (kN/m <sup>2</sup> )    |
|-------------------------|-------|-----------------------------|---------------------------|
| Carrelage               | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Mortier de pose         | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Lit de sable            | 0.02  | 20                          | 0.4                       |
| Dalle pleine (20cm)     | 0.2   | 25                          | 5                         |
| Enduit plâtre           | 0.02  | 18                          | 0.36                      |
| Charge permanente :     |       |                             | G=6.56 KN/m <sup>2</sup>  |
| Charge d'exploitation : |       |                             | Q= 3.50 kN/m <sup>2</sup> |

## **Chapitre IV :**

### **Etude des éléments secondaires**

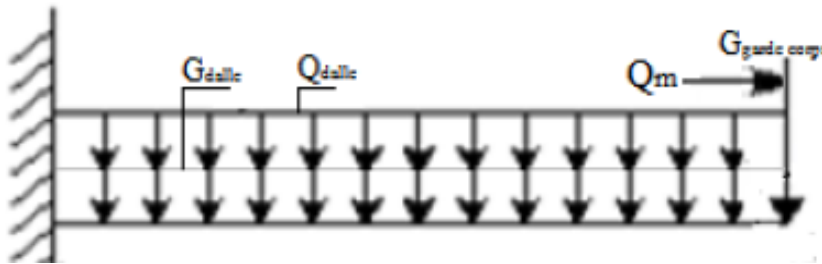
### IV.1-Introduction :

Ce chapitre concerne le calcul des éléments de la structure autre que les éléments de contreventement ; qui sont les escaliers, l'acrotère, les balcons ainsi que l'ascenseur et les dalle plein.

### IV.2.Etude du balcon :

#### 1-Introduction :

Les balcons sont constitués de dalle pleine rectangulaire de 20cm d'épaisseur. Ils sont calculés comme des consoles encastrées, soumise à son poids propre  $G$ , la charge d'exploitation  $Q$  et le poids propre du mur  $P$ . Le calcul se fera pour une bande de  $1ml$  à la flexion simple.



#### 2-Evaluation et combinaisons des charges :

- **Chargements et sollicitations :**

-Charge permanente :  $G=6,56 \text{ KN/m}^2$

-Charge d'exploitation :  $Q=3,5 \text{ KN/m}^2$

-La charge des murs : c'est une force concentrée  $P=1,62\text{KN}$

$$P = 1.62 * 1.10 * 1 \text{ ml} = 1.782 \text{ kN}$$

-Les combinaisons d'action :

À l'ELU :

$$Q_u = 1,35G + 1,5Q$$

$$Q_u = 14.106 \text{ kN/ml}$$

$$P_u = 1,35P$$

$$P_u = 2.406 \text{ kN/ml}$$

À l'ELS :

$$Q_s = G + Q$$

$$Q_s = 10.05 \text{ kN/ml}$$

$$P_s = P$$

$$P = 1.782 \text{ kN/ml}$$

#### 3-Calcul de M et T :

**\*ELU :**

Section 1-1 :  $0 \leq x \leq 1.10m$

$$M(x) = -P_u x - q_u x^2 / 2$$

$$M(x) = -2.406x - 14.106 x^2 / 2$$

$$T(x) = P_u + q_u x$$

$$T(x) = 2.406 + 14.106 x$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M(0) = 0 \text{ kN/ml} \\ M(1.10) = -11.181 \text{ kN/ml} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T(0) = 2.406 \text{ kN} \\ T(1.10) = 17.922 \text{ kN} \end{array} \right.$$



### \*ELS :

Section 1-1 :  $0 \leq x \leq 1.10m$

$$M(x) = -P_s x - q_s x^2/2$$

$$\begin{cases} M(0)=0 \\ M(1.10) = - 8.04 \text{ kN/ml} \end{cases}$$

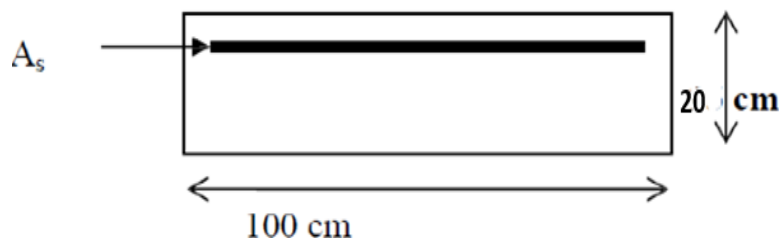
$$T(x) = P_s + q_s x$$

$$T(x) = 1.782 + 10.05 x$$

$$\begin{cases} T(0) = 1.782 \text{ kN/ml} \\ T(1.10) = 12.84 \text{ kN/ml} \end{cases}$$

### 4-Détermination du ferrailage :

En considère le balcon comme une poutre en console soumise à la flexion simple et le calcul se fait par une bande de 1 m



### ELU :

$$h = 20 \text{ cm.} \quad b = 1 \text{ ml.} \quad d = 18 \text{ cm.} \quad \sigma_{sc} = 348 \text{ MPa} \quad f_{bc} = 14.17 \text{ MPa}$$

$$M_u = 11.181 \text{ kN.m}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{11.18 \cdot 10^{-5}}{1 \cdot 0.18^2 \cdot 14.17} = 0.0243$$

$$\mu_u = 0.0243 < \mu_R = 0.392$$

⇒ Section simple armature ; les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1.25 \times (1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu}) \quad \Rightarrow \quad \alpha = 0.0307$$

$$Z = d \times (1 - 0.4 \times \alpha) \quad \Rightarrow \quad Z = 0.117 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z \cdot \sigma_{sc}} \quad \Rightarrow \quad \boxed{A_{st} = 1.815 \text{ cm}^2}$$

### \*Condition de non fragilité :

La section minimale :  $A_{st \text{ mini}} > 0.23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28} / f_e$

$$A_{st \text{ mini}} > 0.23 \cdot 1.00 \cdot 0.18 \cdot 2.1/400$$

$$A_{st\ mini} > 2,17\text{cm}^2 \dots\dots\dots CV$$

$$A_a = \max (A_{min} ; A) = 2,17\text{ cm}^2$$

$$\text{Soit : } A = 4T12 = 4,52\text{cm}^2$$

**\*Armature de répartition :**

$$A_r = A_u/4 = 4,52/4 = 1.13\text{ cm}^2$$

On choisit : **4T10** de section **3.14 cm<sup>2</sup>**

ELS :

-La position de l'axe neutre :

$$A_{st}=4,52\text{ cm}^2 ; \quad n=15$$

$$\frac{b \cdot x^2}{2} - n \cdot A_{st} (d-x) = 0 \Rightarrow 50x^2 + 118.8x - 2138.4 = 0$$

$$\Rightarrow x = 5.458\text{ cm}$$

- Moment d'inertie:

$$I = \frac{b \cdot x^3}{3} + n \cdot A_{st} \cdot (d-x)^2 \quad \Rightarrow \quad I = 24107\text{cm}^4 = 2.4107\text{ m}^4$$

• **Calcul des contraintes :**

➤ Béton :

$$\sigma_{bc} = n \cdot \frac{M_s \cdot x}{I}$$

$$\sigma_{bc} = \frac{15 \cdot 0.00804 \cdot 0.05458}{2.4107 \cdot 10^{-4}} = 1.817\text{ MPa}$$

➤ Acier :

$$\sigma_{st} = n \cdot \frac{M_s (d-x)}{I}$$

$$\sigma_{st} = \frac{15 \cdot 0.00804 \cdot (0.18 - 0.05458)}{2.4107 \cdot 10^{-4}} = 62.78\text{ MPa}$$

• **Calcul des contraintes admissibles :**

$$\sigma_b = 0,6 \times f_{C\ 28} = 0,6 \times 25$$

$$\sigma_b = 15\text{ MPa}$$

Acier :

$$\sigma_s = \min (2/3 \cdot f_e ; 110(\eta \cdot f_{tj})^{1/2})$$

Fissuration préjudiciable, avec :  $\eta = 1,6$

$$\sigma_s = 201,63\text{Mpa}$$

### Vérification :

$$\sigma_{bc} = 1.65 \text{ MPa} < \sigma_b = 15 \text{ MPa} \dots \text{CV}$$

$$\sigma_{st} = 56.892 \text{ MPa} < \sigma_s = 201.63 \text{ MPa} \dots \text{CV}$$

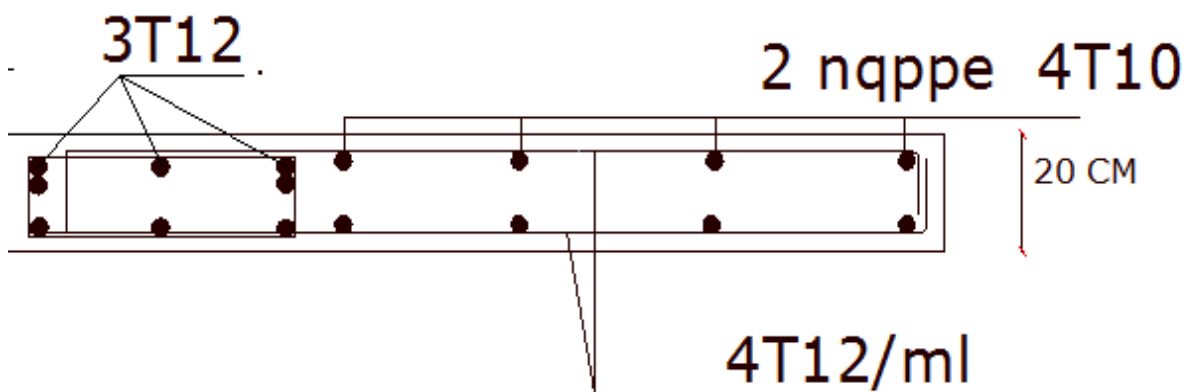
- **Vérification au cisaillement :**

$$\tau_u = \frac{T_{\max}}{b \cdot d} \Rightarrow \tau_u = \frac{0.01792}{1.00 \cdot 0.18}$$

$$\Rightarrow \tau_u = 0.0995 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = \min \left( \frac{0.15 \cdot f_{c28}}{\gamma_b} ; 4 \text{ MPa} \right) \quad \text{Fissuration préjudiciable } (\gamma_b = 1.5 : \text{cas générale}).$$

$$\text{Donc on a : } \tau_u = 0.0995 \text{ MPa} < \tau_u = 2.5 \text{ MPa} \dots \text{CV}$$



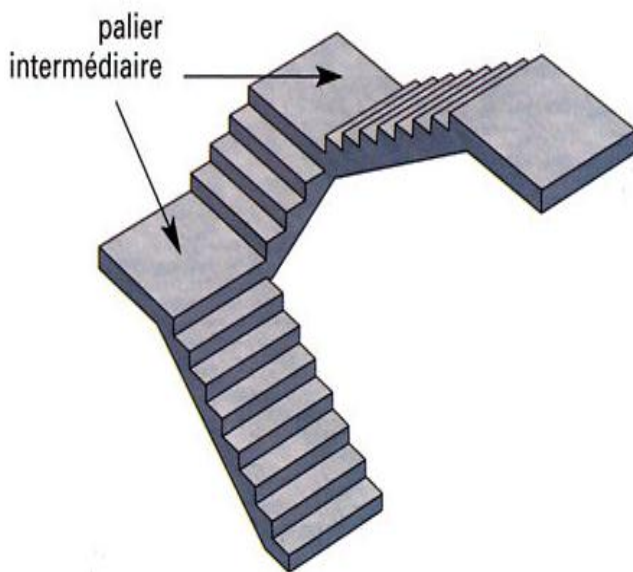
**Figure 12 : Ferrailage du balcon (pour 1ml)**

### IV.3- Étude de l'escalier :

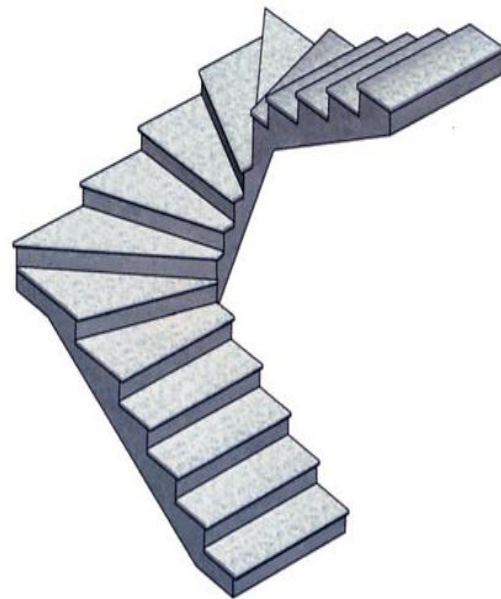
#### 1-Introduction :

Un escalier est un ouvrage constitué d'une suite de marches et de paliers permettant de passer à pied d'un niveau à un autre. Ses caractéristiques dimensionnelles sont fixées par des normes, décrets ou arrêtés en fonction du nombre d'utilisateurs et du type du bâtiment. La réglementation incendie est souvent déterminante. Il doit donc être facilement praticable et suffisamment solide.

**\*Dans notre structure on a deux type d'escalier : un escalier droite qui constitue de trois volées et deux paliers intermédiaires ; et le deuxième type c est un escalier balancés.**



**Figure 13 : un escalier droit**



**Figure 14 : un escalier balancé**

#### 2-Terminologie :

Un escalier se compose de plusieurs éléments :

**La cage :** est le volume où se situe l'escalier.

**Marche :** la partie horizontale.

**Contre marche :** la partie verticale d'une marche.

**Ligne de jour :** l'espace qui est laissé au milieu par la projection horizontale d'un escalier.

**Palier :** la dalle horizontale à la fin ou au début de la paillasse

**Paillasse :** la dalle inclinée qui se situe sous les marches.

**Echappée :** la hauteur de volée.

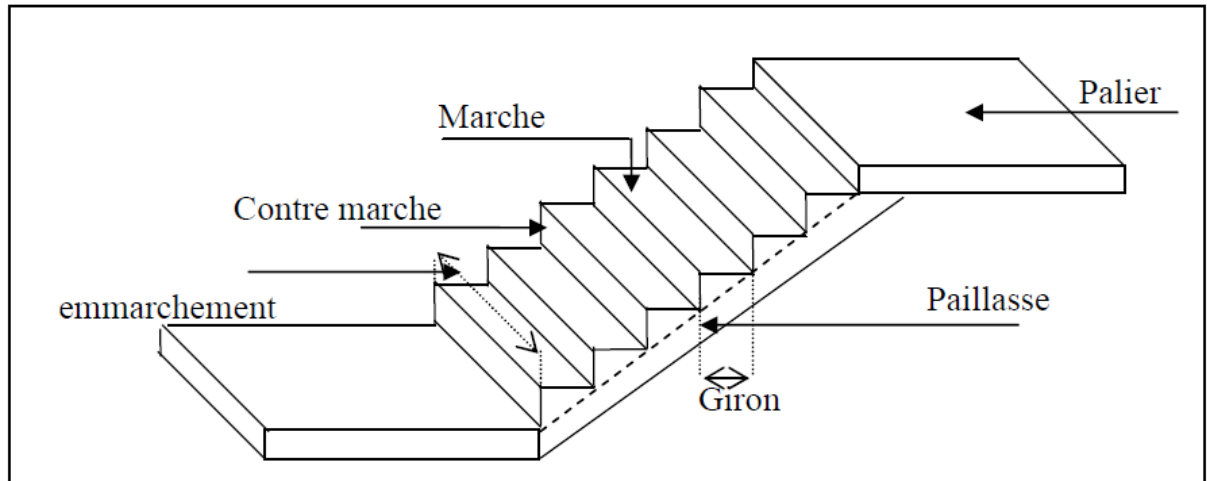


Figure 15 : Schéma d'un escalier

### 3-Dimensions des escaliers :

Pour les dimensions des marches "g" et contre marches "h", on utilise généralement la Formule de BLONDEL :

$$59 \leq 2h + g \leq 66 \quad [\text{cm}] \quad \dots (V.1)$$

Avec :

h : hauteur de la marche (contre marche)  $16 \leq h \leq 18 \text{ cm}$

g : largeur de la marche  $25 \leq g \leq 32 \text{ cm}$

En prendre généralement :  $g = 30 \text{ cm}$

D'après le (V.1)  $\Rightarrow 29 \leq 2h \leq 36 \quad [\text{cm}] \Rightarrow h = 16 \text{ cm}$

**\*Vérification de la formule de BLONDEL :**

$$0.59 \leq 0.62 \leq 0.66 \dots \text{Vérifiée}$$

#### a) Escalier droite à trois (3) volées : (du 2èmesous-sol au 12ème étage) :

**\*Le nombre de contre marche :**

$$n = H_e / h$$

Avec : H : hauteur entre les faces supérieurs des deux paliers successifs d'étage

n : nombre de contre marches

**\*Le nombre des marches (n-1) :**

n : Le nombre de contre marche

**\*La longueur de la ligne de foulés :**

Elle représente le parcours d'une personne qui descend en se tournant à la rampe du côté du jour. Elle est placée conventuellement.

$$L = g (n-1)$$

Avec :

L : longueur de la ligne de foulée.

g : giron.

(n-1) : nombre de marche.

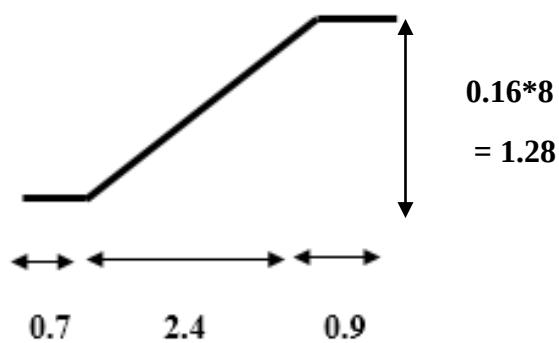
Tableau8 : Description d'escalier

| N° d'étage                        | 1ère type d'escalier     |         |         |        |        |                |         |         |
|-----------------------------------|--------------------------|---------|---------|--------|--------|----------------|---------|---------|
|                                   | Nombre des marches (n-1) |         |         | h (cm) | g (cm) | L=g (n-1) (cm) |         |         |
|                                   | Volée 1                  | Volée 2 | Volée 3 |        |        | Volée 1        | Volée 2 | Volée 3 |
| 1ere sous-sol jusqu'à 12ème étage | 8                        | 6       | 6       | 16     | 30     | 240            | 180     | 180     |

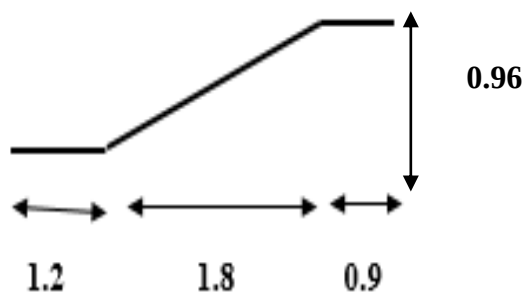
**\* Les différents types des escaliers :**

Dans notre cas, nous avons 3 types de volées qui sont présentés ci-dessous

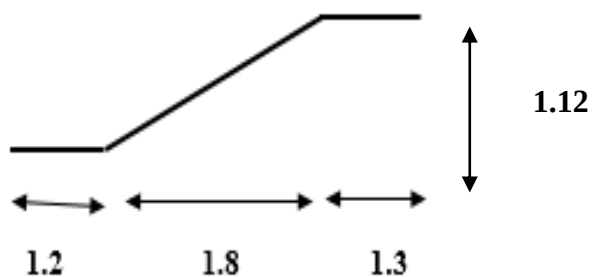
**Type 01 :**



**Type 02 :**



**Type 03 :**



### \*calcul des différents angles d'inclinaison :

-en prend le premier type d'escalier de 1<sup>ere</sup> sous-sol :

Volée1 :  $\tan(\alpha) = 1.28/2.4 \Rightarrow \alpha = 28.07^\circ$

Volée2 :  $\tan(\alpha) = 0.96/1.8 \Rightarrow \alpha = 28.07^\circ$

Volée3 :  $\tan(\alpha) = 1.12/1.8 \Rightarrow \alpha = 31.90^\circ$

### \*calcul des épaisseurs :

#### ➤ Epaisseur de palier (ep) :

$L/20 \leq ep \leq L/15$  avec :  $L = g \cdot (n/2 - 1)$

$285/20 \leq ep \leq 285/15 \Rightarrow 14 \leq ev \leq 19 \text{ cm}$

En prend : **ep=15cm.**

#### ➤ Epaisseur de la paille (ev) :

$Lt/30 \leq ev \leq Lt/20$

Avec : Lt : la Longueur réel de volée.

Volée1 :  $4/30 \cdot \cos(\alpha) \leq ev \leq 4/20 \cdot \cos(\alpha) \Rightarrow 15 \leq ev \leq 22 \text{ cm}$

En prend : **ev= 15cm.**

Volée2 :  $3.9/30 \cdot \cos(\alpha) \leq ev \leq 3.9/20 \cdot \cos(\alpha) \Rightarrow 15 \leq ev \leq 22 \text{ cm}$

En prend : **ev= 15cm.**

Volée3 :  $4.3/30 \cdot \cos(\alpha) \leq ev \leq 4.3/20 \cdot \cos(\alpha) \Rightarrow 16 \leq ev \leq 25 \text{ cm}$

En prend : **ev= 16cm.**

### \*Descente des charges des escaliers :

La descente des charges est calculée comme suit :

#### ➤ Palier : Tableau 9 : Descente des charges de Palier.

| N°                        | désignation             | Ep[m] | Masse volumique [KN/m3] | Poids [KN/m²] |
|---------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|---------------|
| 1                         | Carrelage.              | 0.02  | 22                      | 0.44          |
| 2                         | Mortier de pose.        | 0.02  | 20                      | 0.4           |
| 3                         | Lit de sable.           | 0.02  | 18                      | 0.36          |
| 4                         | Poids propre de palier. | 0.15  | 25                      | 3.75          |
| 5                         | Enduit en ciment.       | 0.02  | 18                      | 0.36          |
| Charge permanente G :     |                         |       |                         | <b>5.31</b>   |
| Charge d'exploitation Q : |                         |       |                         | <b>2.50</b>   |

➤ **Paillasse :**

**Tableau 10 :** Descente des charges de Paillasse

| N°                        | désignation                  | Ep[m] | Masse volumique [KN/m3] | Poids [KN/m²]                |
|---------------------------|------------------------------|-------|-------------------------|------------------------------|
| 1                         | Carrelage horizontale.       | 0.02  | 22                      | 0.44                         |
| 2                         | Mortier de pose horizontale. | 0.02  | 20                      | 0.4                          |
| 3                         | Lit de sable.                | 0.02  | 18                      | 0.36                         |
| 4                         | Carrelage verticale.         | 0.02  | 22                      | $0.44 \cdot h/g = 0.23$      |
| 5                         | Mortier de pose verticale.   | 0.02  | 20                      | $0.40 \cdot h/g = 0.21$      |
| 6                         | Poids propre de paillasse.   | 0.15  | 25                      | $3.75 / \cos(\alpha)$        |
| 7                         | Poids propre de la marche.   | /     | 22                      | $22 \cdot h/2 = 1.76$        |
| 8                         | Garde-corps.                 | /     | /                       | 0.1                          |
| 9                         | Enduit en ciment.            | 0.02  | 18                      | 0.36                         |
| Charge permanente G :     |                              |       |                         | <b>3.86 + Gp.p.paillasse</b> |
| Charge d'exploitation Q : |                              |       |                         | <b>2.50</b>                  |

Avec : **Gp.p.paillasse** dépend de l'inclinaison de volée (paillasse).

**-La charge permanente des différentes volées :**

**Tableau 11 :** La charge permanente des différentes volées

| N°            | $\alpha$ | Gp.p.paillasse [KN/m²] | G Total [KN/m²] |
|---------------|----------|------------------------|-----------------|
| <b>Volée1</b> | 28.07°   | 4.25                   | <b>8.11</b>     |
| <b>Volée2</b> | 28.07°   | 4.25                   | <b>8.11</b>     |
| <b>Volée3</b> | 31.90°   | 4.71                   | <b>8.57</b>     |

**\*Les Combinaison des charges :**

**Volée1** : ELU : 
$$\begin{cases} q_u \text{ Volée} = 1,35G + 1,5Q = \mathbf{14,70} \text{ KN/ml.} \\ q_u \text{ Palier} = 1,35G + 1,5Q = \mathbf{10,92} \text{ KN/ml.} \end{cases}$$

ELS : 
$$\begin{cases} q_s \text{ Volée} = G + Q = \mathbf{10,60} \text{ KN/ml.} \\ q_s \text{ Palier} = G + Q = \mathbf{7,81} \text{ KN/ml.} \end{cases}$$

**Volée2** : ELU : 
$$\begin{cases} q_u \text{ Volée} = 1,35G + 1,5Q = \mathbf{14,70} \text{ KN/ml.} \\ q_u \text{ Palier} = 1,35G + 1,5Q = \mathbf{10,92} \text{ KN/ml.} \end{cases}$$

ELS : 
$$\begin{cases} q_s \text{ Volée} = G + Q = \mathbf{10,60} \text{ KN/ml.} \\ q_s \text{ Palier} = G + Q = \mathbf{7,81} \text{ KN/ml.} \end{cases}$$



**Volée3 : ELU :**

$$\begin{cases} q_u \text{ Volée} = 1,35G + 1,5Q = 15,32 \text{ KN/ml.} \\ q_u \text{ Palier} = 1,35G + 1,5Q = 10,92 \text{ KN/ml.} \end{cases}$$

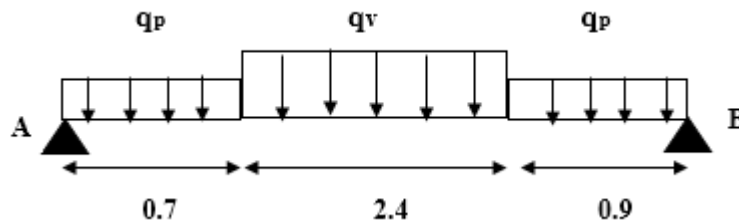
**ELS :**

$$\begin{cases} q_s \text{ Volée} = G + Q = 11,07 \text{ KN/ml.} \\ q_s \text{ Palier} = G + Q = 7,81 \text{ KN/ml} \end{cases}$$

### \*Détermination des efforts internes :

La détermination des efforts internes se fait pour une poutre isostatique simplement appuyée, et notre exemple de calcul sera la volée n° 1. Pour les autres volées, on utilisera le SAP2000.

#### ELU :



$$\begin{cases} q_u \text{ Volée} = 1,35G + 1,5Q = 14,70 \text{ KN/ml.} \\ q_u \text{ Palier} = 1,35G + 1,5Q = 10,92 \text{ KN/ml.} \end{cases}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_A + R_B - q_{uv} \cdot L_2 - q_{up} \cdot L_1 - q_{up} \cdot L_3 = 0.$$

$$R_A + R_B = 52,75 \text{ KN.}$$

$$\sum M/A = 0 \Rightarrow -R_B \cdot (4) + 10,92 \cdot (0,9) \cdot (3,55) + 14,70 \cdot (2,4) \cdot (1,90) + 10,92 \cdot (0,7) \cdot (0,35) = 0$$

$$\Rightarrow R_B = 26,15 \text{ KN} \Rightarrow R_A = 26,60 \text{ KN.}$$

#### Section 1-1 : $0 < X < 0,70$

$$M(x) = R_A \cdot X - 10,92 \cdot X^2 / 2 \Rightarrow \begin{cases} M(0) = 0 \\ M(0,70) = 15,94 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$T(x) = R_A - 10,92 \cdot X \Rightarrow \begin{cases} T(0) = 26,60 \text{ KN} \\ T(0,7) = 18,96 \text{ KN} \end{cases}$$

#### Section 2-2 : $0,7 < X < 3,1$

$$M(x) = R_A \cdot X - 10,92 \cdot 0,7 \cdot (X - 0,35) - 14,7 \cdot (X - 0,7)^2 / 2 \Rightarrow \begin{cases} M(0,7) = 15,94 \text{ KN.m} \\ M(3,10) = 19,10 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$T(x) = R_A - 10,92 \cdot 0,7 - 14,7 \cdot (X - 0,7) \Rightarrow \begin{cases} T(0,70) = 18,96 \text{ KN} \\ T(3,10) = 16,32 \text{ KN} \end{cases}$$

$$M \text{ max si : } T(X) = 0 \Rightarrow X = (26,60 - 10,92 \cdot 0,7 + 14,7 \cdot 0,7) / 14,7 \Rightarrow X = 2 \text{ m}$$

$$M_{\text{max}} = M(2) = 28,16 \text{ KN.m}$$

#### Section 3-3 : $0 < X < 0,90$

$$M(x) = R_B \cdot X - 10,92 \cdot X^2 / 2 \Rightarrow \begin{cases} M(0) = 0 \\ M(0,90) = 19,10 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$T(x) = -R_B + 10,92 \cdot X \Rightarrow \begin{cases} T(0) = -26,15 \text{ KN} \\ T(0,90) = -16,32 \text{ KN} \end{cases}$$

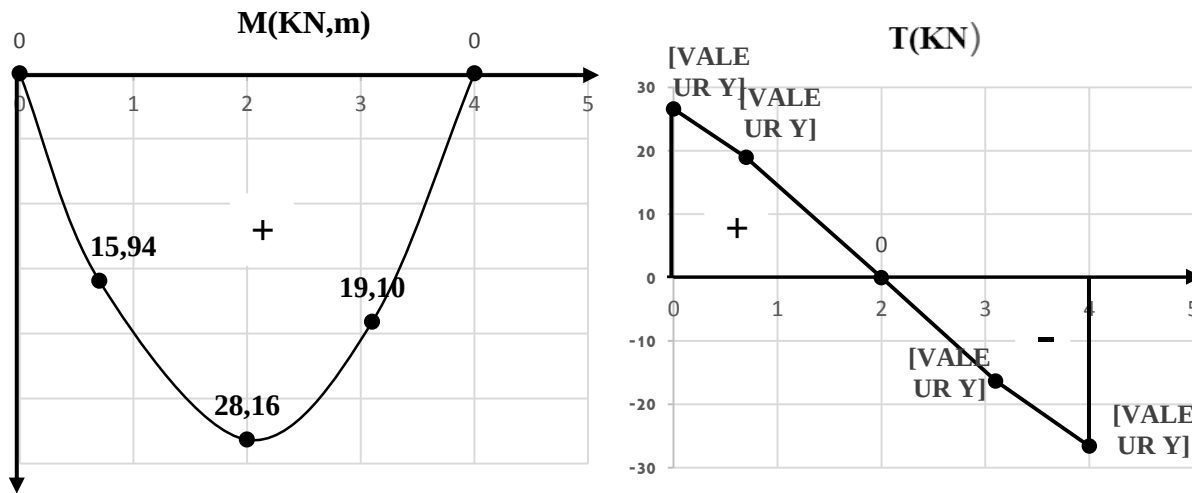


Figure 16 : diagramme des moments et l'effort tranchant à ELU

**\*Récapitulatif des différents efforts internes :**

M appuis=0.5Mmax ; M travées=0.85.Mmax

Tableau 12 : Les efforts internes pour les différentes volées

| Type | ELU            |                 |                | ELS            |                 |               |
|------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|
|      | Mapp<br>(KN.m) | Mtrav<br>(KN.m) | Tu max<br>(KN) | Mapp<br>(KN.m) | Mtrav<br>(KN.m) | Tsmax<br>(KN) |
| 1    | 14,08          | 23,94           | 26,60          | 10,09          | 17,14           | 19,14         |
| 2    | 14,08          | 23,94           | 26,60          | 10,09          | 17,14           | 19,14         |
| 3    | 14,52          | 24,68           | 27,18          | 10,48          | 17,81           | 19,73         |

**\*Détermination du ferrailage :**

h=0,15m ; b= 1m ; d= 0,9 \*h= 0,135m

fc28=25MPa ; ft28=2,1MPa ; fbc=14,17MPa ;  $\sigma_{st}$ =347,83MPa

**• ELU :**

✚ En travée :

$\mu_u = \frac{Mu}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{23,94 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0,135^2 \cdot 14,17} = 0,093 < \mu_r = 0,392 \Rightarrow$  La section est de simple armature, les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$A_{st} = \frac{Mu}{z \cdot \sigma_{st}} \Rightarrow Z = d \cdot (1 - 0,4\alpha) ; \alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0,123 \Rightarrow Z = 0,128m$

Donc :  $A_{st} = 5,38cm^2$  On choisit : 5T12 de section 5,65cm<sup>2</sup>/ml.

**-Condition de non fragilité :**

La section minimale :  $A_{st \min} \geq 0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28} / f_e \Rightarrow A_{st \min} \geq 1,63cm^2 \dots CV$

### -Armature de répartition :

$$A_r = A_{st}/4 = 5,65/4 = 1,41 \text{ cm}^2$$

On choisit : **5T10** de section 3,93 cm<sup>2</sup>/ml.

✚ En appuis :

$$\mu_u = \frac{Mu}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{14,08 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 0,135^2 \cdot 14,17} = 0,055 < \mu_r = 0,392 \Rightarrow \text{La section est de simple armature, les armatures de compression ne sont pas nécessaires.}$$

$$A_{st} = \frac{Mu}{z \cdot \sigma_{st}} \Rightarrow Z = d \cdot (1 - 0,4\alpha) ; \alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0,07 \Rightarrow Z = 0,131 \text{ m}$$

Donc : **A<sub>st</sub> = 3,09 cm<sup>2</sup>** On choisit : **5T12** de section 5,65 cm<sup>2</sup>/ml.

### -Condition de non fragilité :

La section minimale :  $A_{st \min} \geq 0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28} / f_e \Rightarrow A_{st \min} \geq 1,63 \text{ cm}^2 \dots \text{CV}$

### L'espace :

$$e \leq \min(3h ; 33 \text{ cm}) \Rightarrow e \leq \min(45 \text{ cm} , 33 \text{ cm}) \Rightarrow e \leq 33 \text{ cm}$$

On prend : e = 20 cm.

### -Armature de répartition :

$$A_r = A_{st}/4 = 5,65/4 = 1,41 \text{ cm}^2$$

On choisit : **5T10** de section 3,93 cm<sup>2</sup>/ml.

**Tableau 13 : Ferrailage d'escalier**

| Type de volée | $\mu_u$ |        | $A_{st \text{ calculé }} (cm^2 / ml)$ |        | $A_{min} (cm^2 / ml)$ | $A_{st \text{ adoptée }} (cm^2 / ml)$ |           | $A_r (cm^2 / ml)$ |           |
|---------------|---------|--------|---------------------------------------|--------|-----------------------|---------------------------------------|-----------|-------------------|-----------|
|               | travée  | appuis | travée                                | appuis |                       | travée                                | appuis    | travée            | appuis    |
| Volée 1       | 0,093   | 0,055  | 5,38                                  | 3,09   | 1,63                  | 5T12=5,65                             | 5T12=5,65 | 5T10=3,93         | 5T10=3,93 |
| Volée 2       | 0,093   | 0,055  | 5,38                                  | 3,09   | 1,63                  | 5T12=5,65                             | 5T12=5,65 | 5T10=3,93         | 5T10=3,93 |
| Volée 3       | 0,084   | 0,049  | 5,17                                  | 2,98   | 1,74                  | 5T12=5,65                             | 5T12=5,65 | 5T10=3,93         | 5T10=3,93 |

### -L'espace :

$$e \leq \min(4.h ; 45 \text{ cm}) \Rightarrow e \leq \min(60 \text{ cm} , 45 \text{ cm}) \Rightarrow e \leq 45 \text{ cm}$$

On prend : e = 20 cm.

### -Condition du RPA99 version 2003 :

$$A_{min} = 0,5\% \cdot b \cdot h = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 15 = 7,5 \text{ cm}^2 \dots \text{[CV]}$$

**Car on a choisi : 5T12+5T12=10T12=11,31 cm<sup>2</sup>/ml.**

### • ELS :

\*position de l'axe neutre :

$$\frac{b \cdot X_s^2}{2} - 15 \cdot A_{st}(d - X_s) = 0 \Rightarrow 50 \cdot X_s^2 - 15 \cdot 5,65(13,5 - X_s) = 0 \Rightarrow X_s = 4,01 \text{ cm}$$

\*moment d'inertie :

$$I = \frac{b \cdot X_s^3}{3} + 15 \cdot A_{st}(d - X_s)^2 = 9782,02 \text{ cm}^4$$

### \*calcul des contraintes :

✚ En travée :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_s \cdot X_s}{I} = \frac{17,14 \cdot 0,001 \cdot 0,04}{9782,02 \cdot 10^{-8}} = 3,5 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ MPa} \dots \text{CV}$$

✚ En appuis :

### \*calcul des contraintes :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_s \cdot X_s}{I} = \frac{10,09 \cdot 0,001 \cdot 0,04}{9782,02 \cdot 10^{-8}} = 3,11 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ MPa} \dots \dots \text{CV}$$

### \*Vérification au cisaillement :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b \cdot d} \leq \overline{\tau}_u \text{ avec : } \overline{\tau}_u = \min (0,2 \cdot f_{c28} / \gamma_b ; 5 \text{ MPa}) = 3,33 \text{ MPa}$$

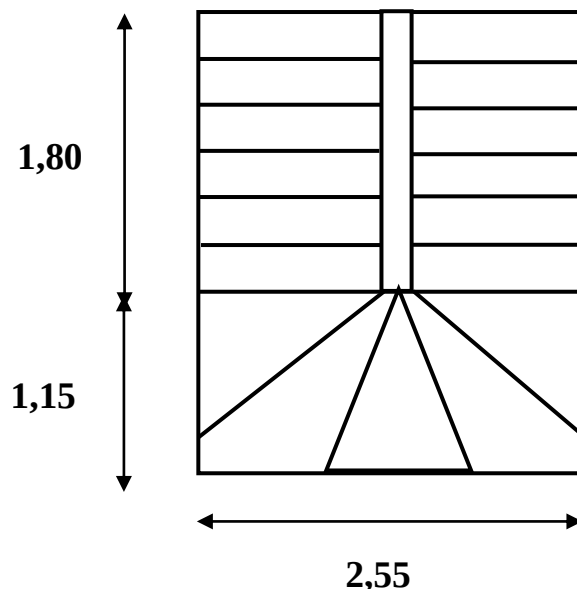
$$\tau_u = \frac{26,6 \cdot 0,001}{1 \cdot 0,135} = 0,20 \text{ MPa} \leq \overline{\tau}_u \dots \dots \dots \text{CV.}$$

Donc Les armatures transversales ne sont pas nécessaires.

### **b) Escalier balancé : du 5 ème étage jusqu'à la 12ème étage**

#### \*Dimension d'escalier :

On va étudier ce type d'escalier par l'utilisation de logicielle SAP2000.



**Tableau 14 :** Description d'escalier balancé

| N° d'étage                        | He (m) | 2ème type d'escalier |         |         |        |        |          |         |         |         |
|-----------------------------------|--------|----------------------|---------|---------|--------|--------|----------|---------|---------|---------|
|                                   |        | Nombre des marches   |         |         | g (cm) | h (cm) | $\alpha$ |         |         | ev (cm) |
|                                   |        | Volée 1              | Volée 2 | Volée 3 |        |        | Volée 1  | Volée 2 | Volée 3 |         |
| 5ème étage jusqu'à la 12ème étage | 3.06   | 6                    | 5       | 6       | 30     | 17     | 29,53    | 34,22   | 40,36   | 15      |

**\*Descente des charges des escaliers :**

La descente des charges est calculée comme suit :

➤ **Paillasse :** Tableau 15 : Descente des charges de Paillasse

| N°                        | Désignation                  | Ep[m] | Masse volumique [KN/m3] | Poids [KN/m²]                |
|---------------------------|------------------------------|-------|-------------------------|------------------------------|
| 1                         | Carrelage horizontale.       | 0.02  | 22                      | 0.44                         |
| 2                         | Mortier de pose horizontale. | 0.02  | 20                      | 0.4                          |
| 3                         | Lit de sable.                | 0.02  | 18                      | 0.36                         |
| 4                         | Carrelage verticale.         | 0.02  | 22                      | $0.44 \cdot h/g = 0.23$      |
| 5                         | Mortier de pose verticale.   | 0.02  | 20                      | $0.40 \cdot h/g = 0.21$      |
| 6                         | Poids propre de paillasse.   | 0.15  | 25                      | $3.75 / \cos(\alpha)$        |
| 7                         | Poids propre de la marche.   | /     | 22                      | $22 \cdot h/2 = 1.76$        |
| 8                         | Garde-corps.                 | /     | /                       | 0.1                          |
| 9                         | Enduit en ciment.            | 0.02  | 18                      | 0.36                         |
| Charge permanente G :     |                              |       |                         | <b>3.86 + Gp.p.paillasse</b> |
| Charge d'exploitation Q : |                              |       |                         | <b>2.50</b>                  |

Avec : **Gp.p.paillasse** dépend de l'inclinaison de volée (paillasse).

**-La charge permanente des différentes volées :**

**Tableau 16 :** La charge permanente des différentes volées

| N°            | $\alpha$ | Gp.p.paillasse [KN/m²] | G Total [KN/m²] |
|---------------|----------|------------------------|-----------------|
| <b>Volée1</b> | 29,53°   | 4,30                   | <b>8,16</b>     |
| <b>Volée2</b> | 34,22°   | 4,53                   | <b>8,39</b>     |
| <b>Volée3</b> | 33,41°   | 4,49                   | <b>8,35</b>     |

### \*Détermination des efforts internes :

#### ➤ Première volée :

La charge permanente sur la volée :

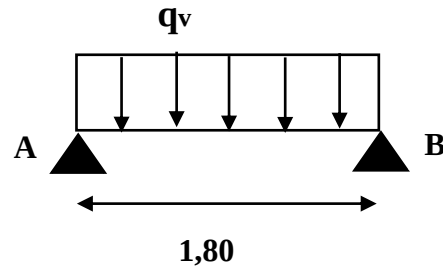
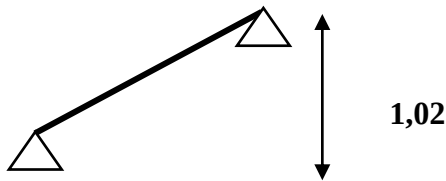
$$G=8.16 \text{ KN/m}^2.$$

$$Q=2.5 \text{ KN/m}^2.$$

-Calcul à l'ELU :

La charge qui revient sur la volée :

$$q_v = 1,35G_v + 1,5q_v = 14,77 \text{ KN/ml}$$



### \*Calcul des sollicitations :

Le calcul se fera pour une poutre isostatique, on trouve :

$$M_{\max} = 5,98 \text{ KN.m}$$

$$T_{\max} = 13,29 \text{ KN}$$

$$M_t = 0,85 M_{\max} = 5,08 \text{ KN.m}$$

$$M_a = 0,5 M_{\max} = 2,99 \text{ KN.m}$$

### \*Détermination du ferrailage :

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau suivant :

| En travée  |       |          |       |                                  |                                  |         |
|------------|-------|----------|-------|----------------------------------|----------------------------------|---------|
| Mu (KN. m) | Mu    | $\alpha$ | Z (m) | A calculée (cm <sup>2</sup> /ml) | A adoptée (cm <sup>2</sup> / ml) | St (cm) |
| 5,08       | 0.019 | 0,025    | 0.134 | 0,813                            | 4T12=4,52                        | 20      |
| En appui   |       |          |       |                                  |                                  |         |
| 2,99       | 0.012 | 0.016    | 0.134 | 0,62                             | 4T12=4,52                        | 20      |

### -Condition de non fragilité :

La section minimale :  $A_{st \min} \geq 0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28} / f_e \Rightarrow A_{st \min} \geq 1,63 \text{ cm}^2 \dots \text{CNV}$

On va ferrailer avec  $A_{st \min}$ . On choisit : En travée : **4T12** de section 4,52 cm<sup>2</sup>/ml.

En appuis : **4T12** de section 4,52 cm<sup>2</sup>/ml.

### -Armature de répartition :

$$A_r = A_{st} / 4 = 4,52 / 4 = 1,13 \text{ cm}^2$$

On choisit : **4T10** de section 3,14 cm<sup>2</sup>/ml.

### -Condition du RPA99 version 2003 :

$$A_{\min} = 0,5\% \cdot b \cdot h = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 15 = 7,5 \text{ cm}^2 \dots \text{CV}$$

**Car on a choisi : 4T12+4T12=9.04cm<sup>2</sup>/ml.**

### -L'espacement :

$$e \leq \min(4 \cdot h ; 45 \text{ cm}) \Rightarrow e \leq \min(60 \text{ cm} , 45 \text{ cm}) \Rightarrow e \leq 45 \text{ cm}$$

On prend :  $e = 20 \text{ cm}$ .

### ➤ Deuxième volée :

#### \*détermination des sollicitations :

À partir de sap2000 on a :

$M_{max} = 13,53 \text{ KN.m}$

$T_{max} = 25,06 \text{ KN}$

$M_t = 0,85 M_{max} = 11,50 \text{ KN.m}$

$M_a = 0,5 M_{max} = 6,77 \text{ KN.m}$

#### \*Détermination du ferrailage :

Les résultats de calcul sont présentés dans le tableau suivant :

| En travée     |       |          |       |                                     |                                     |         |
|---------------|-------|----------|-------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------|
| Mu<br>(KN. m) | Mu    | $\alpha$ | Z (m) | A calculée<br>(cm <sup>2</sup> /ml) | A adoptée<br>(cm <sup>2</sup> / ml) | St (cm) |
| 11,50         | 0,019 | 0,044    | 0,132 | 2,51                                | 4T12=4.52                           | 20      |
| En appui      |       |          |       |                                     |                                     |         |
| 6,77          | 0,026 | 0,016    | 0,133 | 1,46                                | 4T12=4,52                           | 20      |

#### -Condition de non fragilité :

La section minimale :  $A_{st \min} \geq 0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28} / f_e \Rightarrow A_{st \min} \geq 1,63 \text{ cm}^2 \dots \text{CV}$

#### -Armature de répartition :

$A_r = A_{st} / 4 = 4,52 / 4 = 1,13 \text{ cm}^2$

On choisit : **4T10** de section 3,14 cm<sup>2</sup>/ml.

#### -Condition du RPA99 version 2003 :

$A_{\min} = 0,5\% \cdot b \cdot h = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 15 = 7,5 \text{ cm}^2 \dots \text{CV}$

**Car on a choisi : 4 T12+4T10=7,66cm<sup>2</sup>/ml.**

#### -L'espacement :

$e \leq \min(4 \cdot h ; 45 \text{ cm}) \Rightarrow e \leq \min(60 \text{ cm} , 45 \text{ cm}) \Rightarrow e \leq 45 \text{ cm}$

On prend :  $e = 20 \text{ cm}$ .

**Tableau 17 : Ferrailage d'escalier**

| Type de volée | $\mu_u$ |        | $A_{st \text{ calculé}}$<br>(cm <sup>2</sup> / ml) |        | $A_{\min}$<br>(cm <sup>2</sup> /ml) | $A_{st \text{ adoptée}}$<br>(cm <sup>2</sup> / ml) |           | $A_r$<br>(cm <sup>2</sup> /ml) |           |
|---------------|---------|--------|----------------------------------------------------|--------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------|--------------------------------|-----------|
|               | travée  | appuis | travée                                             | appuis |                                     | travée                                             | appuis    | travée                         | appuis    |
| Volée 1       | 0,019   | 0,012  | 0,81                                               | 0,62   | 1,63                                | 4T12=4,52                                          | 4T12=4,52 | 4T10=3,14                      | 4T10=3,14 |
| Volée 2       | 0,019   | 0,026  | 2,51                                               | 1,46   | 1,63                                | 4T12=4,52                                          | 4T12=4,52 | 4T10=3,14                      | 4T10=3,14 |
| Volée 3       | 0,019   | 0,012  | 0,81                                               | 0,62   | 1,63                                | 4T12=4,52                                          | 4T12=4,52 | 4T10=3,14                      | 4T10=3,14 |

- **ELS :**

\*position de l'axe neutre :

$$\frac{b \cdot X_s^2}{2} - 15 \cdot A_{st}(d - X_s) = 0 \Rightarrow 50 \cdot X_s^2 - 15 \cdot 4,52 \cdot (13,5 - X_s) = 0 \Rightarrow X_s = 3,7 \text{ cm}$$

\*moment d'inertie :

$$I = \frac{b \cdot X_s^3}{3} + 15 \cdot A_{st}(d - X_s)^2 = 8199 \text{ cm}^4$$

✚ En travée :

\*calcul des contraintes :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_s \cdot X_s}{I} = \frac{8,31 \cdot 0,001 \cdot 0,037}{8199 \cdot 10^{-8}} = 3,7 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{CV}$$

✚ En appuis :

\*calcul des contraintes :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_s \cdot X_s}{I} = \frac{4,856 \cdot 0,001 \cdot 0,037}{8199 \cdot 10^{-8}} = 2,5 < \overline{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{CV}$$

\***Vérification au cisaillement :**

$$\tau_u = \frac{T_u}{b \cdot d} \leq \overline{\tau}_u \text{ avec : } \overline{\tau}_u = \min (0,2 \cdot f_{c28} / \gamma_b ; 5 \text{ MPa}) = 3,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = \frac{25,06 \cdot 0,001}{1 \cdot 0,135} = 0,20 \text{ MPa} \leq \overline{\tau}_u \dots\dots\dots \text{CV.}$$

Donc Les armatures transversales ne sont pas nécessaires.



#### IV.4. Étude de L'acrotère :

##### 1-Introduction :

L'acrotère est un élément en béton armé, de protection qui se trouve au niveau de terrasse inaccessible, le rôle de l'acrotère est d'empêcher l'écoulement de l'eau, et de protéger des personnes. L'acrotère sera calculé comme une console en flexion composée pour une bande de 1 m de largeur sous l'effet d'un effort normale du au poids propre et un moment de flexion du au surcharge.

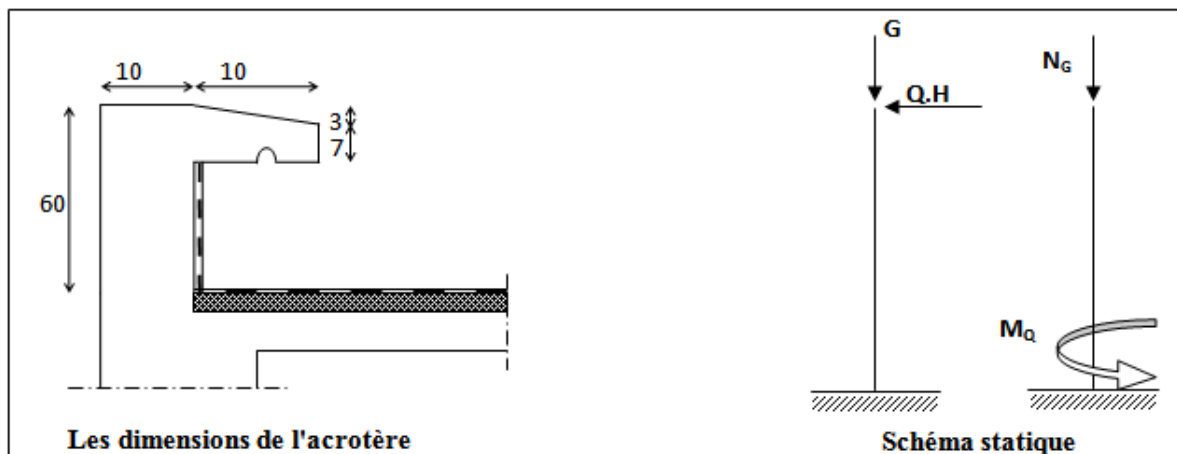


Figure 17 : Détails et modélisation de l'acrotère

##### 2-Evaluation des charges et Surcharges :

###### ✓ Charge permanente :

-Poids propre de l'acrotère :

$$S = (0.6 \times 0.1) + (0.1 + 0.7) \times 0.1 / 2 = 0.0685 \text{ m}^2$$

$$g = S \times \gamma_{\text{beton}} = 0.0685 \times 25 = 1.712 \text{ kN/m}$$

-Poids de l'enduit de ciment :

$$g' = (0.6 + 0.1 + 0.104 + 0.07 + 0.1 + 0.5) \times 0.02 \times 18 = 0.53 \text{ kN/m}$$

$$G = g + g' = \boxed{2.242 \text{ kN/ml}}$$

$$\boxed{Q = 1 \text{ kN/ml}}$$

###### ✓ Actions climatiques :

-Evaluation de la charge sismique : D'après le R.P.A 99 V2003

$$FP = 4 \times A \times CP \times WP \quad \text{Avec :}$$

FP : force horizontale.

A : coefficient d'accélération de zone d'usage :  $A = 0,10$

CP : facteur de force horizontale : CP=0,8

WP : poids propre.

$$FP = 4 * (0,1) * (0,8) * (2.242) = 0.717 \text{ kN/ml}$$

$$\boxed{FP = 0.717 \text{ kN/ml}}$$

**-Evaluation de la charge de vent : D'après le R. N. V 1999**

$$Q_v = q_d * C_d * C_p \text{ avec : } Q_{ref} = 387 \text{ N/m}^2 ; c_d = 1$$

$$Q_v = 1,35 \text{ KN / m}^2 ; C_p = 2 ; c_e = 1,80 ; d = 0,30$$

✓ **Combinaison d'action :**

$$\text{ELU} \quad \left\{ \begin{array}{l} 1,35 G + 1.5 Q_v \\ 1,35 G + 1.5 Q \end{array} \right.$$

$$\text{ELS} = Q + G$$

$$\text{Accidentelle } G + Q \pm E$$

\*ELU

$$Q_u = 1.35 G + 1.5 Q \quad \left\{ \begin{array}{l} x = 1.5 Q = 1.5 \text{ kN/ml} \\ y = 1.35 G = 3.027 \text{ kN/ml} \end{array} \right.$$

$$Q_{acci} = G + Q \pm E \quad \left\{ \begin{array}{l} x = Q \pm E = 1 + 0.717 = 1.717 \text{ kN/ml} \\ M = \pm 1 * 0.6 + 0.717 * 0.3 = \pm 0.815 \text{ KN.m} \\ Y = G = 2.24 \text{ kN/ml} \end{array} \right.$$

\*ELS :

$$Q_s = G + Q ; \quad \left\{ \begin{array}{l} x = 1 \text{ kN/ml} \\ Y = 1 * 0.6 = 0.6 \text{ KN/m} \end{array} \right.$$

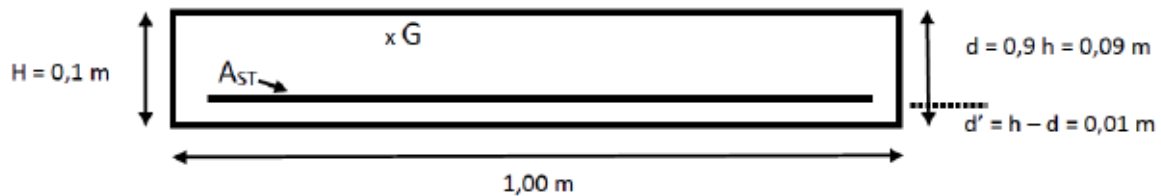
$$Q_s = G + V ; \quad \left\{ \begin{array}{l} x = 1.35 \text{ kN/ml} \\ M = 1.35 * 0.3 = 0.405 \text{ KN.m} \\ y = 2.242 \text{ kN/ml} \end{array} \right.$$

✓ **Combinaison fondamentale :**

- ELU :  $\left\{ \begin{array}{l} N_u = 3.027 \text{ KN} \\ M_u = 0.815 \text{ KN.m} \end{array} \right.$

- ELS :  $\begin{cases} M_s = 0.6 \text{ KN.m} \\ N_s = 2.242 \text{ KN} \end{cases}$

### 3-Calcul de ferrailage :



#### ✓ Calcul de l'excentricité :

$$e = M_u / N_u = 0.27 \text{ m} > h / 6 = 0.017 \text{ m}$$

⇒ **Section partiellement comprimé**

$$\begin{cases} N_u : \text{force de compression} \\ c : \text{centre de pression l'extérieur du noyau central.} \end{cases}$$

$$\Rightarrow e_a = e + d$$

$$M_t = M_u + N_u (d - h/2)$$

$$M_t = 0.815 \cdot 10^{-3} + 231,188(0,09 - 0,10/2)$$

$$M_t = 9.36 \cdot 10^{-4} \text{ MN.m}$$

#### ✓ Calcul du moment réduit ( $\mu_u$ ) :

$$f_{bc} = 14.17 ; d = 0.09 \text{ m} ; b = 1.00 \text{ m}$$

$$\mu_u = M_t / b \cdot d^2 \cdot f_{bc} \Rightarrow \mu_u = 0.00815 < \mu_r = 0.0392$$

⇒ la section a simple armature SSA.

| $\mu_u$ | $\alpha$ | Z (m) | Ast (cm <sup>2</sup> ) |
|---------|----------|-------|------------------------|
| 0.00185 | 0.0102   | 0.896 | 0.213                  |

#### ✓ Condition de non fragilité :

On prend la section minimale

$$A_{st \text{ mini}} > 0.23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28} / f_e$$

$$A_{st \text{ mini}} > 1.09 \text{ cm}^2$$

$$A_{st \text{ mini}} > A_{st} \dots \dots \dots \text{CNV}$$

Donc le ferrailage choisi est  $A_{st} = 4\phi 8 = 2.01 \text{ cm}^2$

### ✓ Armature de répartition :

$$A_r = A_{st} / 4 = 2.01 / 4 = 0.5 \text{ cm}^2$$

Donc on prend  $4\emptyset 8 = 2.01 \text{ cm}^2$

### Calcule espacement :

$$S_t = \min (3h, 33\text{cm}) ; \quad S_t = 30 \text{ cm}$$

ELS :

$$M_s = 0.6 \text{ KN.m}, \quad N_s = 2.242 \text{ KN}$$

$$e = M_s / N_s = 0.268 \text{ m}$$

$$e_1 = \sqrt[3]{-p * e_1 - q} \quad ; \quad e_1 = 0.5$$

$$p = -3 \left( e - \frac{h}{2} \right)^2 + \frac{6 * n * A_1}{b} * \left( e - \frac{h}{2} + d \right)$$

$$p = -0.137$$

$$q = -2 \left( \frac{h}{2} - e \right)^3 - \frac{6 * n * A_1}{b} * \left( e - \frac{h}{2} + d \right)^2$$

$$q = 0.019$$

### ✓ Méthode des itérations successives :

On prend la valeur de :  $e_1 = 0.5 \text{ m}$

|            |   |              |
|------------|---|--------------|
| <b>0.5</b> | → | 0.367        |
| 0.367      | ← | 0.315        |
| 0.315      | ← | 0.289        |
| 0.289      | ← | 0.274        |
| 0.274      | ← | 0.265        |
| 0.265      | ← | 0.257        |
| 0.257      | ← | 0.253        |
| 0.253      | ← | 0.245        |
| 0.245      | ← | 0.243        |
| 0.243      | ← | 0.242        |
| 0.242      | ← | 0.241        |
| 0.241      | ← | <b>0.241</b> |

Donc  **$e_1 = 0.241 \text{ m}$**

$$x = \frac{h}{2} + e_1 - e = \frac{0.1}{2} + 0.241 - 0.268$$

$$x = 0.023 \text{ m}$$

$$s = \frac{bx^2}{2} - n * A_{st} * (d - x) = \frac{1 * 0.023^2}{2} - 15 * 2.01 * 10^{-4} * (0.09 - 0.023)$$

$$s = 6.249 * 10^{-5} \text{ m}^4$$

✓ **Calcul des contraintes :**

$$\overline{\sigma}_{bc} = \frac{N_s x}{s} = \frac{2.242 * 10^{-3} * 0.023}{6.249 * 10^{-5}}$$

$$\sigma_{bc} = 0.79 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 0.6 \times f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

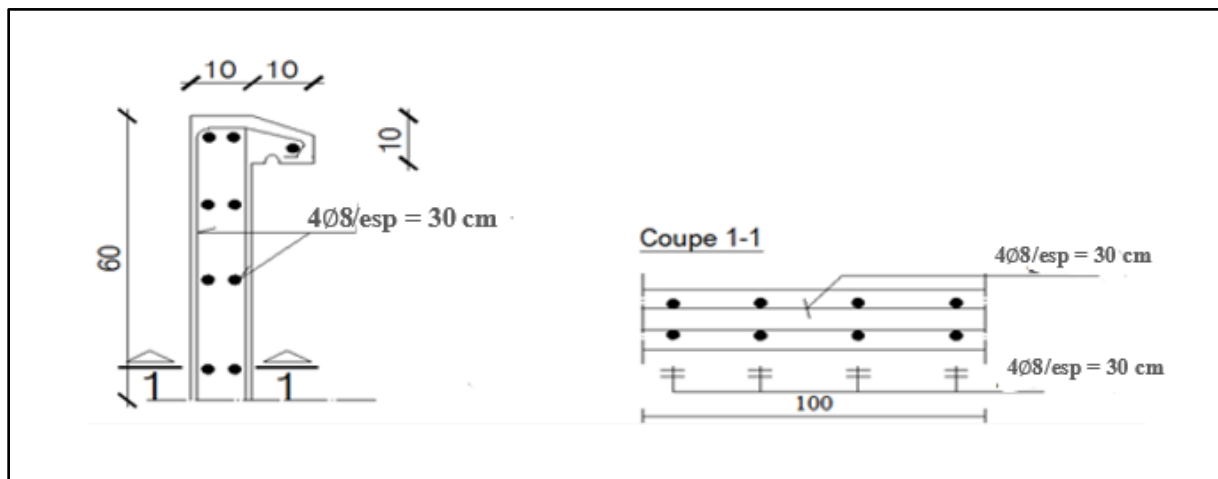
$$\sigma_{bc} < \overline{\sigma}_{bc} \dots\dots\dots \text{CV}$$

$$\sigma_{st} = \frac{15 * 2.242 * 10^{-3} * (0.09 - 0.023)}{6.249 * 10^{-5}} = 36.057 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} = \min(2/3 * f_{te} ; 110(\eta * f_{tj})^{1/2}) \quad \text{Fissuration préjudiciable, avec : } \eta = 1,6$$

$$\overline{\sigma}_{st} = 201,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{st} < \overline{\sigma}_{st} \dots\dots\dots \text{CV}$$



**Figure 18 : Schéma de ferrailage de l'acrotère.**

### IV.5. Étude des dalles pleines :

#### 1-Introduction :

Une dalle pleine est un élément horizontal en béton armé constituant une séparation entre deux niveaux d'une habitation dont l'épaisseur est relativement faible par rapport aux autres dimensions, qui peut reposer avec ou sans continuité sur 2, 3 ou 4 appuis.

Le calcul d'une dalle pleine dépend essentiellement du rapport  $\rho = \frac{l_x}{l_y}$

$l_x$  : La plus petite dimension du panneau.

$l_y$  : La plus grande dimension du panneau.

Si  $\rho \leq 0.4$  La dalle travail suivant un seul sens.

Si  $\rho \geq 0.4$  La dalle travail suivant les deux sens.

#### 2-Calcul du Planchers d'étages et RDC :

##### ❖ Chargement :

Charge permanente  $G=7.55 \text{ kN/m}^2$

Charge d'exploitation  $Q= 1.50 \text{ kN/m}^2$

##### ❖ Combinaison :

ELU :  $P_u = 1,35 \times 7,55 + 1,5 \times 1,5 = 12,44 \text{ kN/ml}$  ;

ELS :  $P_s = 9.05 \text{ kN/m}$

##### ❖ Détermination du sens de portée de la dalle

$$\rho = \frac{4.55}{7.8} = 0.58 > 0.4 \longrightarrow \text{la dalle porte dans les deux sens}$$

##### ❖ Calcul des moments fléchissant (Méthode B.A.E.L 91) :

$$M_x = \mu_x * P * l_x^2$$

$$M_y = \mu_y * M_x$$

Coefficients  $\mu_x$  et  $\mu_y$  à l'ELU ( $v = 0$ )

$$\mu_x = 0.0851 ; \mu_y = 0.2703$$

Coefficients  $\mu_x$  et  $\mu_y$  à l'ELS ( $v = 0.2$ )

$$\mu_x = 0.0897 ; \mu_y = 0.4462$$

$$\bullet \text{ ELU : } \begin{cases} M_x = 0.0851 * 12.44 * 4.55^2 = 21.92 \text{ kN.m} \\ M_y = 0.2703 * 21.92 = 5.92 \text{ kN.m} \end{cases}$$

$$\bullet \text{ ELS : } \begin{cases} M_x = 0.0897 * 9.05 * 4.55^2 = 16.80 \text{ kN.m} \\ M_y = 0.4462 * 16.80 = 7.49 \text{ kN.m} \end{cases}$$

### ❖ Les moments totaux appliqués sur la dalle :

#### ➤ Pour $M_x$ :

##### a. ELU :

$$M_x = 21.92 \text{ KN.m}$$

$$M_t = 0.8 M_x = 17.536 \text{ KN.m}$$

$$M_g = 0.3 M_x = 6.576 \text{ KN.m} \quad (\text{Appuis de rive})$$

$$M_d = 0.5 M_x = 10.96 \text{ KN.m} \quad (\text{Les autres appuis})$$

$$\bullet \text{ Condition de B.A.E.L : } M_t + \frac{M_g + M_d}{2} \geq 1.25 M_x$$

$$17.536 + \frac{6.576 + 10.96}{2} = 26.304 \text{ KN.m} < 27.4 \text{ KN.m} \quad \text{CNV}$$

$$\text{On augment } M_t = 0.85 M_x = 18.63 \text{ KN.m}$$

$$18.632 + \frac{6.576 + 10.96}{2} = 27.4 \text{ KN.m} \geq 1.25 M_x \quad \text{CV}$$

##### b. ELS :

$$M_x = 16.80 \text{ KN.m}$$

$$M_t = 0.8 M_x = 13.44 \text{ KN.m}$$

$$M_g = 0.3 M_x = 5.04 \text{ KN.m} \quad (\text{Appuis de rive})$$

$$M_d = 0.5 M_x = 8.4 \text{ KN.m} \quad (\text{Les autres appuis})$$

$$\text{Condition de B.A.E.L : } M_t + \frac{M_g + M_d}{2} \geq 1.25 M_x$$

$$13.44 + \frac{5.04 + 8.4}{2} = 20.16 \text{ KN.m} < 21 \text{ KN.m} \quad \text{CNV}$$

$$\text{On augment } M_t = 0.85 M_x = 14.28 \text{ KN.m}$$

$$14.28 + \frac{5.04 + 8.4}{2} = 21 \text{ KN.m} \geq 1.25 M_x \quad \text{CV}$$

#### ➤ Pour $M_y$ :

##### a. ELU :

$$M_y = 5.92 \text{ KN.m}$$

$$M_t = 0.8 M_y = 4.736 \text{ KN.m}$$

$$M_g = 0.3 M_y = 1.776 \text{ KN.m} \quad (\text{Appuis de rive})$$

$$M_d = 0.5 M_y = 2.96 \text{ KN.m} \quad (\text{Les autres appuis})$$

$$\text{Condition de B.A.E.L : } M_t + \frac{M_g + M_d}{2} \geq 1.25 M_y$$

$$4.736 + \frac{1.776 + 2.96}{2} = 7.104 \text{ KN.m} < 7.4 \text{ KN.m} \quad \text{CNV}$$

$$\text{On augment } M_t = 0.85 M_y = 5.032 \text{ KN.m}$$

$$5.032 + \frac{1.776 + 2.96}{2} = 7,4 \text{ KN.m} \geq 1.25M_y \quad \text{CV}$$

b. ELS :

$$M_y = 7.49 \text{ KN.m}$$

$$M_t = 0.8 M_y = 5.992 \text{ KN.m}$$

$$M_g = 0.3 M_y = 2.247 \text{ KN.m} \quad (\text{Appuis de rive})$$

$$M_d = 0.5 M_y = 3.745 \text{ KN.m} \quad (\text{Les autres appuis})$$

- Condition de B.A.E.L :  $M_t + \frac{M_g + M_d}{2} \geq 1.25 M_y$

$$5.992 + \frac{2.247 + 3.745}{2} = 8.988 \text{ KN.m} < 9.362 \text{ KN.m} \quad \text{CNV}$$

$$\text{On augment } M_t = 0.85 M_y = 6.366 \text{ KN.m}$$

$$6.366 + \frac{2.247 + 3.745}{2} = 8.988 \text{ KN.m} \geq 1.25 M_y \quad \text{CV}$$

**Tableau18** : Récapitulation des moments totaux appliqués sur la dalle d'étages.

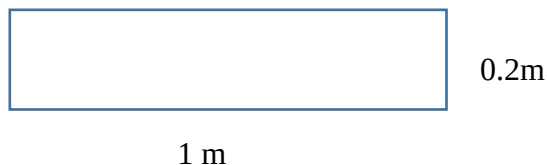
|     | $M_x$ (KN.m) | $M_y$ (KN.m) | $M_{a_{\max}}$ (KN.m) | $M_{t_{\max}}$ (KN.m) |
|-----|--------------|--------------|-----------------------|-----------------------|
| ELU | 21.92        | 5.92         | 10.96                 | 17.536                |
| ELS | 16.80        | 7.49         | 8.4                   | 13.44                 |

### ❖ Calcul du ferrailage de la dalle :

On adoptera le même ferrailage suivant les deux directions pour une bande 1 m en flexion simple.

$$M_t = 17.536 \text{ KN.m}$$

$$M_a = 10.96 \text{ KN.m}$$



$$f_{bc} = 14.17 \text{ MPa} ; \sigma_{st} = 348 \text{ MPa} ; \mu = \frac{M_{ut}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} ; \alpha = 1.25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}) ; Z = d \cdot (1 - 0.4 \cdot \alpha) ;$$

$$A_{st} = \frac{M}{Z \cdot \sigma_{st}}$$

|       | $\mu$  | $\alpha$ | $Z$   | $A_{st}(\text{cm}^2)$ | choix     |
|-------|--------|----------|-------|-----------------------|-----------|
| $M_t$ | 0.0381 | 0.048    | 0.176 | 2.86                  | 5T10=3.93 |
| $M_a$ | 0.0238 | 0.0301   | 0.177 | 1.77                  | 5T10=3.93 |



- **Condition de non fragilité :**

$$A_{st\ mini} > 0.23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28} / f_e = 0.23 \cdot 100 \cdot 18 \cdot 2.1 / 400 = 2.17 \text{ cm}^2$$

- **Armature de répartition :**

En travée et en appui  $A_r = A_{st} / 4 = 3.93 / 4 = 0.98 \text{ cm}^2$

En prend : 5T10=3.93 cm<sup>2</sup>

- **Espacement :**

$St < \min(3h ; 33 \text{ cm})$  Direction la plus sollicitée (B.A.E.L 91)

$St = 100 / 4 = 25 \text{ cm} < \min(60 ; 33 \text{ cm})$  CV

❖ **Vérification à l'ELS :**

$$\alpha \leq \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} ; \text{ avec : } \gamma = \frac{M_u}{M_s}$$

**-Travée :**

$M_u = 17.536 \text{ KN.m} ; M_s = 13.44 \text{ KN.m}$

$$\gamma = \frac{17.536}{13.44} = 1.304$$

$$\alpha \leq \frac{1.304-1}{2} + \frac{25}{100} \longrightarrow \alpha = 0.084 < 0.402 \dots \text{CV}$$

**-En appuis :**

$M_u = 450 \text{ KN.m} ; M_s = 400 \text{ KN.m}$

$$\gamma = \frac{450}{400} = 1.125$$

$$\alpha \leq \frac{1.125-1}{2} + \frac{25}{100} \longrightarrow \alpha = 0.078 < 0.312 \dots \text{CV}$$

**Vérification de la contrainte de cisaillement :**

$$\tau = \frac{T_u}{bd} = \frac{0.02191}{1 \cdot 0.9 \cdot 0.2} = 0.1217 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} = \min\left(\frac{0.15}{\gamma_b} f_{c28} ; 5 \text{ MPa}\right) = 2.5 \text{ MPa.}$$

Alors :  $\tau < \bar{\tau} \rightarrow$  condition vérifiée

### 3-calcul du Plancher sous-sol 1 :

\*Charge permanente  $G = 7.55 \text{ kN/m}^2$

\*Charge d'exploitation  $Q = 2.50 \text{ kN/m}^2$

\* $\rho = \frac{4.55}{7.8} = 0.58 > 0.4$  la dalle porte dans les deux sens

**Tableau19** : Synthèse du calcul des aciers pour plancher du 1ere sous-sol.

|                                               | appui              | travée        |
|-----------------------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>Moments (KN.m)</b>                         | $M_x = 12.28$      | $M_x = 20.88$ |
|                                               | $M_y = 3.32$       | $M_y = 5.64$  |
| <b>Sections d'acier (cm<sup>2</sup>/ml)</b>   | $A_x = 2.11$       | $A_x = 3.63$  |
|                                               | $A_y = 0.56$       | $A_y = 0.96$  |
| <b>Sections minimales (cm<sup>2</sup>/ml)</b> | 2.17               | 2.17          |
| <b>Sections adopté (cm<sup>2</sup>/ml)</b>    | 5T10 = 3.93        | 5T10 = 3.93   |
| <b>Espacements (cm)</b>                       | St = 25            | St = 25       |
| <b>Contrainte cisaillement (MPa)</b>          | $\tau = 0.1364$    |               |
| <b>Contrainte cisaillement adm. (MPa)</b>     | $\bar{\tau} = 2.5$ |               |

#### 4-calcul du Plancher terrasse accessible :

\*Charge permanente  $G = 6.52 \text{ kN/m}^2$

\*Charge d'exploitation  $Q = 1.50 \text{ kN/m}$

**Tableau20** : Synthèse du calcul des aciers pour plancher de la terrasse accessible.

|                                               | appui              | travée        |
|-----------------------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>Moments (KN.m)</b>                         | $M_x = 9.74$       | $M_x = 16.55$ |
|                                               | $M_y = 2.63$       | $M_y = 4.74$  |
| <b>Sections d'acier (cm<sup>2</sup>/ml)</b>   | $A_x = 1.67$       | $A_x = 2.86$  |
|                                               | $A_y = 0.45$       | $A_y = 0.76$  |
| <b>Sections minimales (cm<sup>2</sup>/ml)</b> | 2.17               | 2.17          |
| <b>Sections adopté (cm<sup>2</sup>/ml)</b>    | 5T10 = 3.93        | 5T10 = 3.93   |
| <b>Espacements (cm)</b>                       | St = 25            | St = 25       |
| <b>Contrainte cisaillement (MPa)</b>          | $\tau = 0.108$     |               |
| <b>Contrainte cisaillement adm. (MPa)</b>     | $\bar{\tau} = 2.5$ |               |

### 5-calcul du Plancher terrasse inaccessible :

\*Charge permanente  $G=8.72 \text{ kN/m}^2$

\*Charge d'exploitation  $Q= 1.00 \text{ kN/m}$

**Tableau 21** : Synthèse du calcul des aciers pour plancher de la terrasse inaccessible.

|                                               | appui              | travée        |
|-----------------------------------------------|--------------------|---------------|
| <b>Moments (KN.m)</b>                         | $M_x = 11.18$      | $M_x = 19.01$ |
|                                               | $M_y = 3.02$       | $M_y = 5.14$  |
| <b>Sections d'acier (cm<sup>2</sup>/ml)</b>   | $A_x = 1.92$       | $A_x = 3.29$  |
|                                               | $A_y = 0.52$       | $A_y = 0.87$  |
| <b>Sections minimales (cm<sup>2</sup>/ml)</b> | 2.17               | 2.17          |
| <b>Sections adopté (cm<sup>2</sup>/ml)</b>    | 5T10 = 3.93        | 5T10 = 3.93   |
| <b>Espacements (cm)</b>                       | St = 25            | St = 25       |
| <b>Contrainte cisaillement (MPa)</b>          | $\tau = 0.11$      |               |
| <b>Contrainte cisaillement adm (MPa)</b>      | $\bar{\tau} = 2.5$ |               |

### Vérification de poinçonnement : (B.A.E.L99modifié99)

$$Q \leq p = 0.045 \cdot \mu_c \cdot e \cdot f_{c28} / 1.5$$

- Q : la charge de calcul vis-à-vis de l'état limite ultime,
- h : l'épaisseur totale de la dalle,
- $\mu_c$  : le périmètre du contour au niveau du feuillet moyen.

$$\mu_c = [(l+h) + (e+h)] \cdot 2 \longrightarrow \mu_c = 10.5 \text{ m}$$

$$l = 4.65 \text{ m} ; h = 0.2 \text{ m} ; e = 0.2 \text{ m}$$

$$Q \leq 0.045 \cdot 10.5 \cdot 0.2 \cdot \frac{25 \cdot 10^3}{1.5} = 1575 \text{ kN}$$

$$Q = 812.84 \text{ kN} \leq 1575 \text{ kN} \dots\dots\dots \text{CV}$$

$\longrightarrow$  Pas de risque de poinçonnement

| n         | N1     | N2     | Q       | $\mu c$ | P    | Q<P |
|-----------|--------|--------|---------|---------|------|-----|
| SS1       | 935.47 | 122.63 | 812.84  | 10.5    | 1575 | CV  |
| SS2       | 785.48 | 412.62 | 372.86  | 10.5    | 1575 | CV  |
| RDC       | 712.24 | 735.31 | -23.07  | 10.5    | 1575 | CV  |
| 1 étage   | 637.79 | 741.68 | -103.89 | 10.5    | 1575 | CV  |
| 2 étages  | 618.78 | 657.21 | -38.43  | 10.5    | 1575 | CV  |
| 3 étages  | 523.46 | 599.72 | -76.26  | 10.5    | 1575 | CV  |
| 4 étages  | 475.63 | 527.7  | -52.07  | 10.5    | 1575 | CV  |
| 5 étages  | 441.91 | 473.62 | -31.71  | 10.5    | 1575 | CV  |
| 6 étages  | 406.13 | 374.93 | 31.2    | 10.5    | 1575 | CV  |
| 7 étages  | 324.63 | 354.52 | -29.89  | 10.5    | 1575 | CV  |
| 8 étages  | 220.42 | 286.91 | -66.49  | 10.5    | 1575 | CV  |
| 9 étages  | 174.65 | 238.56 | -63.91  | 10.5    | 1575 | CV  |
| 10 étages | 99.68  | 167.86 | -68.18  | 10.5    | 1575 | CV  |
| 11 étages | 126.12 | 48.108 | 78.012  | 10.5    | 1575 | CV  |

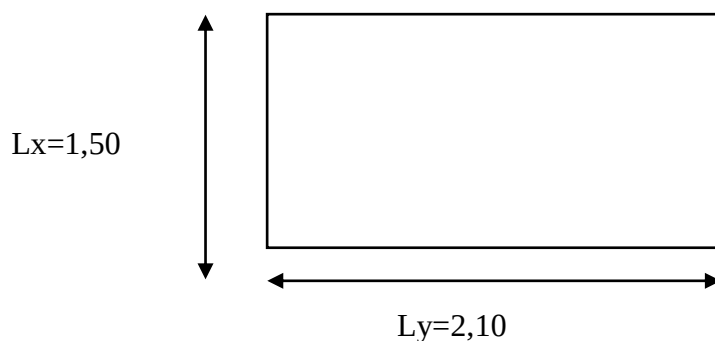
## IV.6. Étude de la dalle machine :

### 1-Introduction :

La dalle machine est une dalle pleine, qui reprend un chargement important par rapport à celle des dalles de l'étage courant ou terrasse, cela est due au mouvement de l'ascenseur ainsi qu'à son poids.

### 2-Le Pré dimensionnement :

La dalle d'ascenseur doit avoir une certaine rigidité vu le poids de la machine.



Il y a deux conditions à vérifier :

#### Résistance à la flexion :

$$Lx/50 \leq e \leq Lx/40 \Rightarrow 3 \leq e \leq 5 \text{ (cm)}$$

#### Condition de l'entreprise nationale des ascenseurs(ENA) :

Minimum exigé est de :  $e \geq 25\text{cm} \Rightarrow$  on prend :  $e=25\text{cm}$ .

### 3-determination de charge et surcharge :

### \*charge permanente :

-Poids de machine supporté  $50\text{KN/m}^2$

-Poids propre de la dalle  $0,25 \times 25 = 6,25 \text{ KN/m}^2$

$$\Rightarrow G = 56,25$$

\*charge d'exploitation :  $Q = 1 \text{ KN/m}^2$

### \* Combinaison de charges :

E.L.U :  $q_u = 1,35G + 1,5Q = 77,438 \text{ kN/m}^2$ .

E.L.S :  $q_{ser} = G + Q = 57,25 \text{ kN/m}^2$ .

### d. Calcul des efforts [RPA99V2003] :

Le calcul des efforts de la dalle se fait selon la méthode de calcul des dalles reposantes sur 4 côtés.

#### ➤ Calcul de « $\rho$ » :

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = 0,71 ; \quad 0,4 \leq \rho \leq 1 \Rightarrow \text{dalle portant dans deux sens.}$$

$$\text{-méthode B.A.E.L : } \begin{cases} M_x = \mu_x \cdot q_u \cdot L_x^2 \\ M_y = \mu_y \cdot M_x \end{cases}$$

\*ELU :

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = 0,71 \Rightarrow \begin{cases} \mu_x = 0,0671 \\ \mu_y = 0,4471 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_x = 11,69 \text{ KN.m} \\ M_y = 5,23 \text{ KN.m} \end{cases}$$

Moment en travée :

$$\begin{cases} M_{tx} = 0,85 \cdot M_x = 9,94 \text{ KN.m} \\ M_{ty} = 0,85 \cdot M_y = 4,45 \text{ KN.m} \end{cases}$$

Moment en appuis :

$$\begin{cases} M_{ax} = 0,3 \cdot M_x = 3,57 \text{ KN.m} \\ M_{ay} = 0,3 \cdot M_y = 1,57 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$M_a = \max(M_{ax} ; M_{ay}) = 3,57 \text{ KN.m}$$

### 4-ferraillage de la dalle :

Le ferraillage de la dalle machine se fait comme suit :

Pour une bande de 1m, on aura une section ( $b \times h$ ) = (100x25) cm<sup>2</sup> qui travaille en flexion simple.

#### ✚ Ferraillage en travée :

##### a. Dans le sens << $L_x$ >> :

On a :  $b = 100\text{cm}$  ;  $h = 25\text{cm}$  ;  $d = 0,9h = 22,5\text{cm}$  ;  $\sigma_{bc} = 14,17\text{MPa}$  ;  $\sigma_s = 348\text{MPa}$

**Tableau 22 :** Tableau récapitulatif des résultats de ferrailage en travée (sens  $L_x$ )

| Mtx<br>(KN.m) | $\mu_u$ | Asc<br>(cm <sup>2</sup> ) | $\alpha$ | Z (m) | Ast<br>(cm <sup>2</sup> /ml)<br>Calculée | choix | As<br>(cm <sup>2</sup> /ml)<br>adoptée |
|---------------|---------|---------------------------|----------|-------|------------------------------------------|-------|----------------------------------------|
| 9,94          | 0,013   | 0                         | 0,018    | 0,223 | 1,281                                    | 4T12  | 4,52                                   |

**\*Espacement :**  $Stx \leq \min(3h ; 30\text{cm}) \Rightarrow Stx \leq 30\text{cm}$

On prend  $Stx=25\text{cm}$ .

**b. Dans le sens <<  $L_y$  >> :**

**Tableau 23 :** Tableau récapitulatif des résultats de ferrailage en travée (sens  $L_y$ )

| Mty<br>(KN.m) | $\mu_u$ | Asc<br>(cm <sup>2</sup> ) | $\alpha$ | Z (m) | Ast<br>(cm <sup>2</sup> /ml)<br>Calculée | choix | As<br>(cm <sup>2</sup> /ml)<br>adoptée |
|---------------|---------|---------------------------|----------|-------|------------------------------------------|-------|----------------------------------------|
| 4,45          | 0,006   | 0                         | 0,013    | 0,224 | 0,571                                    | 4T12  | 4,52                                   |

**\*Espacement :**  $Sty \leq \min(4h ; 45\text{cm}) \Rightarrow Sty \leq 45\text{cm}$

On prend  $Sty=25\text{cm}$ .

 **Ferrailage en appuis :**

**Tableau 24 :** Tableau récapitulatif des résultats de ferrailage en appuis (sens  $L_x$ )

| Mtx<br>(KN.m) | $\mu_u$ | Asc<br>(cm <sup>2</sup> ) | $\alpha$ | Z (m) | Ast<br>(cm <sup>2</sup> /ml)<br>Calculée | choix | As<br>(cm <sup>2</sup> /ml)<br>adoptée |
|---------------|---------|---------------------------|----------|-------|------------------------------------------|-------|----------------------------------------|
| 3,57          | 0,005   | 0                         | 0,013    | 0,224 | 0,458                                    | 4T12  | 4,52                                   |

**\*Espacement :**  $Stx \leq \min(3h ; 30\text{cm}) \Rightarrow Stx \leq 30\text{cm} \Rightarrow$  On prend  $Stx=25\text{cm}$ .

$Sty \leq \min(4h ; 45\text{cm}) \Rightarrow Sty \leq 45\text{cm} \Rightarrow$  On prend  $Sty=25\text{cm}$

 **Calcul de contrainte de cisaillement :**

$$\tau_u = \frac{T_u \max}{b \cdot d} \leq \bar{\tau}_u \text{ avec : } \bar{\tau}_u = \min(0.2 \cdot f_{c28} / \gamma_b ; 5\text{MPa}) = 3,33 \text{ MPa}$$

$$T_x = \frac{q_u \cdot L_x \cdot L_y}{2 \cdot L_x + L_y} = 47,82 \text{ KN}$$

$$T_y = \frac{q_u \cdot L_y}{3} = 38,72 \text{ KN}$$

Tu max=max (Tx, Ty)=**47,82KN**

$$\tau_u = \frac{47,82 \cdot 0,001}{1 \cdot 0,225} = 0,21 \text{ MPa} \leq \bar{\tau}_u \dots \dots \dots \text{CV.}$$

### 5-Vérification à l'ELS :

✚ Vérification des contraintes :

➤ **Béton :**

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \cdot X_s \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

➤ **Acier :**

$$\sigma_{st} = \frac{\eta M_{ser}}{I} \cdot (d - X_s) \leq \bar{\sigma}_{st}$$

$$\bar{\sigma}_{st} = \min \left( \frac{2}{3} \cdot f_e ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{t28}} \right) \dots \dots \dots \text{fissuration préjudiciable}$$

$$\sigma_{st} = 266,67 \text{ MPa}$$

\*ELS :

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = 0,71 \quad ; \quad q_{ser} = 57,25 \text{ kN/m}^2.$$

$$\text{-méthode B.A.E.L : } \begin{cases} M_x = \mu_x \cdot q_{ser} \cdot L_x^2 \\ M_y = \mu_y \cdot M_x \end{cases}$$

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = 0,71 \Rightarrow \begin{cases} \mu_x = 0,0671 \\ \mu_y = 0,4471 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_x = 8,64 \text{ KN.m} \\ M_y = 3,86 \text{ KN.m} \end{cases}$$

Moment en travée :

$$\begin{cases} M_{tx} = 0,85 \cdot M_x = 7,34 \text{ KN.m} \\ M_{ty} = 0,85 \cdot M_y = 3,28 \text{ KN.m} \end{cases}$$

Moment en appuis :

$$\begin{cases} M_{ax} = 0,3 \cdot M_x = 2,59 \text{ KN.m} \\ M_{ay} = 0,3 \cdot M_y = 1,16 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$M_a = \max (M_{ax} ; M_{ay}) = 2,59 \text{ KN.m}$$

\*position de l'axe neutre :

$$\frac{b \cdot X_s^2}{2} - 15 \cdot A_{st}(d - X_s) = 0$$

\*moment d'inertie :

$$I = \frac{b \cdot X_s^3}{3} + 15 \cdot A_{st}(d - X_s)^2$$

**Tableau 25 : Vérification des contraintes de la dalle machine.**

|        |     | Ms<br>(KN.m) | Ast<br>(cm <sup>2</sup> /ml) | Xs<br>(cm) | I (cm <sup>4</sup> ) | σ <sub>bc</sub><br>(MPa) | σ <sub>bc</sub> ≤ σ <sub>bc</sub> | σ <sub>st</sub><br>(MPa) | σ <sub>st</sub> ≤ σ <sub>st</sub> |
|--------|-----|--------------|------------------------------|------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| travée | x-x | 7,34         | 4,52                         | 4,90       | 24923,27             | 1,40                     | Vérifiée                          | 77,80                    | Vérifiée                          |
|        | y-y | 3,28         | 4,52                         | 4,90       | 24923,27             | 0,70                     |                                   | 34,80                    |                                   |
| appuis |     | 2,59         | 4,52                         | 4,90       | 24923,27             | 0,50                     |                                   | 27,50                    |                                   |

**-Vérification de la condition de non fragilité :**

h =25cm ; b=100cm

$$\begin{cases} A_{ymin}=0,08\%*b*h=2 \text{ cm}^2/\text{ml} \\ A_{xmin}=\frac{3-\rho}{2}A_{ymin}=2,29 \text{ cm}^2/\text{ml} \end{cases} \Rightarrow$$

➤ **Sens Lx-x :**

Sur appuis : Ax=3,14cm<sup>2</sup>/ml >2,29 cm<sup>2</sup>/ml .....vérifiée

En travée : Ax=3,14cm<sup>2</sup>/ml >2,29 cm<sup>2</sup>/ml .....vérifiée

➤ **Sens Ly-y :**

Sur appuis : Ay=3,14cm<sup>2</sup>/ml >2,00 cm<sup>2</sup>/ml .....vérifiée

En travée : Ay=3,14cm<sup>2</sup>/ml >2,00 cm<sup>2</sup>/ml .....vérifiée

**7-Vérification de la flèche :**

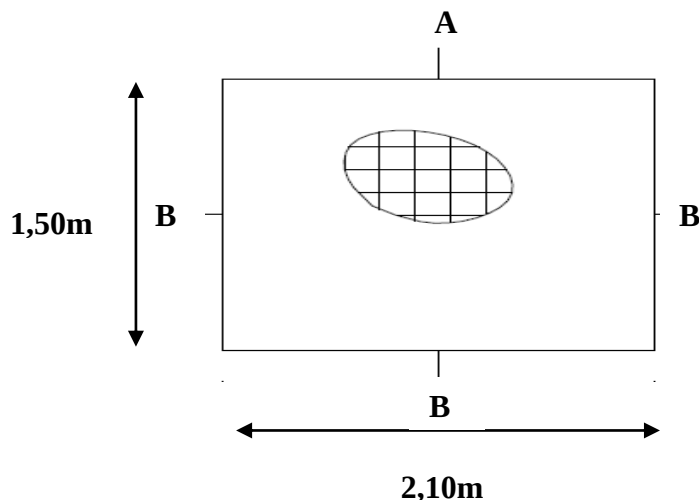
Il n'est pas nécessaire de faire la vérification de la flèche, si les trois conditions citées ci-dessous sont vérifiées simultanément :

$$\frac{h}{Lx} \geq \frac{M_t}{20*M_x} \Rightarrow 0,167 \geq 0,043 \dots\dots\dots \text{C.V}$$

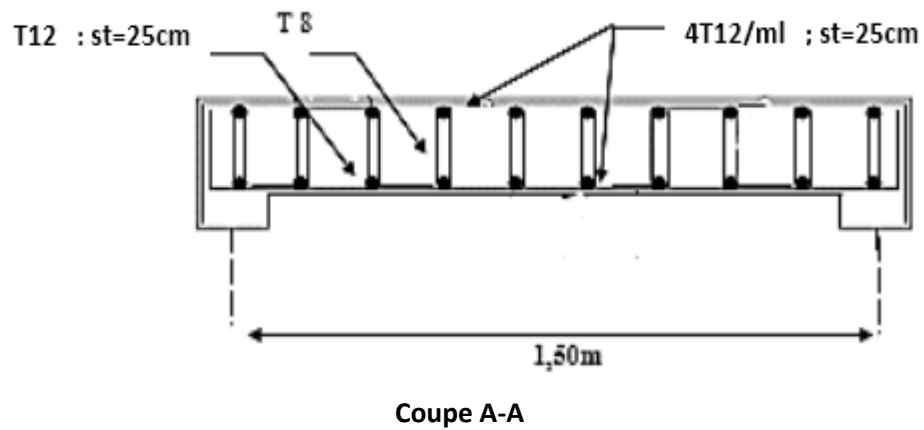
$$\frac{h}{Lx} \geq \frac{1}{27} \text{ à } \frac{1}{35} \Rightarrow 0,167 \geq 0,037 \text{ à } 0,028 \dots\dots\dots \text{C.V}$$

$$\frac{A_s}{b*d} \leq \frac{2}{f_e} \Rightarrow 1,39*10^{-3} \leq 0,005\dots\dots\dots \text{C.V}$$

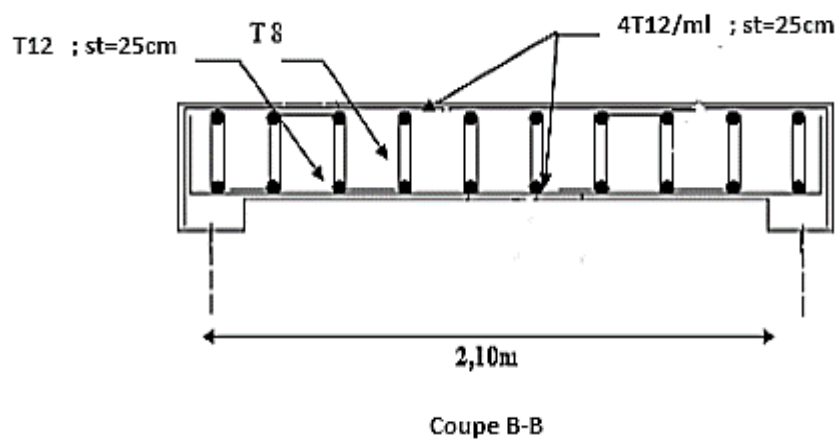
Les trois conditions sont vérifiées donc le calcul de la flèche n'est pas nécessaire.







**Figure 19 :** Ferrailage de la dalle machin dans le sens X-X.



**Figure 20 :** Ferrailage de la dalle machin dans le sens Y-Y.

**Chapitre V :**  
**Etude Dynamique De La Structure**

### V.1.Introduction :

Un tremblement de terre est une secousse soudaine et rapide de la surface de la terre provoquée par la rupture et changement de vitesse des roches en dessous. Pendant le tremblement de terre, le mouvement de terrain se produit au hasard dans tous les sens rayonnant d'un point dans la croûte terrestre, appelée l'épicentre. Il cause des vibrations des structures et induit des forces d'inertie sur elles.

### V.2.Objectif de l'étude dynamique :

L'objectif initial de l'étude dynamique d'une structure est la détermination des caractéristiques dynamiques propres de la structure lors de ses vibrations. Une telle étude pour notre structure telle qu'elle se présente, est souvent très complexe c'est pourquoi on fait souvent appel à des modélisations qui permettent de simplifier suffisamment les problèmes pour permettre l'analyse.

### V.3.Modélisation de la structure étudiée :

Etant donné la difficulté et la complexité d'un calcul manuel des efforts internes (Moments, efforts normaux, etc.), dans les éléments structuraux, le code de calcul par éléments finis SAP 2000 est utilisé.

#### **Description du logiciel SAP 2000 :**

SAP 2000 est un logiciel de calcul conçu exclusivement pour le calcul des structures. Il permet de modéliser facilement et rapidement tous types de bâtiments grâce à une interface graphique unique. Il offre de nombreuses possibilités pour l'analyse statique et dynamique.

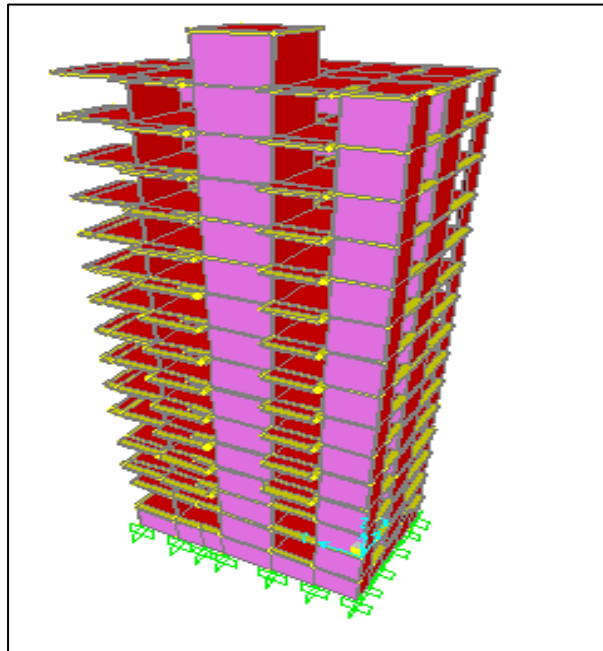
Ce logiciel permet la prise en compte des propriétés non-linéaires des matériaux, ainsi que le calcul et le dimensionnement des éléments structuraux suivant différentes réglementations.

#### **Modélisation des éléments structuraux :**

- Les voiles ont été modélisés par des éléments coques « Shell » à quatre nœuds.
- Les planchers sont simulés par des diaphragmes rigides.
- Les dalles pleines sont modélisées par des éléments dalles qui négligent les efforts membranaires.

#### **Modélisation de la masse :**

- La masse des planchers est calculée de manière à inclure la quantité  $Q$  selon RPA99/version 2003 (dans notre cas  $=0.2$ ) correspondant à la surcharge d'exploitation. La masse des éléments modélisés est introduite de façon implicite, par la prise en compte du poids volumique correspondant à celui du béton armé à savoir  $25\text{KN/m}^3$ .
- La masse de l'acrotère et des murs extérieurs (maçonnerie) a été répartie linéairement aux niveaux des nœuds correspondants à leur emplacement.



**Figure21** : Modélisation de la structure par le SAP2000.

### V.4.Méthodes de calculs :

Selon le RPA 99 le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes :

- Méthode statique équivalente.
- Méthode d'analyse modale spectrale.
- Méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes.

#### **Méthode statique équivalente**

Dans cette méthode le RPA propose de remplacer les forces réelles dynamiques engendrées par un séisme, par un système de forces statiques fictives dont les effets seront identiques et considérées appliquées séparément suivant les deux directions définies par les axes principaux de la structure.

#### **Méthode d'analyse modale spectrale :**

Par cette méthode, il est recherché pour chaque mode de vibration, le maximum des effets engendrés dans la structure par les forces sismiques représentées par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure.

#### **La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes :**

Le même principe que la méthode d'analyse spectrale sauf que pour ça procédé. Au lieu d'utiliser un spectre de réponse de forme universellement admise. On utilise des accélérogrammes réels.

Cette méthode repose sur la détermination des lois de comportement et la méthode d'interprétation des résultats. Elle s'applique au cas par cas pour les structures stratégiques (ex : centrales nucléaires) par un personnel qualifié.

### V.5.Combinaison d'action :

Pour le calcul, on utilise les combinaisons d'actions aux états limites suivantes :  
Ultime, service, accidentel.

- ❖ ELU :  $1,35G+1,5Q$
- ❖ ELS :  $G+Q$
- ❖ ELA :  $G+Q\pm 1,2 E$
- ❖ ELA :  $G+Q\pm E$
- ❖ ELA :  $0,8G+E$

### V.6.choix de la méthode de calcul :

Pour le choix de la méthode à utiliser, on doit vérifier certaines conditions relatives aux règles parasismiques en vigueur en Algérie (RPA99 version 2003).

On va utiliser les deux méthodes, la méthode statique équivalente (pour la vérification) et la méthode modale spectrale.

### V.7.Méthode statique équivalente :

#### 1-Détermination des coefficients :

Dans cette méthode l'intensité effective de l'action sismique est donnée sous la forme d'effort tranchant maximum à la base de la structure :

$$V = \frac{A \cdot D \cdot Q \cdot W}{R}$$

- A : coefficient d'accélération de zone.

- D : facteur d'amplification dynamique moyen.

- Q : facteur de qualité.

- R : coefficient de comportement.

-W : poids total de la structure ( $W = G + \beta Q$ )

$\beta$  : Coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation, et il est donné par le **tableau 4-5 du RPA99**, dans notre cas  $\beta=0.2$ .

- Coefficient d'accélération de zone (A) :

{ Groupe d'usage 2

{ Zone sismique I

$$\Rightarrow A = 0.10 \text{ (Tableau (4-1) RPA99)}$$

- Coefficient de comportement (R) :

La valeur de R est donnée par (Tableau (4-1) RPA99V2003) en fonction du système de contreventement

Notre structure est un système de contreventement constitué uniquement par des voiles porteurs en béton armé, ce qui implique selon le R.P.A 99/V.2003 que le coefficient de comportement sera :  $R=3,50$ .

- Facteur d'amplification dynamique moyen (D) :

$$\left\{ \begin{array}{ll} D = 2,5 \eta & \text{si } 0 < T < T_2 \\ D = 2,5 \eta (T_2 / T)^{2/3} & \text{si } T_2 < T < 3s \\ D = 2,5 \eta (T_2 / 3)^{2/3} (3/T)^{5/3} & \text{si } T \geq 3s \end{array} \right.$$

$\eta$  : facteur de correction amortissement.

$$\eta = \sqrt{7 / (2 + \xi)} \geq 0,7 \quad \text{(Formule 4.3 : RPA 99)}$$

Où  $\xi(\%)$  est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages.

$\xi = 10 \%$  pour un système de contreventement constitué par voiles porteurs en béton armé.

$$\text{Donc : } \eta = \sqrt{7 / (2 + 10)} = 0,763 \geq 0,7$$

T : période fondamentale.

T<sub>2</sub> : période caractéristique associée à la catégorie de site.

$$\Rightarrow \text{Site 3 (site meuble) : } T_1 = 0,15s ; T_2 = 0,50s$$

### ❖ Estimation empirique de la période fondamentale :

Dans notre cas (structure mixte), la période fondamentale correspond à la plus Petite valeur obtenue par les formules 4-6 et 4-7 du RPA99V2003.

T : période fondamentale de la structure donnée par la formule suivante :

$$T = \min \{ C_T h_N^{3/4} ; 0,09 h_N / \sqrt{D} \}$$

Avec :

$h_N$ : Hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau  $N$ .

$C_T$  : Coefficient fonction du système de contreventement assurée totalement par des voiles en béton arme est donné par **le tableau 4-6 du RPA99/version2003**.

$D$  : la dimension du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

#### \*Dans le sens X :

$$h_N = 46,18\text{m} ; C_T = 0,05 ; D_x = 12,05\text{m}$$

$$T_x = \min (0,05 * 46,18^{3/4} ; 0,09 * \frac{46,18}{\sqrt{12,05}}) = 0,885 \text{ s}$$

$$\text{On a : } T_2(S_3) = 0,50 \text{ s.} ; T_2 \leq T \leq 3\text{s}$$

$$\text{Donc : } D_x = 2,5 \eta (T_2 / T)^{2/3} = 1,304 \text{ s}$$

#### \*Dans le sens Y :

$$h_N = 46,18\text{m} ; C_T = 0,05 ; D_x = 18,95\text{m}$$

$$T_y = \min (0,05 * 46,18^{3/4} ; 0,09 * \frac{46,18}{\sqrt{18,95}}) = 0,885 \text{ s}$$

$$\text{On a : } T_2(S_3) = 0,50 \text{ s.} ; T_2 \leq T \leq 3\text{s}$$

$$\text{Donc : } D_y = 2,5 \eta (T_2 / T)^{2/3} = 1,304 \text{ s}$$

#### • Facteur qualité (Q) :

$$Q = 1 + \sum_{i=1}^{16} P_q$$

**Avec :**  $P_q$  : est la pénalité à retenir selon le critère de qualité  $q$  (est satisfait ou non) (tableau 4.4.RPA99)

**Tableau 26 :** La pénalité en fonction de critère de qualité.

|                                          | Q      |        |
|------------------------------------------|--------|--------|
|                                          | SENS X | SENS Y |
| 1-Condition minimale des files porteuses | 0      | 0      |
| 2-Redondance en plan                     | 0      | 0      |
| 3-Régularité en plan                     | 0.05   | 0.05   |
| 4-Régularité en élévation                | 0.05   | 0.05   |
| 5-Contrôle de la qualité des matériaux   | 0.05   | 0.05   |
| 6-Contrôle de la qualité d'exécution     | 0.10   | 0.10   |
| $\sum_{i=1}^6 P_q$                       | 0.25   | 0.25   |

Donc :  $Q = 1 + 0.25 = 1.25$

### **2-Poids de la structure :**

Le poids total de la structure est donné par la formule suivant :

$$W_t = W_G + \beta W_Q$$

$W_G$  : Poids due aux charges permanentes.

$W_Q$  : Charge d'exploitation.

$\beta$  : coefficient de pondération, fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation et donné par le tableau 4.5 (RPA v2003) : Bâtiment d'habitation \_  $\beta = 0,2$ .

Donc pour chaque niveau « i » on aura :  $W_i = W_{gi} + 0,2 * W_{Qi}$

A partir du logiciel **SAP2000** le poids total de la structure est donne dans le tableau suivant :

**Tableau 27 : La masse de la structure.**

| Niveau    | Hauteur (m) | Masse (t) |
|-----------|-------------|-----------|
| 1         | 3.340       | 348.654   |
| 2         | 3.060       | 321.800   |
| 3         | 3.060       | 326.394   |
| 4         | 3.060       | 346.504   |
| 5         | 3.060       | 346.504   |
| 6         | 3.060       | 346.504   |
| 7         | 3.060       | 342.819   |
| 8         | 3.060       | 340.360   |
| 9         | 3.060       | 342.819   |
| 10        | 3.060       | 340.360   |
| 11        | 3.060       | 342.819   |
| 12        | 3.060       | 340.360   |
| 13        | 3.060       | 342.819   |
| 14        | 3.060       | 293.589   |
| 15        | 3.060       | 36.058    |
| <b>Wt</b> | 4758.363    |           |

$$\text{Donc : } \begin{cases} V_x = \frac{0,10 * 1,304 * 1,25 * 4758.363 * 10}{3,5} = 2216,346 \text{ KN.} \\ V_y = \frac{0,10 * 1,304 * 1,25 * 4758.363 * 10}{3,5} = 2216,346 \text{ KN.} \end{cases}$$

### **3- Calcule des forces sismiques de chaque niveau :**

Les forces sismiques de chaque niveau est donnée par la formule (4-11 du RPA99V2003) :

$$F_t = \frac{(V - F_t) * W * h_i}{\sum_{j=1}^{15} W_j * h_j}$$

Avec  $F_t$  est la force concentrée au sommet de la structure,  $F_t = 0.07 * V * T$

D'après les calculs et le programme MSE on a trouvés les mémés résultats qui sont représenté dans le tableau suivant :

**Tableau 28 : L'effort tranchant et Les forces sismiques de chaque niveau**

| Niveau | Effort tranchant sens X et sens Y (t) | Les Forces FX et Fy (t) |
|--------|---------------------------------------|-------------------------|
| 1      | 221.635                               | 2.187                   |
| 2      | 219.448                               | 3.867                   |
| 3      | 215.580                               | 5.798                   |
| 4      | 209.782                               | 8.147                   |
| 5      | 201.636                               | 10.138                  |
| 6      | 191.498                               | 12.129                  |
| 7      | 179.369                               | 13.970                  |
| 8      | 165.400                               | 15.825                  |
| 9      | 149.574                               | 17.909                  |
| 10     | 131.665                               | 19.737                  |
| 11     | 111.928                               | 21.849                  |
| 12     | 90.079                                | 23.648                  |
| 13     | 66.431                                | 25.789                  |
| 14     | 40.642                                | 23.773                  |
| 15     | 16.869                                | 16.869                  |

## V.8.Méthode d'analyse spectrale modale :

### 1-Spectre de réponse :

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant (RPA99V2003)

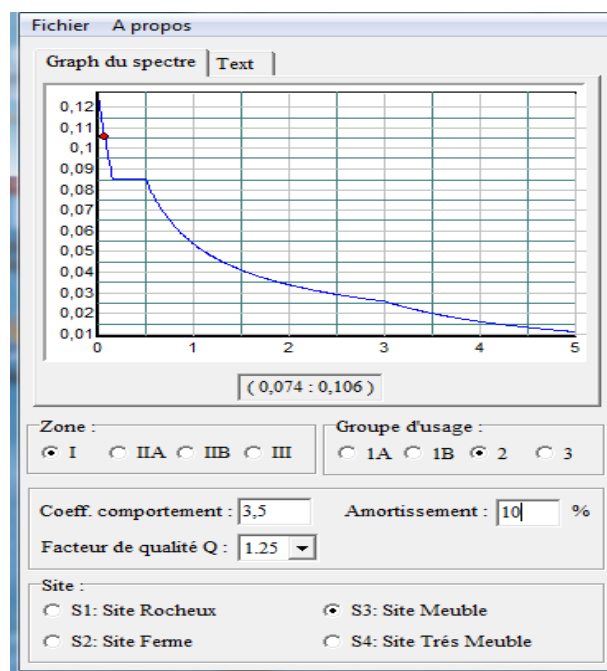
$$(S_a / g) = \begin{cases} 1,25A [1 + (T/T_1) (2,5\eta (Q/R) - 1)] & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2,5\eta (1,25A) (Q/R) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2,5\eta (1,25A) (Q/R) (T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3,0 \text{ s} \\ 2,5\eta (1,25A) (T_2/3)^{2/3} (3/T)^{5/3} (Q/R) & T \geq 3,0 \text{ s} \end{cases}$$

T : Période fondamentale de la structure

T1, T2 : Périodes caractéristiques associés à la catégorie de site (S3).

Sa : Accélération spectrale

g : Accélération de la pesanteur = 9,81m/s²



**Figure 22 : La courbe de spectre de réponse**



### 2- Nombre des modes à considérer :

Le nombre de mode à considérer dans chaque direction de l'excitation sismique est donné par le RPA99 v 2003 (article 4.3.4) comme suit :

- La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90 % au moins de la masse totale de la structure.
- Ou que tous les modes ayant une masse modale effective supérieure à 5% de la masse totale de la structure soient retenus pour la détermination de la réponse totale de la structure.

Avec un minimum de modes à retenir égale à trois (3) pour chaque direction considérée.

**Tableau 29** : Participation des masses modales effectives.

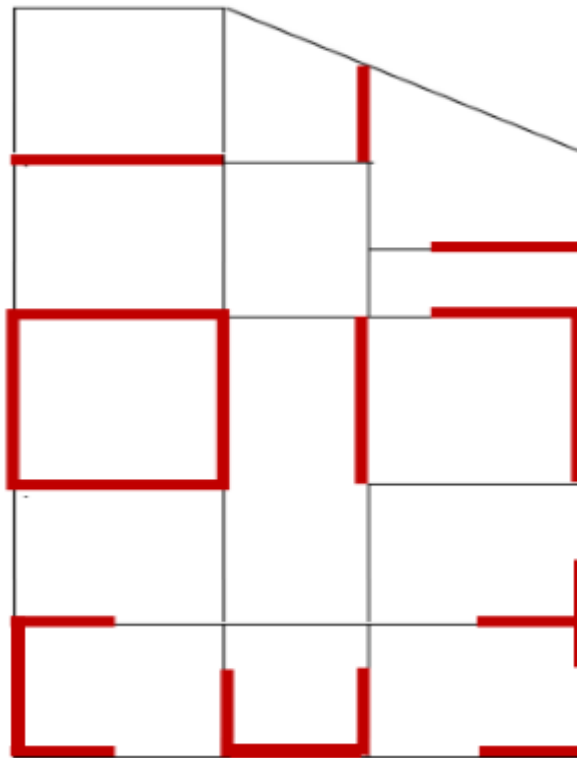
| modes | Periode  | UX       | UY       | SumUX    | SumUY    |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|
|       | Sec      | Unitless | Unitless | Unitless | Unitless |
| 1     | 1,096556 | 65%      | 0%       | 65%      | 0%       |
| 2     | 1,039243 | 0%       | 66%      | 65%      | 66%      |
| 3     | 0,646159 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 4     | 0,386235 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 5     | 0,384479 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 6     | 0,383154 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 7     | 0,381033 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 8     | 0,378779 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 9     | 0,376137 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 10    | 0,373895 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 11    | 0,371837 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 12    | 0,370529 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 13    | 0,369691 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 14    | 0,36936  | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 15    | 0,282616 | 0%       | 0%       | 66%      | 66%      |
| 16    | 0,263428 | 15%      | 6%       | 81%      | 72%      |
| 17    | 0,260681 | 0%       | 0%       | 81%      | 72%      |
| 18    | 0,438763 | 9%       | 8%       | 90%      | 80%      |
| 19    | 0,406627 | 0%       | 11%      | 90%      | 91%      |
| 20    | 0,239631 | 0%       | 0%       | 90%      | 91%      |

### 3-Analyse des modèles :

La structure que nous proposons de modéliser est un bâtiment qui se distingue par sa forme irrégulière en élévation, contreventée par un système constitue uniquement par des voiles porteurs en béton arme et qui présente une architecture (vue en plan) déférente d'un niveau à l'autre. Tout cela complique de manière conséquente le choix du positionnement des voiles.

En effet le choix du positionnement des voiles doit satisfaire un certain nombre de conditions :

- Satisfaire les conditions d'architectures.
- Le nombre doit être suffisamment important pour assurer une rigidité suffisante.
- La position de ces voiles doit éviter des efforts de torsion préjudiciables pour la structure.



$$T=1,0965 \text{ s}$$

**Figure 23 :** La première disposition des voiles.

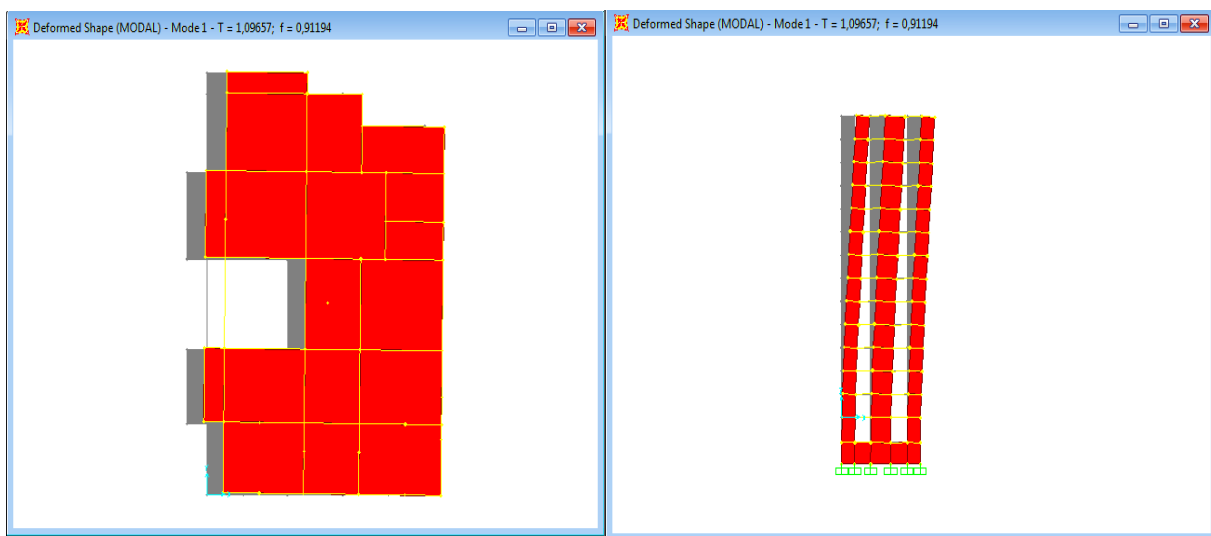
**\*Constatation :**

Cette modèle présente une période fondamentale  $T = 1,0965 \text{ s}$

Les 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> modes sont des modes de translation

Le 3<sup>ème</sup> mode est un mode de rotation.

**\*Les déformées modales obtenues après analyser par le SAP2000 :**



**Figure 24 :** Mode 1 – translation suivant x  $T=1,0965 \text{ s}$

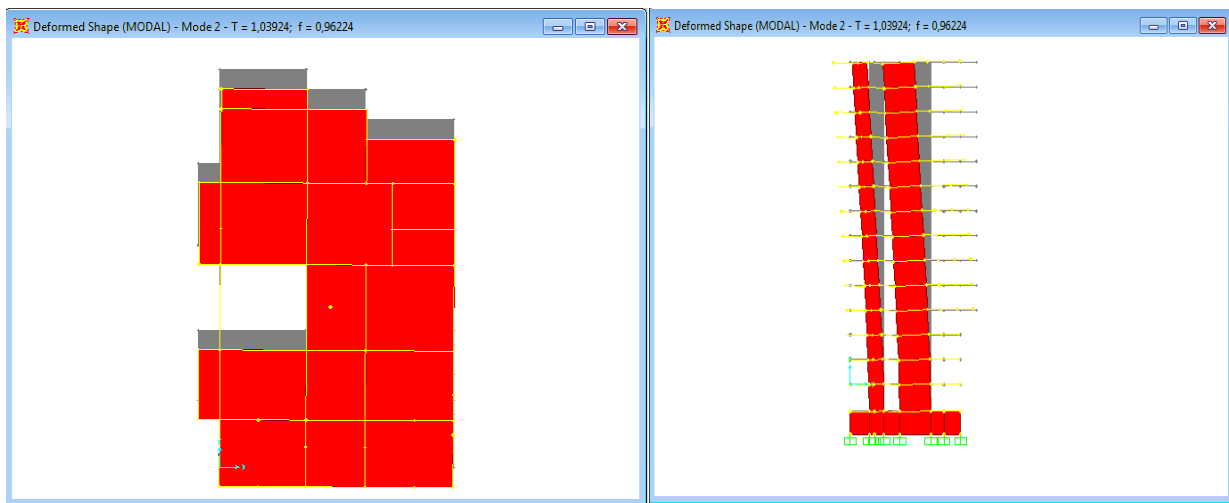


Figure 25 : Mode 2 – translation suivant y  $T=1,0392$  s

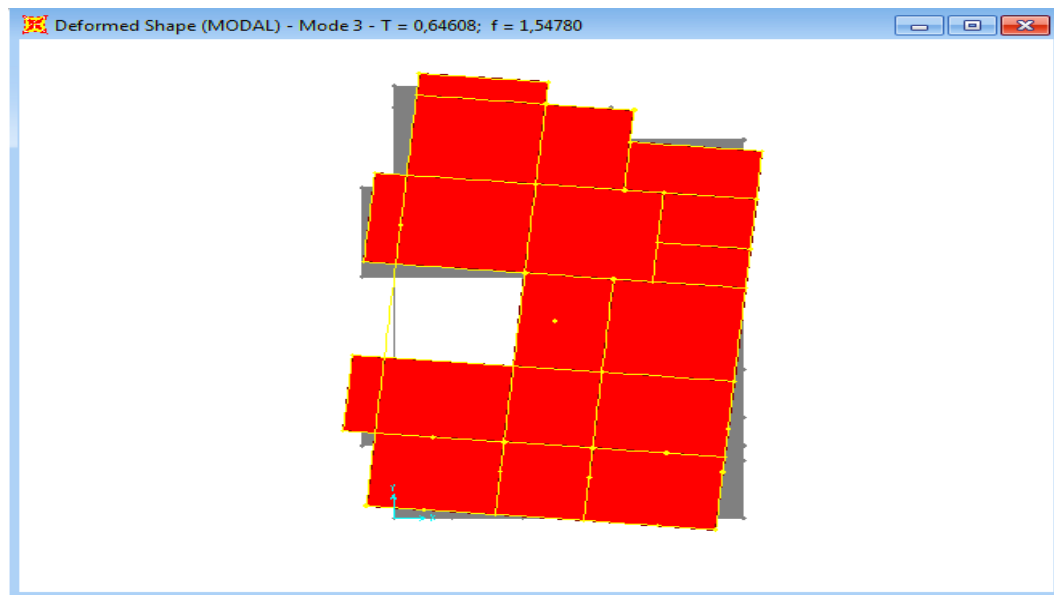


Figure 26 : Mode 3 – torsion  $T=0,6461$  s

### V.9. VERIFICATIONS REGLEMENTAIRES :

#### **1-Période fondamentale théorique RPA Art 4.2.4 :**

Les périodes calculés à partir des méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles des formules empiriques au plus de 30 %.

$T_{\text{empirique}} = 0,885\text{sec} \times 1.3 = 1,20 \text{ sec} > T_{\text{numérique}} = 1,096 \text{ sec.}$

Donc la condition est vérifiée.

### 2- Résultante des forces sismiques de calcul :

D'après le RPA 99 V2003 (article 4.3.6), la résultante des forces sismiques à la base  $V_t$  obtenue par la combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente  $V$  pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.

Si  $V_t < 80\% V_s$ , il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments,...) dans le rapport **0,8  $V_s/V_t$** .

D'après le fichier des résultats de SAP on a :

**Tableau 30 :** Les réactions à la base obtenue par SAP2000.

| TABLE : Base Réactions |             |           |           |           |
|------------------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Output Case            | Case Type   | Step Type | Global FX | Global FY |
| Text                   | Text        | Text      | KN        | KN        |
| EX                     | LinRespSpec | Max       | 2231,605  | 815,447   |
| EY                     | LinRespSpec | Max       | 1413,605  | 3320,102  |

$$V_{x \text{ dyn}} = \sqrt{2231,605^2 + 815,447^2} = 2375,923 \text{ KN.}$$

$$V_{y \text{ dyn}} = \sqrt{1413,605^2 + 3320,102^2} = 3608,511 \text{ KN.}$$

**Tableau 31 :** Comparaison entre l'effort statique et dynamique.

| Direction | V statique | 80%V statique | V dynamique | V dyn > 80% V sta |
|-----------|------------|---------------|-------------|-------------------|
| X         | 2216,35    | 1773,077      | 2375,923    | <b>cv</b>         |
| Y         | 2216,35    | 1773,077      | 3608,511    | <b>cv</b>         |

### 3- Vérification au renversement :

La vérification au renversement de la structure s'avère nécessaire pour justifier la stabilité d'un ouvrage sollicité par des efforts d'origine sismique. Donc il faut vérifier que :

$$\frac{M_{stab}}{M_{renv}} \geq 1,5$$

Avec :

Moment de renversement :  $M_{renv} = \sum F_i * Z_i$ .

Moment stabilisant :  $M_{stab} = \sum W_i * b_i$ .

- $F_i$  : la force sismique au niveau " $i$ ".
- $Z_i$  : hauteur de niveau  $i$ .
- $W_i$  : poids de niveau  $i$ .
- $b_i$  : coordonne de centre de masse de chaque étage.

**Tableau 32:** Vérification au renversement(x-x).

| Sens X-X         |                       |       |          |                       |       |            |
|------------------|-----------------------|-------|----------|-----------------------|-------|------------|
| niveau           | Fi [t]                | hi[m] | Fi*hi    | Wi [t]                | Xi[m] | Wi*Xi      |
| <b>1ss</b>       | 2,187                 | 3,34  | 7,305    | 348,654               | 5,889 | 2053,22341 |
| <b>RDC</b>       | 3,867                 | 6,4   | 24,749   | 321,8                 | 5,806 | 1868,3708  |
| <b>1</b>         | 5,798                 | 9,46  | 54,849   | 326,394               | 5,715 | 1865,34171 |
| <b>2</b>         | 8,147                 | 12,52 | 102,000  | 346,504               | 5,788 | 2005,56515 |
| <b>3</b>         | 10,138                | 15,58 | 157,950  | 346,504               | 5,788 | 2005,56515 |
| <b>4</b>         | 12,129                | 18,64 | 226,085  | 346,504               | 5,788 | 2005,56515 |
| <b>5</b>         | 13,970                | 21,7  | 303,149  | 342,819               | 5,841 | 2002,40578 |
| <b>6</b>         | 15,825                | 24,76 | 391,827  | 340,36                | 5,736 | 1952,30496 |
| <b>7</b>         | 17,909                | 27,82 | 498,228  | 342,819               | 5,841 | 2002,40578 |
| <b>8</b>         | 19,737                | 30,88 | 609,479  | 340,36                | 5,736 | 1952,30496 |
| <b>9</b>         | 21,849                | 33,94 | 741,555  | 342,819               | 5,841 | 2002,40578 |
| <b>10</b>        | 23,648                | 37    | 874,976  | 340,36                | 5,736 | 1952,30496 |
| <b>11</b>        | 25,789                | 40,06 | 1033,107 | 342,819               | 5,841 | 2002,40578 |
| <b>12</b>        | 23,773                | 43,12 | 1025,092 | 293,589               | 5,585 | 1639,69457 |
| <b>buanderie</b> | 16,869                | 46,18 | 779,010  | 36,058                | 2,225 | 80,22905   |
| Somme            | <b>6829,36102 t.m</b> |       |          | <b>27390,09298t.m</b> |       |            |

**Tableau 33 :** Vérification au renversement (y-y).

| Sens Y-Y         |                      |       |          |                      |       |            |
|------------------|----------------------|-------|----------|----------------------|-------|------------|
| niveau           | Fi [t]               | hi[m] | Fi*hi    | Wi [t]               | Yi[m] | Wi*Yi      |
| <b>1ss</b>       | 2,187                | 3,34  | 7,305    | 348,654              | 8,472 | 2953,79669 |
| <b>RDC</b>       | 3,867                | 6,4   | 24,749   | 321,8                | 8,873 | 2855,3314  |
| <b>1</b>         | 5,798                | 9,46  | 54,849   | 326,394              | 8,819 | 2878,46869 |
| <b>2</b>         | 8,147                | 12,52 | 102,000  | 346,504              | 9,399 | 3256,7911  |
| <b>3</b>         | 10,138               | 15,58 | 157,950  | 346,504              | 9,399 | 3256,7911  |
| <b>4</b>         | 12,129               | 18,64 | 226,085  | 346,504              | 9,399 | 3256,7911  |
| <b>5</b>         | 13,97                | 21,7  | 303,149  | 342,819              | 9,524 | 3265,00816 |
| <b>6</b>         | 15,825               | 24,76 | 391,827  | 340,36               | 9,559 | 3253,50124 |
| <b>7</b>         | 17,909               | 27,82 | 498,228  | 342,819              | 9,524 | 3265,00816 |
| <b>8</b>         | 19,737               | 30,88 | 609,479  | 340,36               | 9,559 | 3253,50124 |
| <b>9</b>         | 21,849               | 33,94 | 741,555  | 342,819              | 9,524 | 3265,00816 |
| <b>10</b>        | 23,648               | 37    | 874,976  | 340,36               | 9,559 | 3253,50124 |
| <b>11</b>        | 25,789               | 40,06 | 1033,107 | 342,819              | 9,524 | 3265,00816 |
| <b>12</b>        | 23,773               | 43,12 | 1025,092 | 293,589              | 9,655 | 2834,6018  |
| <b>buanderie</b> | 16,869               | 46,18 | 779,010  | 36,058               | 9     | 324,522    |
| Somme            | <b>6829,36102t.m</b> |       |          | <b>44437,6302t.m</b> |       |            |

**\*Vérification :**

$$\frac{M_{stab}}{M_{renv}} = 4,011 \geq 1,5 \quad \text{..... Condition Vérifiée.}$$

**\*Vérification :**

$$\frac{M_{stab}}{M_{renv}} = 6,507 \geq 1,5 \quad \text{..... Condition Vérifiée.}$$

**4- Vérification des déplacements :**

Selon le RPA99V2003, Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents, ne doivent pas dépasser 1% de la hauteur de l'étage. Et selon l'article [RPA99V2003, 5.10]

$$\Delta k_x \leq \overline{\Delta k} \quad ; \quad \Delta k_y \leq \overline{\Delta k}$$

Avec :  $\Delta k = 0.01 h$

$$\Delta k_x = \delta_{x, k} - \delta_{x, k-1} \quad ; \quad \Delta k_y = \delta_{y, k} - \delta_{y, k-1}$$

$$\delta_{x, k} = R \delta_{ex, k} \quad ; \quad \delta_{y, k} = R \delta_{ey, k}$$

$\Delta k_x$  : Déplacement relatif du niveau k par rapport au niveau k-1 selon x

$\Delta k_y$  : Déplacement relatif du niveau k par rapport au niveau k-1 selon y

$\delta_{ex, k}$  : Déplacement absolu selon x (SAP2000)

$\delta_{ey, k}$  : Déplacement absolu selon y (SAP2000)

$\overline{\Delta k}$  : Déplacement relatif admissible ;  $\overline{\Delta k} = 0.01 h_e$

**Tableau 34 : Vérification des déplacements**

| Niveau    | R   | $\delta_{ex, k}$<br>[cm] | $\delta_{ey, k}$<br>[cm] | $\delta_{x, k}$<br>[cm] | $\delta_{y, k}$<br>[cm] | $\Delta k_x$<br>[cm] | $\Delta k_y$<br>[cm] | $\overline{\Delta k}$<br>[cm] | Condition |
|-----------|-----|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------------|-----------|
| 1ss       | 3,5 | 0,093                    | 0,0906                   | 0,3255                  | 0,3171                  | 0,3255               | 0,3171               | 3,340                         | CV        |
| RDC       | 3,5 | 0,202                    | 0,200                    | 0,707                   | 0,7                     | 0,3815               | 0,3829               | 3,060                         | CV        |
| 1         | 3,5 | 0,339                    | 0,332                    | 1,1865                  | 1,162                   | 0,4795               | 0,462                | 3,060                         | CV        |
| 2         | 3,5 | 0,506                    | 0,479                    | 1,771                   | 1,6765                  | 0,5845               | 0,5145               | 3,060                         | CV        |
| 3         | 3,5 | 0,684                    | 0,633                    | 2,394                   | 2,2155                  | 0,623                | 0,539                | 3,060                         | CV        |
| 4         | 3,5 | 0,873                    | 0,792                    | 3,0555                  | 2,772                   | 0,6615               | 0,5565               | 3,060                         | CV        |
| 5         | 3,5 | 1,070                    | 0,953                    | 3,745                   | 3,3355                  | 0,6895               | 0,5635               | 3,060                         | CV        |
| 6         | 3,5 | 1,269                    | 1,116                    | 4,4415                  | 3,906                   | 0,6965               | 0,5705               | 3,060                         | CV        |
| 7         | 3,5 | 1,470                    | 1,281                    | 5,145                   | 4,4835                  | 0,7035               | 0,5775               | 3,060                         | CV        |
| 8         | 3,5 | 1,668                    | 1,440                    | 5,838                   | 5,04                    | 0,693                | 0,5565               | 3,060                         | CV        |
| 9         | 3,5 | 1,862                    | 1,613                    | 6,517                   | 5,6455                  | 0,679                | 0,6055               | 3,060                         | CV        |
| 10        | 3,5 | 2,053                    | 1,777                    | 7,1855                  | 6,2195                  | 0,6685               | 0,574                | 3,060                         | CV        |
| 11        | 3,5 | 2,236                    | 1,940                    | 7,826                   | 6,79                    | 0,6405               | 0,5705               | 3,060                         | CV        |
| 12        | 3,5 | 2,416                    | 2,096                    | 8,456                   | 7,336                   | 0,63                 | 0,546                | 3,060                         | CV        |
| buanderie | 3,5 | 2,368                    | 2,166                    | 8,288                   | 7,581                   | -0,168               | 0,245                | 3,060                         | CV        |

### 5-Vérification de l'effet P-Delta :

Les effets du 2° ordre (ou effet P-Δ) peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux.

$$\theta = \frac{P_k \cdot \Delta_k}{V_k \cdot h_k} \leq 0.1$$

P<sub>k</sub> : Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau

« K ». P<sub>k</sub> = Σ W<sub>ig</sub> + W<sub>iq</sub> \* 0.2

V<sub>k</sub> : Effort tranchant d'étage au niveau « k ». V<sub>k</sub> = Σ F<sub>i</sub>

Δ<sub>k</sub> : Déplacement relatif du niveau « k » par rapport au niveau « k-1 ».

h<sub>k</sub> : hauteur de l'étage « k ».

Si 0.1 < θ<sub>k</sub> < 0.2 les effets P-Δ peuvent être pris en compte de manière approximative en amplifiant les efforts de l'action sismique calculés au moyen d'une analyse élastique du 1er ordre par le facteur 1/(1 - θ<sub>k</sub>)

Si θ<sub>k</sub> > 0.2 la structure est potentiellement instable et doit être redimensionnée.

Sens x-x :

Tableau 35 : Vérification de l'effet P-Δ (x-x).

| niveau    | Δ <sub>k</sub><br>[m]*10 <sup>-2</sup> | h <sub>k</sub><br>[m] | V <sub>k</sub><br>[t] | W <sub>k</sub><br>[t] | P <sub>k</sub><br>[t] | θ <sub>k</sub> facteur<br>d'instabilité | θ <sub>k</sub> ≤ 0,10 |
|-----------|----------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------------|-----------------------|
| 1ss       | 0,3255                                 | 3,34                  | 221,635               | 348,654               | 4758,363              | 0,021                                   | CV                    |
| RDC       | 0,3815                                 | 3,06                  | 219,448               | 321,8                 | 4409,709              | 0,025                                   | CV                    |
| 1         | 0,4795                                 | 3,06                  | 215,58                | 326,394               | 4087,909              | 0,030                                   | CV                    |
| 2         | 0,5845                                 | 3,06                  | 209,782               | 346,504               | 3761,515              | 0,034                                   | CV                    |
| 3         | 0,623                                  | 3,06                  | 201,636               | 346,504               | 3415,011              | 0,034                                   | CV                    |
| 4         | 0,6615                                 | 3,06                  | 191,498               | 346,504               | 3068,507              | 0,035                                   | CV                    |
| 5         | 0,6895                                 | 3,06                  | 179,369               | 342,819               | 2722,003              | 0,034                                   | CV                    |
| 6         | 0,6965                                 | 3,06                  | 165,4                 | 340,36                | 2379,184              | 0,033                                   | CV                    |
| 7         | 0,7035                                 | 3,06                  | 149,574               | 342,819               | 2038,824              | 0,031                                   | CV                    |
| 8         | 0,693                                  | 3,06                  | 131,665               | 340,36                | 1696,005              | 0,029                                   | CV                    |
| 9         | 0,679                                  | 3,06                  | 111,928               | 342,819               | 1355,645              | 0,027                                   | CV                    |
| 10        | 0,6685                                 | 3,06                  | 90,079                | 340,36                | 1012,826              | 0,025                                   | CV                    |
| 11        | 0,6405                                 | 3,06                  | 66,431                | 342,819               | 672,466               | 0,021                                   | CV                    |
| 12        | 0,63                                   | 3,06                  | 40,642                | 293,589               | 329,647               | 0,017                                   | CV                    |
| buanderie | -0,168                                 | 3,06                  | 16,869                | 36,058                | 36,058                | -0,001                                  | CV                    |

Sens y-y :

**Tableau 36 : Vérification de l'effet P- $\Delta$  (y-y).**

| niveau    | $\Delta k$<br>[m]* $10^{-2}$ | $h_k$<br>[m] | $V_k$<br>[t] | $W_k$<br>[t] | $P_k$<br>[t] | $\theta_k$ facteur<br>d'instabilité | $\theta_k \leq 0,10$ |
|-----------|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------------------|----------------------|
| 1ss       | 0,3171                       | 3,34         | 221,635      | 348,654      | 4758,363     | 0,020                               | CV                   |
| RDC       | 0,3829                       | 3,06         | 219,448      | 321,8        | 4409,709     | 0,025                               | CV                   |
| 1         | 0,462                        | 3,06         | 215,58       | 326,394      | 4087,909     | 0,029                               | CV                   |
| 2         | 0,5145                       | 3,06         | 209,782      | 346,504      | 3761,515     | 0,030                               | CV                   |
| 3         | 0,539                        | 3,06         | 201,636      | 346,504      | 3415,011     | 0,030                               | CV                   |
| 4         | 0,5565                       | 3,06         | 191,498      | 346,504      | 3068,507     | 0,029                               | CV                   |
| 5         | 0,5635                       | 3,06         | 179,369      | 342,819      | 2722,003     | 0,028                               | CV                   |
| 6         | 0,5705                       | 3,06         | 165,4        | 340,36       | 2379,184     | 0,027                               | CV                   |
| 7         | 0,5775                       | 3,06         | 149,574      | 342,819      | 2038,824     | 0,026                               | CV                   |
| 8         | 0,5565                       | 3,06         | 131,665      | 340,36       | 1696,005     | 0,023                               | CV                   |
| 9         | 0,6055                       | 3,06         | 111,928      | 342,819      | 1355,645     | 0,024                               | CV                   |
| 10        | 0,574                        | 3,06         | 90,079       | 340,36       | 1012,826     | 0,021                               | CV                   |
| 11        | 0,5705                       | 3,06         | 66,431       | 342,819      | 672,466      | 0,019                               | CV                   |
| 12        | 0,546                        | 3,06         | 40,642       | 293,589      | 329,647      | 0,014                               | CV                   |
| buanderie | 0,245                        | 3,06         | 16,869       | 36,058       | 36,058       | 0,002                               | CV                   |



## **Chapitre VI :**

# **Etude Des Voiles**

### VI.1.Introduction :

Le ferrailage des voiles s'effectuera selon le règlement BAEL91 et les vérifications selon le règlement parasismique Algérien RPA 99/version 2003.

Sous l'action des forces horizontales (séisme, vents) ainsi que la force due aux charges verticales, le voile est sollicité à la flexion composée avec effort tranchant.

Les sollicitations engendrées dans le voile sont :

- Moment fléchissant et effort tranchant provoqués par l'action du séisme.
- Effort normal dû à la combinaison des charges permanentes, d'exploitations et la charge sismique.

### VI.2.Voiles pleins :

Le ferrailage des voiles comprendra essentiellement :

- Des aciers verticaux
- Des aciers horizontaux.

#### 1) Aciers verticaux :

La disposition du ferrailage vertical se fera de telle sorte qu'il reprendra les contraintes de flexion composée en tenant compte des prescriptions imposées par le RPA99/version 2003 :

- L'effort de traction engendré dans une partie du voile doit être reprise en totalité par les armatures dont le pourcentage minimal est de 0.20% de la section horizontale du béton tendu.
- Les barres verticales des zones extrêmes devraient être ligaturées avec des cadres horizontaux dont l'espacement ne doit pas être supérieur à l'épaisseur du voile.
- Les barres verticales du dernier niveau doivent être munies de crochets à la partie supérieure. Toutes les autres barres n'ont pas de crochets (jonction par recouvrement).
- A chaque extrémité du voile l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur (1/10) du largeur du voile, cet espacement doit être au plus égal à 15cm.

#### 2) Aciers horizontaux :

- Les aciers horizontaux seront disposés perpendiculairement aux faces du voile.
- Elles doivent être munies de crochets à (135°) ayant une longueur de  $10\Phi$ .

Dans le cas où il existe des talons de rigidité, les barres horizontales devront être ancrées sans crochets si les dimensions des talons permettent la réalisation d'un ancrage droit.

#### 3) Règles communes :

Pour centrage minimum d'armatures verticales et horizontales est donné comme suit :

- Globalement dans la section du voile 0.15%.
- En zone courante 0.10%.

L'espacement des barres horizontales et verticales doit être inférieur à la plus petite des deux valeurs suivantes :

$$St \leq 1,5 a$$

$$St \leq 30 \text{ cm}$$

Les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins 4 épingles au mètre carré.

Le diamètre des barres verticales et horizontales des voiles (à l'exception des zones d'about) ne devrait pas dépasser 1/10 de l'épaisseur du voile.

Les longueurs des recouvrements doivent être égales :

- 40  $\Phi$  Pour les barres situées dans les zones où le recouvrement du signe des efforts est possible.
- 20  $\phi$  pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons possibles de charges. [RPA99V2003, 7.7.4.3]

### 4) Combinaisons de calcul :

\*Combinaisons fondamentales : BAEL 91 :

$$\begin{cases} \text{ELU : } 1.35 G + 1.5 Q \\ \text{ELS : } G + Q \end{cases}$$

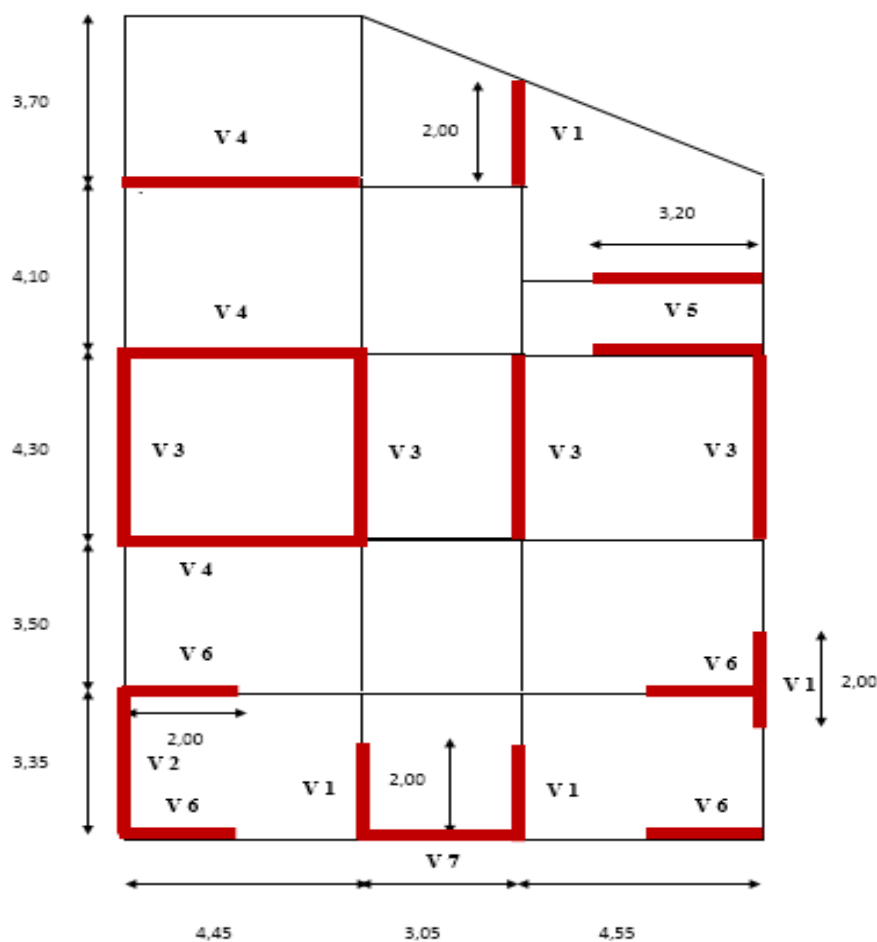
\* Combinaisons accidentelles : RPA99 :

$$\begin{cases} 0.8 G \pm E \\ G+Q \pm E \end{cases}$$

### VI.3. Ferrailage des voiles :

La méthode utilisée est la méthode de RDM.

#### 1) Disposition du voile :



### 2) Etude de la section soumise à la flexion composée :

On détermine les contraintes par la formule de NAVIER –BERNOULLI :

$$\sigma_{a,b} = \frac{N}{S} + \frac{M}{I} * V$$

Avec :

N : Effort normal appliqué.

M : Moment fléchissant du voile.

S : Section transversale du voile.

I : Moment d'inertie par rapport au centre de gravité.

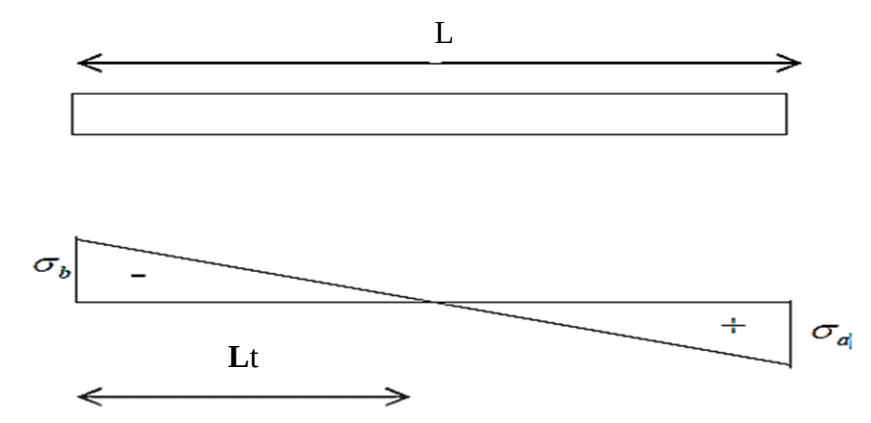
V : Distance entre le centre de gravité du voile et la fibre la plus éloignée.

$$\text{Avec : } S = a * L \quad ; \quad I = \frac{a * l^3}{12} \quad ; \quad V = L/2$$

- Si  $\sigma_a$  et  $\sigma_b$  sont des signes négatifs on aura une section entièrement tendue (SET). " Pas de zone comprimée".
- Si  $\sigma_a$  et  $\sigma_b$  sont des signes positifs on aura une section entièrement comprimée (SEC). " Pas de zone tendue".
- Si  $\sigma_a$  et  $\sigma_b$  sont des signes contraires on aura une section partiellement comprimée (SPC).

#### A- Section partiellement comprimée (tendue) :

Pour connaître la zone tendue et la zone comprimée, il faut calculer la longueur de la zone tendu  $L_t$  :



$$\Rightarrow \text{Tang}(\alpha) = \frac{\sigma_b}{L_t} = \frac{\sigma_a}{L - L_t} \Rightarrow L_t = \frac{L}{\frac{\sigma_a}{\sigma_b} + 1}$$

L'effort de traction dans la zone tendue est donné par :  $N_t = \sigma_b * L_t * a/2$

La section d'acier nécessaire est donnée par :  $A_v = \frac{N_t}{f_e / \gamma_s}$

### B- Section entièrement tendue :

Dans le cas on a deux contraintes de traction longueur tendue est égale à (L) l'effort de traction  $N(t)$  est égale à :

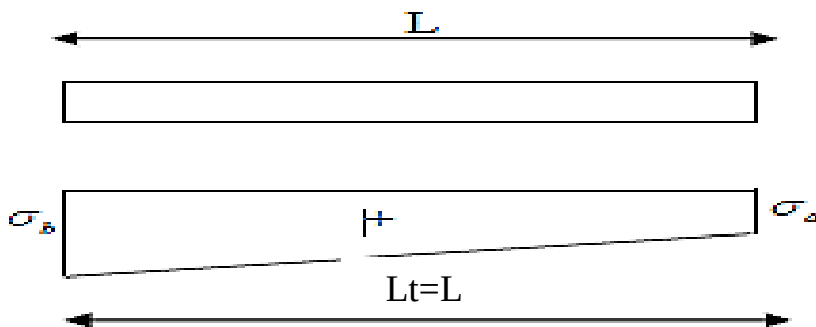
$$N_t = 0,5 * (\sigma_a * \sigma_b) * L_t * a$$

On calcule le volume des contraintes de traction, d'où la section des armatures verticales :

$A_v = \frac{N_t}{f_e / \gamma_s}$ ; on compare  $A_v$  par la section minimale exigée par le R.P.A 99 (version 2003).

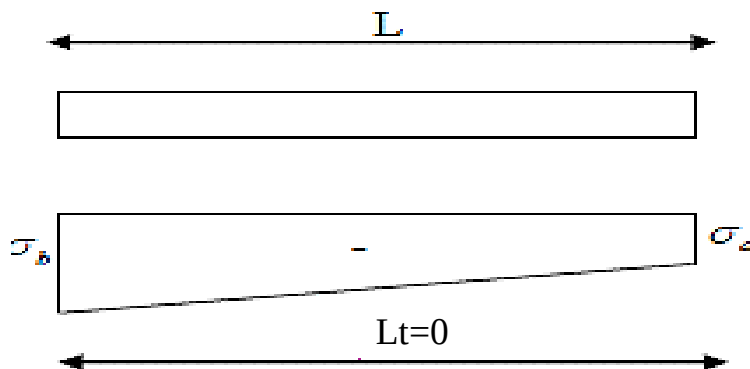
-Si :  $A_v < A_{\min} = 0,15 \% a . L$ , on ferraille avec la section minimale.

-Si :  $A_v > A_{\min}$ , on ferraille avec  $A_v$ .



### C- Section entièrement comprimée :

- Dans ce cas on a deux contraintes de compression, la section du voile est soumise à la compression et comme le béton résiste bien à la compression, la section d'acier sera celle exigée par le RPA (le ferrailage minimum) :  $A_{\min} = 0,15\% . a . L$

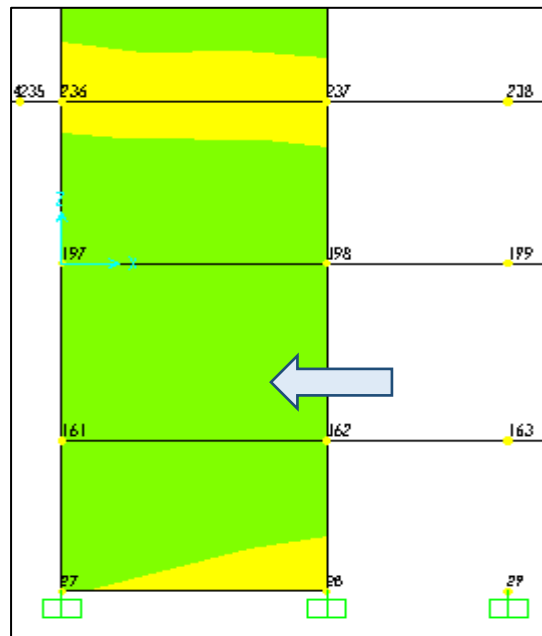


### **\*Exemple de calcul :**

D'après Le SAP 2000, on va utiliser les sollicitations (N.M.T) dans chaque étage pour le voile le plus sollicité dans les deux directions (x, y).

Après avoir comparé les valeurs les plus défavorables des sollicitations, selon les différentes combinaisons d'action.

On va prendre le type de voile Vx4 (le voile le plus sollicité dans la direction x) comme un exemple de calcul :



**Figure 27 :** le voile le plus sollicité.

Les efforts sous la combinaison 0,8G+Ex sont donnés comme suit :

$$F_{22} \text{ max} = \begin{cases} \text{Nœud 161} \Rightarrow F_{22} = -416,74 \text{ KN} \\ \text{Nœud 197} \Rightarrow F_{22} = -566,8 \text{ KN} \\ \text{Nœud 198} \Rightarrow F_{22} = -56,1 \text{ KN} \\ \text{Nœud 162} \Rightarrow F_{22} = 94,1 \text{ KN} \end{cases}$$

$$M_{22} \text{ correspondant} = \begin{cases} \text{Nœud 161} \Rightarrow M_{22} = 2,47 \text{ KN.m} \\ \text{Nœud 197} \Rightarrow M_{22} = -4,96 \text{ KN.m} \\ \text{Nœud 198} \Rightarrow M_{22} = -3,48 \text{ KN.m} \\ \text{Nœud 162} \Rightarrow M_{22} = 1,34 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$S = 0,890 \text{ m}^2 ; I = 1,469 \text{ m}^4 ; V = 2,225 \text{ m}.$$

$$\sigma_a = \frac{41,67}{0,890} + \frac{0,24}{1,469} * 2,225 = 46,45 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_b = \frac{41,67}{0,890} - \frac{0,24}{1,469} * 2,225 = 47,20 \text{ t/m}^2$$

$\sigma_a > 0$  et  $\sigma_b > 0 \rightarrow$  La section des voiles est entièrement comprimée, donc on ferraille avec les armatures minimale du RPA99.

$$\text{Donc : } A_{\min} = 0,15\% . a . L = 0,15\% * 0,2 * 4,45 = 13,35 \text{ cm}^2.$$

### Calcul du ferrailage vertical :

Le calcul se fera en deux zones (courante et nodal) pour tous les étages

Les résultats du calcul de ferrailage sont résumés dans les tableaux suivants :

Tableau 37 : Résultats de ferrailage vertical des voiles.

| Sens x-x               |       |          |            |          |          |           |           |          |              |              |                       |         |          |            |                |
|------------------------|-------|----------|------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|--------------|--------------|-----------------------|---------|----------|------------|----------------|
| 1ère-2ème sous-sol     |       |          |            |          |          |           |           |          |              |              |                       |         |          |            |                |
|                        | Nœuds | N<br>(t) | M<br>(t.m) | L<br>(m) | e<br>(m) | A<br>(m²) | I<br>(m4) | V<br>(m) | σa<br>(T/m²) | σb<br>(T/m²) | L <sub>T</sub><br>(m) | section | N<br>(T) | A<br>(cm²) | A min<br>(cm²) |
| Vx4                    | 161   | -41,67   | 0,24       | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | 46,45        | 47,20        | 0,00                  | EC      | EC       | EC         | 13,35          |
|                        | 197   | -56,68   | -0,49      | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | 62,94        | 64,45        | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |
|                        | 198   | -5,61    | -0,34      | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | 5,78         | 6,83         | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |
|                        | 162   | 9,41     | 0,13       | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | -10,77       | -10,37       | 4,45                  | ET      | 9,41     | 2,35       |                |
| RDC-1ér-2ème étages.   |       |          |            |          |          |           |           |          |              |              |                       |         |          |            |                |
|                        | Nœuds | N<br>(t) | M<br>(t.m) | L<br>(m) | e<br>(m) | A<br>(m²) | I<br>(m4) | V<br>(m) | σa<br>(T/m²) | σb<br>(T/m²) | L <sub>T</sub><br>(m) | section | N<br>(T) | A<br>(cm²) | A min<br>(cm²) |
| Vx4                    | 197   | 7,89     | 0,01       | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | -8,88        | -8,85        | 4,45                  | ET      | 7,89     | 1,97       | 13,35          |
|                        | 236   | 6,46     | 0,02       | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | -7,28        | -7,24        | 4,45                  | ET      | 6,46     | 1,62       |                |
|                        | 237   | -3,56    | 0,002      | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | 4,00         | 4,00         | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |
|                        | 198   | 4,99     | 0,011      | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | -5,62        | -5,59        | 4,45                  | ET      | 4,99     | 1,25       |                |
| 3ème .....11ème étages |       |          |            |          |          |           |           |          |              |              |                       |         |          |            |                |
|                        | Nœuds | N<br>(t) | M<br>(t.m) | L<br>(m) | e<br>(m) | A<br>(m²) | I<br>(m4) | V<br>(m) | σa<br>(T/m²) | σb<br>(T/m²) | L <sub>T</sub><br>(m) | section | N<br>(T) | A<br>(cm²) | A min<br>(cm²) |
| Vx4                    | 633   | 4,49     | -0,014     | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | -5,06        | -5,02        | 4,45                  | ET      | 4,49     | 1,12       | 13,35          |
|                        | 677   | 4,44     | -0,014     | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | -5,01        | -4,97        | 4,45                  | ET      | 4,44     | 1,11       |                |
|                        | 678   | -8,55    | -0,014     | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | 9,59         | 9,63         | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |
|                        | 634   | -8,55    | -0,014     | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | 9,59         | 9,63         | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |
| 12ème étages           |       |          |            |          |          |           |           |          |              |              |                       |         |          |            |                |
|                        | Nœuds | N<br>(t) | M<br>(t.m) | L<br>(m) | e<br>(m) | A<br>(m²) | I<br>(m4) | V<br>(m) | σa<br>(T/m²) | σb<br>(T/m²) | L <sub>T</sub><br>(m) | section | N<br>(T) | A<br>(cm²) | A min<br>(cm²) |
| Vx4                    | 723   | 4,86     | 1,63       | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | -7,935       | -2,987       | 4,45                  | ET      | 4,86     | 1,22       | 13,35          |
|                        | 767   | 8,08     | -0,04      | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | -9,140       | -9,006       | 4,45                  | ET      | 8,08     | 2,02       |                |
|                        | 768   | -7,27    | -0,04      | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | 8,103        | 8,236        | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |
|                        | 724   | -10,48   | 0,02       | 4,45     | 0,2      | 0,890     | 1,469     | 2,225    | 11,75        | 11,80        | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |

| Sens y-y                      |       |          |            |          |          |           |           |          |              |              |                       |         |          |            |                |
|-------------------------------|-------|----------|------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|--------------|--------------|-----------------------|---------|----------|------------|----------------|
| 2ème sous-sol.....6ème étages |       |          |            |          |          |           |           |          |              |              |                       |         |          |            |                |
|                               | Nœuds | N<br>(t) | M<br>(t.m) | L<br>(m) | e<br>(m) | A<br>(m²) | I<br>(m4) | V<br>(m) | σa<br>(T/m²) | σb<br>(T/m²) | L <sub>T</sub><br>(m) | section | N<br>(T) | A<br>(cm²) | A min<br>(cm²) |
| Vy3                           | 185   | 21,14    | 0,03       | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | -24,62       | -24,54       | 4,30                  | ET      | 21,14    | 5,28       | 12,9           |
|                               | 221   | 21,14    | 0,01       | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | -24,58       | -24,58       | 4,30                  | ET      | 21,14    | 5,28       |                |
|                               | 226   | -106,4   | -0,01      | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | 123,7        | 123,8        | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |
|                               | 189   | -106,4   | -0,06      | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | 123,6        | 123,9        | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |
| 7ème étages..... 11ème étages |       |          |            |          |          |           |           |          |              |              |                       |         |          |            |                |
|                               | Nœuds | N<br>(t) | M<br>(t.m) | L<br>(m) | e<br>(m) | A<br>(m²) | I<br>(m4) | V<br>(m) | σa<br>(T/m²) | σb<br>(T/m²) | L <sub>T</sub><br>(m) | section | N<br>(T) | A<br>(cm²) | A min<br>(cm²) |
| Vy3                           | 573   | 0,04     | -0,02      | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | -0,07        | -0,02        | 4,30                  | ET      | 0,04     | 0,01       | 12,9           |
|                               | 618   | -0,24    | 0,03       | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | 0,23         | 0,33         | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |
|                               | 624   | 1,11     | 0,03       | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | -1,34        | -1,24        | 4,30                  | ET      | 1,11     | 0,28       |                |
|                               | 578   | 1,39     | -0,02      | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | -1,64        | -1,59        | 4,30                  | ET      | 1,39     | 0,35       |                |
| 12ème étages                  |       |          |            |          |          |           |           |          |              |              |                       |         |          |            |                |
|                               | Nœuds | N<br>(t) | M<br>(t.m) | L<br>(m) | e<br>(m) | A<br>(m²) | I<br>(m4) | V<br>(m) | σa<br>(T/m²) | σb<br>(T/m²) | L <sub>T</sub><br>(m) | section | N<br>(T) | A<br>(cm²) | A min<br>(cm²) |
| Vy3                           | 708   | -11,60   | 0,01       | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | 13,48        | 13,50        | 0,00                  | EC      | EC       | EC         | 12,9           |
|                               | 753   | -8,49    | -0,02      | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | 9,85         | 9,90         | 0,00                  | EC      | EC       | EC         |                |
|                               | 758   | 4,01     | -0,02      | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | -4,69        | -4,64        | 4,30                  | ET      | 4,01     | 1,00       |                |
|                               | 714   | 0,90     | 0,01       | 4,30     | 0,2      | 0,860     | 1,325     | 2,150    | -1,05        | -1,04        | 4,30                  | ET      | 0,90     | 0,23       |                |

### ✚ Calcul de ferrailage horizontal :

On prend le Min RPA :

-Sens x-x :  $A_{min} = 0,15\%.a.L = 13,35\text{cm}^2$

On choisit 10T14 de section  $15,39\text{cm}^2$ .

-Sens y-y :  $A_{min} = 0,15\%.a.L = 12,90\text{cm}^2$

On choisit 10T14 de section  $15,39\text{cm}^2$ .



### ✚ Vérification des contraintes de cisaillement :

-D'après le BAEL91 :  $\tau = \frac{Tu}{b*d} \leq \bar{\tau}_u$

T : effort tranchant à la base du voile.  
b : la longueur de la section (épaisseur du voile).  
d = 0.9h. ; h= hauteur de la section.

$\bar{\tau}_u = \{0,2*f_{c28} / \gamma_b ; 5\text{MPa}\} = 3,33\text{MPa}$

-D'après le RPA 99 :  $\tau = \frac{1,4*Tu}{b*d} \leq \bar{\tau}_u$

**Tableau 38** : Les contraintes de cisaillement

|     | niveau                      | h (m) | T(KN) | $\tau_{\text{BAEL}}(\text{MPa})$ | $\tau_{\text{RPA}}(\text{MPa})$ | $\bar{\tau}_u$ (MPa) | vérification |
|-----|-----------------------------|-------|-------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------|--------------|
| Vx4 | 1ère-2ème sous-sol          | 4,45  | 20,59 | 0,025                            | 0,036                           | 3,333                | C.V          |
|     | RDC...2ème étages           | 4,45  | 45,33 | 0,056                            | 0,079                           | 3,333                | C.V          |
|     | 3ème...11ème étages         | 4,45  | 64,99 | 0,081                            | 0,114                           | 3,333                | C.V          |
|     | 12ème étages                | 4,45  | 80,36 | 0,100                            | 0,140                           | 3,333                | C.V          |
| Vy3 | 2ème sous-sol...6ème étages | 4,45  | 0,26  | 0,003                            | 0,004                           | 3,333                | C.V          |
|     | 7ème ... 11ème étages       | 4,45  | 0,14  | 0,001                            | 0,002                           | 3,333                | C.V          |
|     | 12ème étages                | 4,45  | 0,43  | 0,005                            | 0,007                           | 3,333                | C.V          |

#### \* Espacement des armatures transversales :

-BAEL91 :  $St \leq \min (0,9d ; 40\text{cm}) \Rightarrow St \leq 40\text{cm}$

- RPA 99 :  $St \leq \min (1,5a ; 30\text{cm}) \Rightarrow St \leq 30\text{cm}$

$$St \leq \min (St_{\text{BAEL}} ; St_{\text{RPA}}) \Rightarrow St \leq 30 \text{ cm}$$

-On prend :  $St = 10 \text{ cm}$  en zone nodale.

$St = 20 \text{ cm}$  en zone courant.

#### \* Calcul des armatures transversales :

$$\frac{At}{St} \geq \frac{(\tau_u - \tau_0) \gamma_s * b}{0,9 * f_e (\cos \alpha + \sin \beta)}$$

$$\tau_0 = 0,3 * f'_{ij} * k \quad ; \quad f'_{ij} = (f_{ij}; 3,3MPa)$$

K=0 cas de reprise de bétonnage.

$$\alpha=90^\circ : St \leq \min (1,5a ; 30cm) \Rightarrow St \leq 30cm \Rightarrow St = 20 \text{ cm.}$$

$$At \geq \frac{\tau_u * \gamma_s * b * St}{0,9 * f_e}$$

**Tableau 39 : Résultats de ferrailage transversal des voiles.**

|            | niveau                      | $\tau_{RPA}(MPa)$ | $At(cm^2)$ | St (cm) | A choisi<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------------------------|-------------------|------------|---------|--------------------------------|
| <b>Vx4</b> | 1ère-2ème sous-sol          | 0,036             | 0,04       | 20      | 2HA10=<br>1,57                 |
|            | RDC...2ème étages           | 0,079             | 0,10       | 20      | 2HA10=<br>1,57                 |
|            | 3ème...11ème étages         | 0,114             | 0,16       | 20      | 2HA10=<br>1,57                 |
|            | 12ème étages                | 0,140             | 0,20       | 20      | 2HA10=<br>1,57                 |
| <b>Vy3</b> | 2ème sous-sol...6ème étages | 0,004             | 0,011      | 20      | 2HA10=<br>1,57                 |
|            | 7ème ... 11ème étages       | 0,002             | 0,01       | 20      | 2HA10=<br>1,57                 |
|            | 12ème étages                | 0,007             | 0,014      | 20      | 2HA10=<br>1,57                 |

**Tableau 40 : Résultats de ferrailage des voiles.**

|            | niveau                          | $A_v$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_{min}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | A<br>choisis<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_h$<br>(cm <sup>2</sup> ) | A<br>choisis<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_t$<br>(cm <sup>2</sup> ) | St<br>(cm) | A choisi<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------|--------------------------------|
| <b>Vx4</b> | 1ère-2ème sous-sol              | 2,35                        | 13,35                           | 10T14=<br>15,39                    | 13,35                       | 10T14=<br>15,39                    | 0,04                        | 20         | 2HA10=<br>1,57                 |
|            | RDC...2ème étages               | 1,97                        | 13,35                           | 10T14=<br>15,39                    | 13,35                       | 10T14=<br>15,39                    | 0,10                        | 20         | 2HA10=<br>1,57                 |
|            | 3ème...11ème<br>étages          | 1,12                        | 13,35                           | 10T14=<br>15,39                    | 13,35                       | 10T14=<br>15,39                    | 0,16                        | 20         | 2HA10=<br>1,57                 |
|            | 12ème étages                    | 2,02                        | 13,35                           | 10T14=<br>15,39                    | 13,35                       | 10T14=<br>15,39                    | 0,20                        | 20         | 2HA10=<br>1,57                 |
| <b>Vy3</b> | 2ème sous-<br>sol...6ème étages | 5,28                        | 12,90                           | 10T14=<br>15,39                    | 12,90                       | 10T14=<br>15,39                    | 0,011                       | 20         | 2HA10=<br>1,57                 |
|            | 7ème ... 11ème<br>étages        | 0,35                        | 12,90                           | 10T14=<br>15,39                    | 12,90                       | 10T14=<br>15,39                    | 0,01                        | 20         | 2HA10=<br>1,57                 |
|            | 12ème étages                    | 1,00                        | 12,90                           | 10T14=<br>15,39                    | 12,90                       | 10T14=<br>15,39                    | 0,014                       | 20         | 2HA10=<br>1,57                 |

### VI.3.Poutre noyées :

#### VI.3.1.Definition :

Les Poutres noyées sont des poutres incorporées dans les planchers, considérées du point de vue calcul comme simplement appuyées aux extrémités, en tenant compte de l'encastrement partiel, nous procédons à la ventilation du moment isostatique.

Ces poutres sont des éléments non exposés aux intempéries et sollicités par un moment fléchissant et un effort tranchant, donc le calcul se fera en flexion simple avec une fissuration peu nuisible.

#### VI.3.2.Ferraillage :

Pour le ferraillage on choisira la poutre la plus sollicitée.

Le moment isostatique :  $M_u = 44,04 \text{ KN.m}$

##### 1-Ferraillage longitudinale :

✚ Ventilation des moments :

-Moment en travée :  $M_{ut} = 0,85 * M_u = 37,43 \text{ KN.m}$

-Moment en appui :  $M_{ua} = 0,5 * M_u = 22,02 \text{ KN.m}$

➤ **En travée :**

$b = 60 \text{ cm}$  ;  $h = 20 \text{ cm}$  ;  $d = 0,9h = 18 \text{ cm}$  ;  $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$  ;  $f_{t28} = 2,1 \text{ MPa}$  ;  $f_{bc} = 14,17 \text{ MPa}$  ;  $\sigma_{st} = 347,83 \text{ MPa}$

$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = 0,135 < \mu_r = 0,392 \Rightarrow$  La section est de simple armature, les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$$A_{st} = \frac{M_u}{z \cdot \sigma_{st}} \Rightarrow Z = d * (1 - 0,4\alpha) ; \alpha = 1,25 * (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0,180 \Rightarrow Z = 0,167 \text{ m}$$

Donc :  $A_{st} = 6,45 \text{ cm}^2$  On choisit : **3T12+2T14** de section **6,47 cm<sup>2</sup>/ml**.

➤ **En appuis :**

$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = 0,079 < \mu_r = 0,392 \Rightarrow$  La section est de simple armature, les armatures de compression ne sont pas nécessaires.

$$A_{st} = \frac{M_u}{z \cdot \sigma_{st}} \Rightarrow Z = d * (1 - 0,4\alpha) ; \alpha = 1,25 * (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0,111 \Rightarrow Z = 0,172 \text{ m}$$

Donc :  $A_{st} = 3,67 \text{ cm}^2$  On choisit : **3T12+2T14** de section **6,47 cm<sup>2</sup>/ml**.

✚ Condition de non fragilité :

La section minimale :  $A_{st} \geq 0,23 * b * d * f_{t28} / f_e \Rightarrow A_{st} \geq 1,3 \text{ cm}^2 \dots \text{CV}$

✚ Armature minimal :

$A_{min} = 0,5\% * b * h = 6 \text{ cm}^2$

Le ferraillage adopté :    En travée : **3T12+2T14**  
                                      En appuis : **3T12+2T14**

## 2-Ferraillage transversal :

### ➤ Vérification des contraintes de cisaillement :

-D'après le BAEL91 (art A.5.1.21) :  $\tau = \frac{Vu}{b*d} \leq \bar{\tau}_u$

$$\bar{\tau}_u = \{0,2 * f_{c28} / \gamma_b ; 5\text{MPa}\} = 3,33\text{MPa}$$

$$\tau_u = \frac{Vu}{b*d} = \frac{33,82 * 10^{-3}}{0,18 * 0,6} = 3,12\text{MPa}$$

$\Rightarrow \tau_u = 3,12\text{MPa} < \bar{\tau}_u = 3,33\text{MPa}$ ..... Condition vérifiée.

Donc Les armatures transversales ne sont pas nécessaires.

### ➤ Détermination des espacements :

Selon le RPA 99 version 2003 :

$St \leq \min (h / 4 ; 12 * \phi_{l \min} ; 30\text{cm}) \Rightarrow$  zone nodale

$St \leq h / 2 \Rightarrow$  zone courant

$\Phi$  : le diamètre minimal des armatures longitudinales de la poutre considérée.

$St \leq 5\text{cm} \Rightarrow$  zone nodale

$St \leq 10\text{cm} \Rightarrow$  zone courant

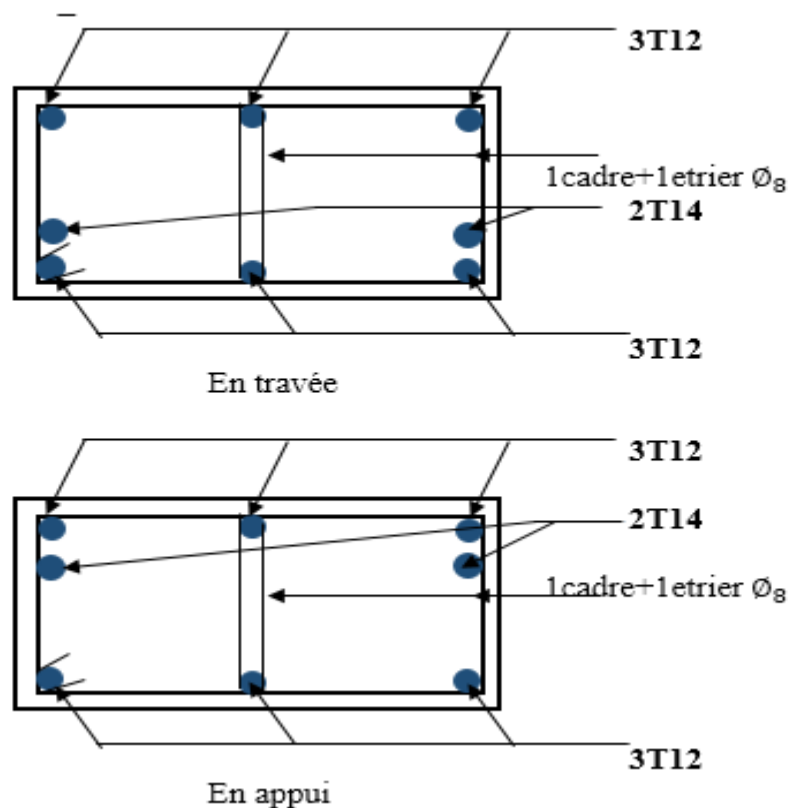


Figure 28 : Ferraillage de poutres noyées

**Chapitre VII :**  
**ETUDE DE L'INFRASTRUCTURE**

## ETUDE DE L'INFRASTRUCTURE

### VII.1. INTRODUCTION :

Toute structure à besoin d'une bonne base pour ne pas s'effondrer, c'est pour cela qu'une fondation fait office de relais entre la structure et le sol. Elle est comprise dans l'élément architectural d'un bâtiment et a pour rôle de s'opposer au tassement et aux infiltrations des eaux, assure la transmission des charges et les répartissent dans le sol.

On peut retrouver trois principaux types de fondation qui sont :

- ✓ Fondation superficielle
- ✓ Fondation profonde
- ✓ Fondation spéciale

### VII.2. ETUDE GEOTECHNIQUE :

L'étude géotechnique a été réalisée par Laboratoire de l'Habitat et de la construction de l'Ouest (L.H.C/O).

Les différents essais qui ont été réalisés sont les suivants :

- Un (01) sondage carotté de 15.0 m de profondeur, qui nous a permis d'établir une coupe géologique des sols rencontrés et effectuer les essais en laboratoire.
- Quatre (04) essais pénétrométriques, donnant la résistance du sol en fonction de la profondeur.

Les sondages ont mis en évidence la succession lithologique suivante :

- Couche de remblai importante atteignant 5.5 de profondeur.
- Couche d'une argile sableuse avec des passages de calcaire d'épaisseur environ 0.5 m.
- Bloc de roche de calcaire décimétrique à métriques engoutis dans du sable argileux, de 6.00 de profondeur.
- L'absence de l'eau dans la profondeur de reconnaissance, aucune humidité sur les tiges du pénétromètre n'a été décelée.

D'après le rapport géotechnique :  **$q_{adm} = 2.5 \text{ bar}$** .

### **\*Le choix de type de fondation :**

Le choix de type de fondation dépend du :

- Type d'ouvrage à construire.
- La nature et l'homogénéité du bon sol.
- La capacité portance de terrain de fondation.
- La charge totale transmise au sol.
- La raison économique.
- La facilité de réalisation.

On a adopté comme fondation un radier général, à cause de l'importance d'ouvrage et les charges transmises.

### **VII.3. ETUDE DU RADIER GENERAL :**

Un radier est une dalle plane, éventuellement nervurée, constituant l'ensemble des fondations d'un bâtiment. Il s'étend sur toute la surface de l'ouvrage.

#### **❖ Predimensionnement :**

##### **1- Dalle :**

L'épaisseur de la dalle du radier doit satisfaire aux conditions suivantes

$$h1 \geq \frac{L_{\max}}{20} \quad L_{\max} : \text{La longueur maximale entre les axes des voiles.}$$

$$L_{\max} = 4.55 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad h1 \geq 22.75 \text{ cm}$$

##### **2-Nervure :**

Épaisseur de la nervure doit satisfaire la condition suivante :

$$h2 \geq \frac{L_{\max}}{10} \quad \longrightarrow \quad h2 \geq 45.5 \text{ cm}$$

Après plusieurs propositions des valeurs de l'épaisseur de la dalle et les nervures on trouve :

$$h1=80\text{cm} ; h2=120\text{cm} \quad \longrightarrow \quad \text{Vérifient de la contrainte du sol}$$

##### **2- Débordement (D) :**

$$\text{Largeur minimal de débord } D \geq \text{Max} \left( \frac{h}{2} ; 30 \text{ cm} \right) = 60 \text{ cm}$$

On adopte : D= 80 cm

#### **❖ Vérification de la contrainte du sol :**

La condition qu'on doit vérifier est la suivante :  $\sigma_B \leq \overline{\sigma}_{\text{sol}}$

D'après le rapport géotechnique, on a un taux de travail du sol  $\overline{\sigma}_{\text{sol}} = 2.5 \text{ bar}$

$$\sigma_B = k * Z_{\max}$$



Avec :

K : Le coefficient de BALLAST (coefficient de la raideur du sol)

Avec :

K : Le coefficient de BALLAST (coefficient de la raideur du sol).

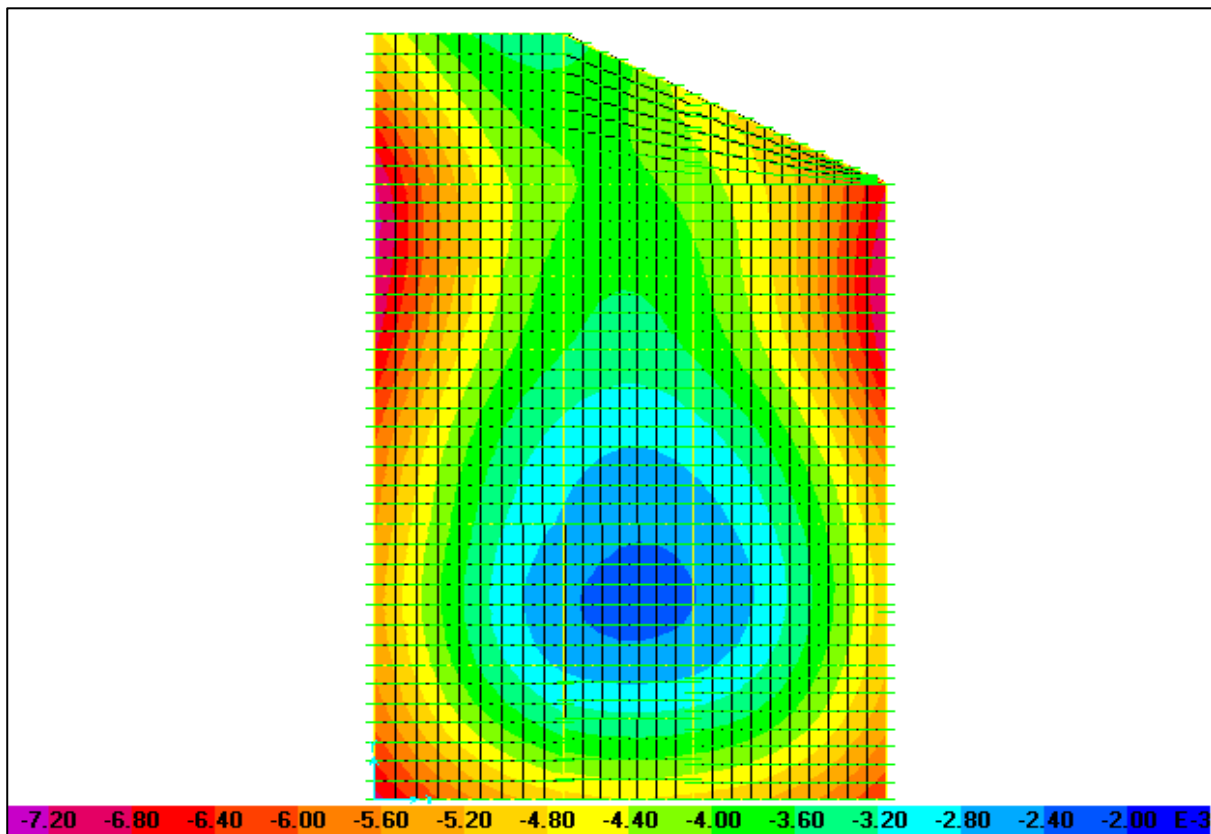
$$K \simeq 2 * \overline{\sigma_{\text{sol}}} = 2 * 2.5 = 50000 \text{ kN/m}^2/\text{ml}$$

$Z_{\text{max}}$  : Déplacement maximal suivant Uz [ELS ; SAP2000].

$$Z_{\text{max}} = 0.0048 \text{ m}$$

$$\sigma_B = 0.0048 * 50000 = 240 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_B = 2.40 \text{ bar} \leq 2.5 \text{ bar} \dots \dots \text{CV}$$



**Figure 28** : Déplacement maximal suivant Uz (ELS)

### ❖ Les différentes sollicitations :

Pour la modélisation du radier, on a utilisé le logiciel SAP2000, et on a obtenu les résultats suivants :

-Sens x-x :

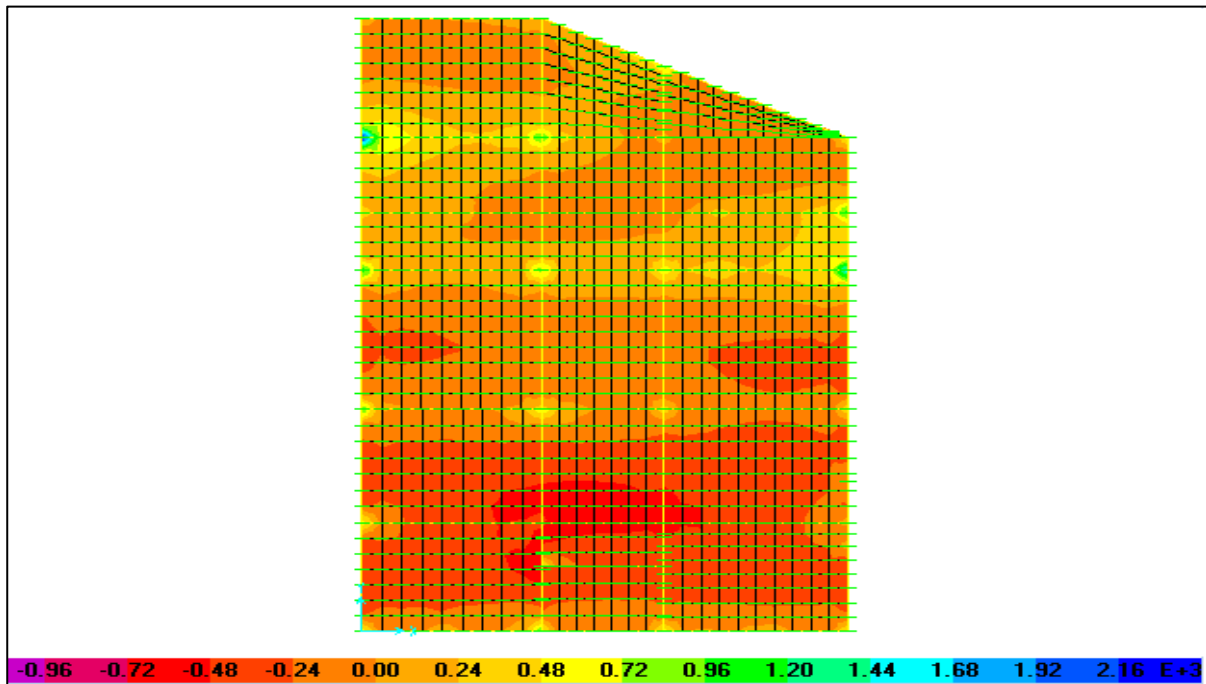


Figure29 : MomentM22 « ELU »

-Sens y-y :

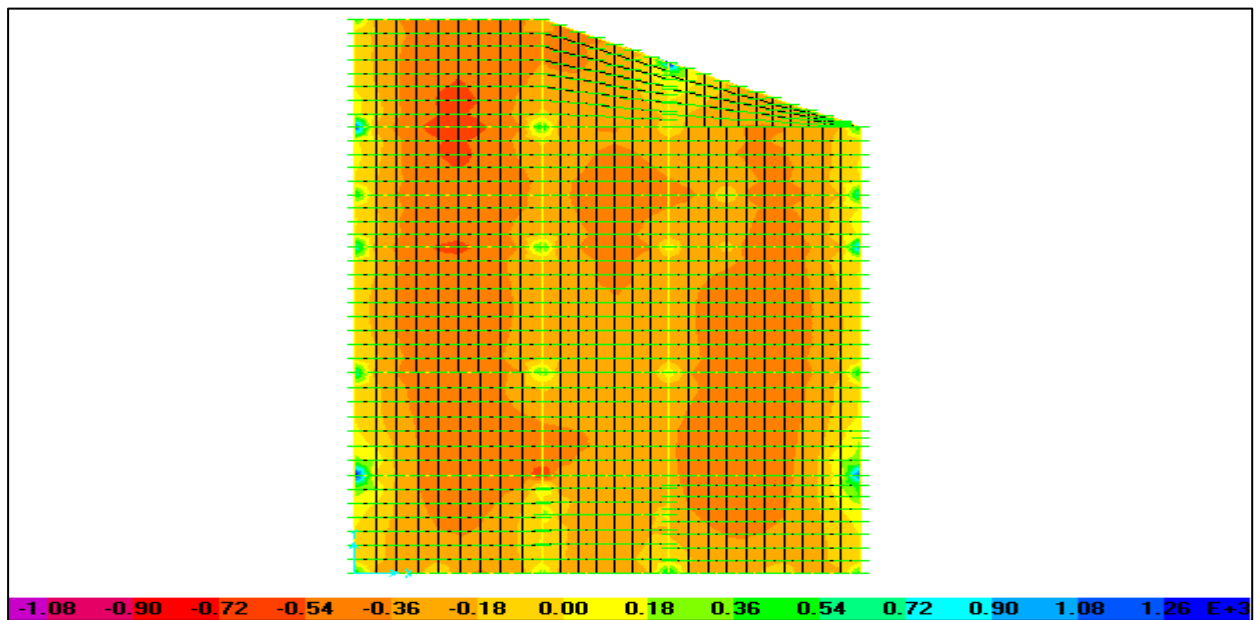


Figure 30 : MomentM11 « ELU »

### ❖ Calcul du ferrailage

Ferrailage de la dalle :

Le calcul se fait à la flexion simple avec une section de  $(0.8 \times 1) \text{ m}^2$  et en deux directions.

### Sens x-x « ELU »

#### ➤ En travée :

$f_{bc} = 14.17 \text{ MPa}$  ;  $\sigma_{st} = 348 \text{ MPa}$  ;  $h_1 = 0.8 \text{ m}$  ;  $b = 1 \text{ m}$  ;  $M_{ut} = 0.6 \text{ MN.m}$

$$\mu = \frac{M_{ut}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \mu = 0.0816$$

$$\alpha = 1.25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}) ; \quad \alpha = 0.106$$

$$Z = d \cdot (1 - 0.4 \cdot \alpha) ; \quad Z = 0.689 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{0.6}{348 \cdot 0.689} \longrightarrow A_{st} = 25.02 \text{ cm}^2$$

Le choix est : T16

$$M = A_{st} \cdot \sigma_{st} \cdot Z = 20.11 \cdot 348 \cdot 68.9$$

**M = 480 KN.m**

$$\mu = \frac{M_{ut}}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = 0.0653$$

$$\alpha = 0.084 ; \quad Z = 0.695 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{0.48}{348 \cdot 0.695} = 19.84 \text{ cm}^2$$

Le choix est :  $A_{st} = 10\text{T16} + 4\text{T14}$  par 1ml

#### ➤ En appuis :

| M (KN.m) | $\mu$ | $\alpha$ | Z (m) | Ast cal (cm <sup>2</sup> ) |
|----------|-------|----------|-------|----------------------------|
| 1000     | 0.136 | 0.183    | 0.667 | 43.08                      |

T16

$$M = A_{st} \cdot \sigma_{st} \cdot Z = 20.11 \cdot 348 \cdot 68.9$$

**M = 480 KN.m**

$$\longrightarrow A_{st} = 19.84 \text{ cm}^2$$

Le choix est :  $A_{st} = 10\text{T16} + (6\text{T16} + 6\text{T16})$  par 1ml

### \*Condition de non fragilité :

$$A_{st \text{ mini}} > 0.23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28} / f_e \longrightarrow A_{st \text{ mini}} > 8.694 \text{ cm}^2$$

$$A_{st \text{ mini}} > A_{st} \dots\dots\dots \text{CV}$$

### Selon RPA99 V2003

$$A_{st} \geq A_{min}$$

$$A_{min} = 0.5\% \cdot b \cdot h$$

$$A_{min} = 0.005 \cdot 100 \cdot 80 = 40 \text{ cm}^2$$

$$A_{st \text{ appuis}} + A_{st \text{ travée}} = 20.11 + 20.11 = 40.22 \text{ cm}^2 > 40 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{CV}$$

### ✚ Vérification à l'ELS :

$$\alpha \leq \frac{\gamma-1}{2} + \frac{fc28}{100} ; \text{ avec : } \gamma = \frac{Mu}{Ms}$$

#### ➤ En Travée :

$$Ms = 410 \text{ KN.m} ; Mu = 600 \text{ KN.m}$$

$$\gamma = \frac{600}{410} = 1.463$$

$$\alpha \leq \frac{1.463-1}{2} + \frac{25}{100} \longrightarrow \alpha = 0.106 < 0.481 \dots \text{CV}$$

#### ➤ En appuis :

$$Mu = 1000 \text{ KN.m} ; Ms = 900 \text{ KN.m}$$

$$\gamma = \frac{1000}{900} = 1.111$$

$$\alpha \leq \frac{1.111-1}{2} + \frac{25}{100} \longrightarrow \alpha = 0.183 < 0.305 \dots \text{CV}$$

### Sens y-y « ELU »

#### ➤ En travée :

| M (KN.m) | $\mu$  | $\alpha$ | Z (m) | Ast cal (cm <sup>2</sup> /ml) |
|----------|--------|----------|-------|-------------------------------|
| 600      | 0.0667 | 0.106    | 0.689 | 25.02                         |

#### ➤ En appuis :

| M (KN.m) | $\mu$ | $\alpha$ | Z (m) | Ast cal (cm <sup>2</sup> /ml) |
|----------|-------|----------|-------|-------------------------------|
| 750      | 0.102 | 0.134    | 0.681 | 31.64                         |

**Tableau 41** : Résumé de ferrailage sens y-y

|        | M (KN.m) | Ast (1ml)         |
|--------|----------|-------------------|
| travée | 600      | 10T16 + 3T14 chap |
| appuis | 750      | 8T16 + 8T16 chap  |

### \*Condition de non fragilité :

$$Ast \text{ mini} > 0.23 * b * d * ft28 / fe \longrightarrow Ast \text{ mini} > 8.694 \text{ cm}^2$$

$$Ast = 26.74 \text{ cm}^2 > Ast \text{ mini} \dots \text{CV}$$

## ✚ Vérification à l'ELS :

### ➤ En Travée :

$$M_s = 450 \text{ KN.m} ; M_u = 600 \text{ KN.m}$$

$$\gamma = \frac{600}{450} = 1.333$$

$$\alpha \leq \frac{1.333-1}{2} + \frac{25}{100} \longrightarrow \alpha = 0.106 < 0.416 \dots \text{CV}$$

### ➤ En appuis :

$$M_u = 750 \text{ KN.m} ; M_s = 700 \text{ KN.m}$$

$$\gamma = \frac{750}{700} = 1.071$$

$$\alpha \leq \frac{1.071-1}{2} + \frac{25}{100} \longrightarrow \alpha = 0.134 < 0.285 \dots \text{CV}$$

### -Vérification de la contrainte de cisaillement :

$$\tau = \frac{T_u}{bd} = \frac{1.800}{1 \times 0.9 \times 0.8} = 2.5 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} = \min \left( \frac{0.2}{\gamma_b} f_{c28} ; 5 \text{ MPa} \right) = 3.33 \text{ MPa}$$

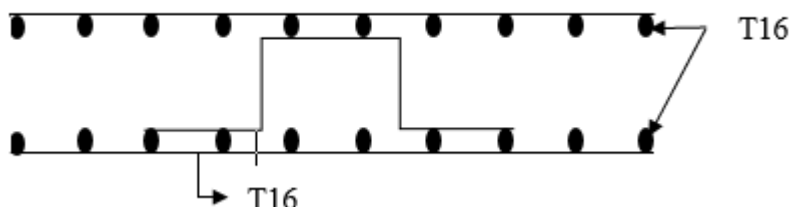
Alors :  $\tau < \bar{\tau} \rightarrow$  condition vérifiée

### -Calcul de l'espacement :

D'après le (BAEL91) :  $St \leq \text{Mini} (0.9 \cdot d ; 40) \text{ cm} \longrightarrow St \leq \text{Mini} (65 ; 40) \text{ cm}$

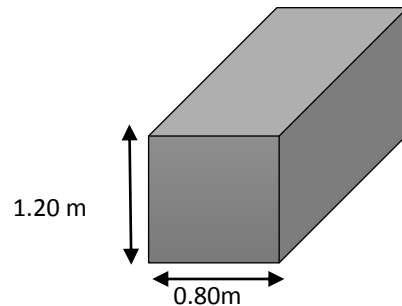
**Tableau 41** : Résumé des résultats de ferrillages de radier

|                 |               | moment(KN.m) | Ast adop (cm <sup>2</sup> ) | St (cm) |
|-----------------|---------------|--------------|-----------------------------|---------|
| <b>Sens x-x</b> | <b>travée</b> | 600          | 10T16+4T14 chap             | 9       |
|                 | <b>appuis</b> | 1000         | 10T16+ (6T16 +6T16) chap    | 9       |
| <b>Sens y-y</b> | <b>travée</b> | 560          | 10T16 +4T14 chap            | 8       |
|                 | <b>appuis</b> | 750          | 10T16 + 6T16 chap           | 13      |



### ❖ Ferraillage de la nervure :

Le calcul se fait en flexion simple avec une section rectangulaire représentée dans la figure suivante :



**Figure31** : Dimension de la nervure

#### 1. Ferraillage longitudinal :

Sens y-y :

**Tableau 42** : Ferraillage longitudinal des nervures sens x-x

|       | Appuis                     |                          | travée                     |                          |
|-------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| Pivot | Ast cal (cm <sup>2</sup> ) | Choix (cm <sup>2</sup> ) | Ast cal (cm <sup>2</sup> ) | choix (cm <sup>2</sup> ) |
| A     | 53.64                      | 12T20+2T16=54.2          | 27.89                      | 6T20+6T14=28.09          |
| B     | 33.06                      | 8T20+4T16=33.17          | 22.98                      | 8T20=25.13               |
| C     | 27.09                      | 6T20+6T14=28.09          | 27.64                      | 6T20+6T14=28.09          |
| D     | 35.77                      | 8T20+6T16=37.19          | 25.96                      | 8T20+2T14=28.21          |

Sens x-x :

**Tableau 43** : Ferraillage longitudinal des nervures sens y-y

|     | Appuis                     |                          | travée                     |                          |
|-----|----------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------------------|
| fil | Ast cal (cm <sup>2</sup> ) | Choix (cm <sup>2</sup> ) | Ast cal (cm <sup>2</sup> ) | choix (cm <sup>2</sup> ) |
| 1   | 17.25                      | 8T16+2T12= 18.34         | 28.62                      | 8T16+2T14 = 19.16        |
| 2   | 27.6                       | 8T16+6T16=28.14          | 23.48                      | 8T16+6T14=25.32          |
| 3   | 25.63                      | 6T20 +4T16= 26.89        | 28.22                      | 6T20+6T16=30.91          |
| 4   | 29.89                      | 8T20+4T14=31.29          | 29.84                      | 8T20+6T14=34.29          |
| 5   | 32.69                      | 8T20+4T16=33.17          | 33.22                      | 8T20+6T16=34.37          |
| 6   | 33.83                      | 8T20+6T16=37.19          | 40.108                     | 8T20+8T16=41.21          |
| 7   | 27.028                     | 8T20+2T14=28.31          | 29.10                      | 8T20+2T16=29.15          |

\*Condition de non fragilité :

$$A_s \geq \max \left( \frac{b \cdot h}{1000} ; 0.23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{c28}}{f_e} \right)$$

$$A_s \geq 10.43 \text{ cm}^2$$

## 2. Ferrailage transversal :

### ➤ Vérification de la contrainte de cisaillement :

$$\tau = \frac{T_u}{bd} = \frac{2.2897}{0.9 \times 0.8} = 2.38 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} = \min \left( \frac{0.2}{\gamma_b} f_{c28} ; 5 \text{ MPa} \right) = 3.33 \text{ MPa.}$$

Alors :  $\tau < \bar{\tau} \rightarrow$  condition vérifiée

### ➤ Calcul du diamètre des armatures transversales

$$\phi_t \leq \min (h/35 ; \phi_l ; b/12) \Rightarrow \phi_t \leq \min (2.28 ; 1.2 ; 8.33) \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \phi_t = 10 \text{ mm}$$

Alors on adopte un choix de : **Φ10**

### ➤ Calcul de l'espacement :

Selon le RPA99 V2003 on a :

- En zone nodale.

$$St \leq \min \left( \frac{h}{4} ; 12 \cdot \phi_{\min} ; 30 \text{ cm} \right) \Rightarrow St \leq \min \left( \frac{120}{4} ; 12 \cdot 1.4 ; 30 \right)$$

$$\Rightarrow St \leq 16.8 \text{ cm}$$

On choisit : **St= 15 cm.**

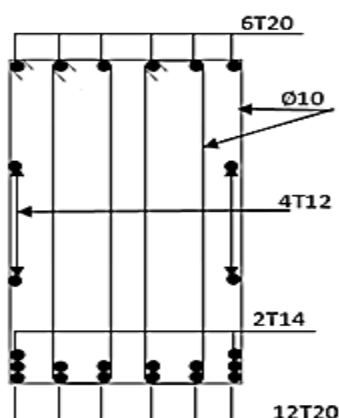
-En zone courante :

$$S't \leq \frac{h}{2} \Rightarrow S't \leq \frac{120}{2}$$

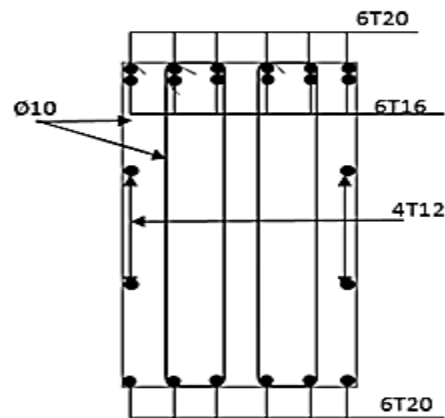
$$\Rightarrow S't \leq 60 \text{ cm}$$

On choisit : **St= 30 cm.**

Sens y-y: pivot A



appui



travée

Figure 32 : Ferrailage de la nervure

### VII.4. Calcul des voiles périphériques :

#### 1-Introduction :

Les voiles périphériques a pour but d'accroître la rigidité de la base et pour assure à la fois un bon chainage et une bonne stabilité de l'ouvrage ainsi qu'il limite les déplacements horizontaux relatifs des fondations.

Pour les ossatures au-dessous du niveau de base le « RPA 99 VERSION 2003 » exige les caractéristiques minimales ci-dessous :

- ♦ Epaisseur supérieure ou égale  $\geq 15$  cm ;
- ♦ Les armatures sont constituées à 0.10% dans les deux sens ;

#### 2- Dimensionnement du voile :

- Epaisseur :  $e = 20$ cm
- Hauteur :  $H = 2,84$  m

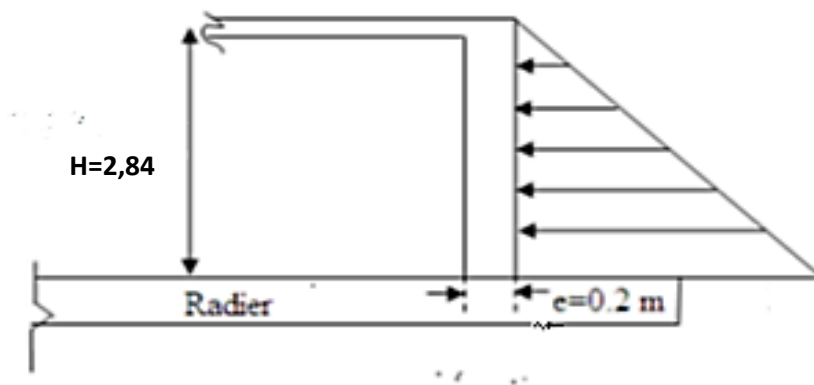


Figure 33 : Schéma d'un mur périphérique

#### 3- Détermination des sollicitations :

Le voile périphérique est conçu de telle façon à retenir la totalité des poussées des terres.

Les contraintes qui s'exercent sur la face du voile sont :

$\sigma_H$ : Contraintes horizontales.

$\sigma_V$ : Contraintes Verticales.

$$\sigma_H = K_0 * \sigma_V$$

$K_0$  : Coefficient de poussée des terres au repos.

$$K_0 = \frac{1 - \sin(\phi)}{1 + \sin(\phi)} \text{ avec } \phi : \text{angle de frottement interne.}$$



### \*Données :

Surcharge éventuelle :  $q=2,5\text{KN/m}^2$

Poids volumique :  $\gamma=17\text{ KN/m}^3$  (matériaux rapportée ,couche de remblai)

Angle de frottement interne :  $\Phi=30^\circ$

Cohésion :  $C=0$

### a-Calcul de la force de poussée :

$$F=K_0 \cdot \gamma_{\text{sol}} \cdot H^2/2 = 0,33 \cdot 17 \cdot (2,84^2/2) = 22,83\text{KN/ml}$$

### b- Poussée supplémentaire due à la surcharge :

$$Q= q \cdot K_0 \cdot H = 2,5 \cdot 0,33 \cdot 2,84 = 2,34\text{ KN/ml}$$

### C - La charge pondérée :

$$Q_u=1,35 \cdot F + 1,5 \cdot Q = 1,35 \cdot 22,83 + 1,5 \cdot 2,34 = 34,33\text{ KN/ml}$$

$$Q_s= F + Q = 22,83 + 2,34 = 25,17\text{ KN/ml}$$

### 4-Calcul du ferrailage des voiles périphérique :

Les murs sont calculés comme une dalle pleine supposée uniformément chargée par la poussée de terre sur le panneau le plus sollicité.

Le panneau à étudier est de dimension  $(4,45 \times 2,84)\text{ m}^2$ , et d'épaisseur  $e = 20\text{cm}$ .

### a-Calcul du moment :

➤ Calcul de «  $\rho$  » :

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = \frac{2,84}{4,45} = 0,61 ; \quad 0,4 \leq \rho \leq 1 \Rightarrow \text{dalle portante dans les deux sens.}$$

$$\text{-Méthode B.A.E.L : } \begin{cases} M_{0x} = \mu_x \cdot q_u \cdot L_x^2 \\ M_{0y} = \mu_y \cdot M_x \end{cases}$$

\*ELU :

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = 0,61 \Rightarrow \begin{cases} \mu_x = 0,0808 \\ \mu_y = 0,3075 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_x = 22,37\text{ KN.m} \\ M_y = 6,88\text{ KN.m} \end{cases}$$

-Moment en travée :

$$\begin{cases} M_{tx} = 0,75 \cdot M_x = 16,78\text{ KN.m} \\ M_{ty} = 0,75 \cdot M_y = 5,16\text{ KN.m} \end{cases}$$

-Moment en appuis :

$$\begin{cases} \text{Max}=0,5 \cdot M_x = 11,19 \text{ KN.m} \\ \text{May}=0,5 \cdot M_y = 3,44 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$M_a = \max(M_x ; M_y) = 11,19 \text{ KN.m}$$

**b-Calcul du ferrailage :**

Le calcul du ferrailage se fait en flexion simple pour une bande de 1ml ;

$$\text{On a : } b=100\text{cm} ; h=20\text{cm} ; d=0,9h=18\text{cm} ; \sigma_{bc}=14,17\text{MPa} ; \sigma_s=348\text{MPa}$$

**Tableau 44 :** Tableau récapitulatif des résultats de ferrailage

| Localisation |     | Mtx (KN.m) | $\mu_u$ | Asc (cm <sup>2</sup> ) | Z (m) | Ast (cm <sup>2</sup> /ml)<br>Calculée |
|--------------|-----|------------|---------|------------------------|-------|---------------------------------------|
| travée       | x-x | 16,78      | 0,036   | 0                      | 0,177 | 2,73                                  |
|              | y-y | 5,16       | 0,011   | 0                      | 0,179 | 0,83                                  |
| Appuis       |     | 11,19      | 0,025   | 0                      | 0,178 | 1,93                                  |

**c- Condition de non fragilité :**

D'après RPA 99 V 2003 ;

$$A_{\min} = 0,001 \cdot b \cdot h$$

D'après B.A.E.L91 ;

$$A_{\min} = 0,0008 \cdot b \cdot h$$

**Donc :** A adoptée = max {A calculée ; Amin RPA ; Amin BAEL}

**\*Espacement :**  $St_x \leq \min(3h ; 30\text{cm}) \Rightarrow St_x \leq 30\text{cm}$

$St_y \leq \min(4h ; 45\text{cm}) \Rightarrow St_y \leq 45\text{cm}$

**Tableau 45 :** Ferrailage des voiles périphériques

| Localisation |     | Ast (cm <sup>2</sup> /ml)<br>Calculée | Amin RPA (cm <sup>2</sup> /ml) | Amin BAEL (cm <sup>2</sup> /ml) | A adoptée (cm <sup>2</sup> /ml) | A choisi (cm <sup>2</sup> /ml) | St (cm <sup>2</sup> ) |
|--------------|-----|---------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| travée       | x-x | 2,73                                  | 2                              | 1,6                             | 2,73                            | 4T12                           | 25                    |
|              | y-y | 0,83                                  | 2                              | 1,6                             | 2                               | 4T12                           | 25                    |
| appuis       |     | 1,93                                  | 2                              | 1,6                             | 2                               | 4T12                           | 25                    |

**5-Vérification de la contrainte du cisaillement :**

$$\tau_u = \frac{T_u \max}{b \cdot d} \leq \bar{\tau}_u \text{ avec : } \bar{\tau}_u = \min(0,2 \cdot f_{c28} / \gamma_b ; 5\text{MPa}) = 3,33 \text{ MPa}$$

$$T_x = \frac{q_u \cdot L_x \cdot L_y}{2 \cdot L_x + L_y} = 42,82 \text{ KN}$$

$$T_x = \frac{q_u \cdot L_y}{3} = 50,92 \text{ KN}$$

$$T_u = \max(T_x, T_y) = 50,92 \text{ kN}$$

$$\tau_u = \frac{50,92 \cdot 0,001}{1 \cdot 0,18} = 0,28 \text{ MPa} \leq \bar{\tau}_u \dots \text{CV.}$$

### 6-Vérification à l'ELS :

✚ Vérification des contraintes :

➤ Béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \cdot X_s \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

➤ Acier :

$$\sigma_{st} = \frac{\eta M_{ser}}{I} \cdot (d - X_s) \leq \bar{\sigma}_{st}$$

$$\bar{\sigma}_{st} = \min(2/3 \cdot f_e ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{t28}}) \dots \text{fissuration préjudiciable}$$

$$\sigma_{st} = 266,67 \text{ MPa.}$$

\*ELS :

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = 0,61 ; \quad q_{ser} = 25,17 \text{ kN/m}^2.$$

$$\text{-méthode B.A.E.L : } \begin{cases} M_x = \mu_x \cdot q_{ser} \cdot L_x^2 \\ M_y = \mu_y \cdot M_x \end{cases}$$

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = 0,61 \Rightarrow \begin{cases} \mu_x = 0,0857 \\ \mu_y = 0,4781 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_x = 17,39 \text{ kN.m} \\ M_y = 8,32 \text{ kN.m} \end{cases}$$

-Moment en travée :

$$\begin{cases} M_{tx} = 0,75 \cdot M_x = 13,04 \text{ kN.m} \\ M_{ty} = 0,75 \cdot M_y = 6,24 \text{ kN.m} \end{cases}$$

-Moment en appuis :

$$\begin{cases} M_{ax} = 0,5 \cdot M_x = 8,69 \text{ kN.m} \\ M_{ay} = 0,5 \cdot M_y = 4,16 \text{ kN.m} \end{cases}$$

$$M_a = \max(M_{ax} ; M_{ay}) = 8,69 \text{ kN.m}$$

\*position de l'axe neutre :

$$\frac{b * X_s^2}{2} - 15 * A_{st}(d - X_s) = 0$$

\*moment d'inertie :

$$I = \frac{b * X_s^3}{3} + 15 * A_{st}(d - X_s)^2$$

**Tableau 46 : Vérification des contraintes.**

| Localisation |     | Ms<br>(KN.m) | Ast<br>(cm <sup>2</sup> /ml) | Xs<br>(cm) | I (cm <sup>4</sup> ) | σ <sub>bc</sub><br>(MPa) | σ <sub>bc</sub> ≤ σ <sub>bc</sub> | σ <sub>st</sub><br>(MPa) | σ <sub>st</sub> ≤ σ <sub>st</sub> |
|--------------|-----|--------------|------------------------------|------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| travée       | x-x | 13,04        | 4,52                         | 4,30       | 15375,57             | 3,70                     | Vérifiée                          | 174,20                   | Vérifiée                          |
|              | y-y | 6,24         | 4,52                         | 3,70       | 11319,62             | 2,00                     |                                   | 118,50                   |                                   |
| appuis       |     | 8,69         | 4,52                         | 3,70       | 11319,62             | 2,80                     |                                   | 165,00                   |                                   |

## **Chapitre VIII :**

# **Etude économique**

### VIII.1. Introduction :

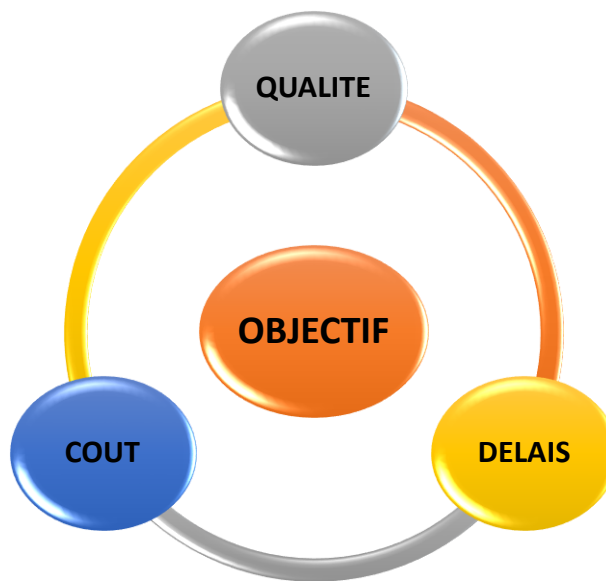
Un bâtiment est construit pour une durée de vie très longue, ce qui exige une masse énorme de travaux et de ressources, pour réaliser ce projet doit être un système qui combine la gestion de projet, et la fonction de direction de projet en charge de la définition des objectifs des actions politiques, des aspects financiers et de l'organisation du travail collectif des équipes projets c'est le management de projet.

L'objectif de la détermination du coût global du bâtiment est de connaître les futurs coûts d'utilisation pour les prévoir, afin d'optimiser les dépenses d'investissement au regard des dépenses futures.

### VIII.2.C'est quoi un projet :

Selon la norme ISO 10006 « Un projet est un processus unique, qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates de début et de fin, entrepris dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques, telles que les contraintes de Un projet est caractérisé par trois éléments :

- Qualité : Un projet est de bonne qualité si les attentes du client sont satisfaites.
- Délai : Un projet a toujours un délai, donc il faut respecter celui-ci. respecter celui-ci.
- Coût : Un projet a un coût. Il faut que le chef de projet puisse contrôler en permanence l'évolution des dépenses et contrôler la balance entre les besoins du client et ce qu'il est prêt à payer.



**Figure 33 :** Objectif principal d'un projet

### VIII .3. Le management de projet :

C'est un processus organisationnel d'utilisation des ressources, en vue d'atteindre les objectifs et buts de l'entreprise d'une manière efficace et efficiente. [3]

#### 1- Le cycle de vie d'un projet :

Le cycle de vie d'un projet se distingue par le fait qu'il comporte un début et une fin, et qu'il compte cinq processus principaux : définition, planification, exécution, surveillance et maîtrise, et clôture du projet. [4]

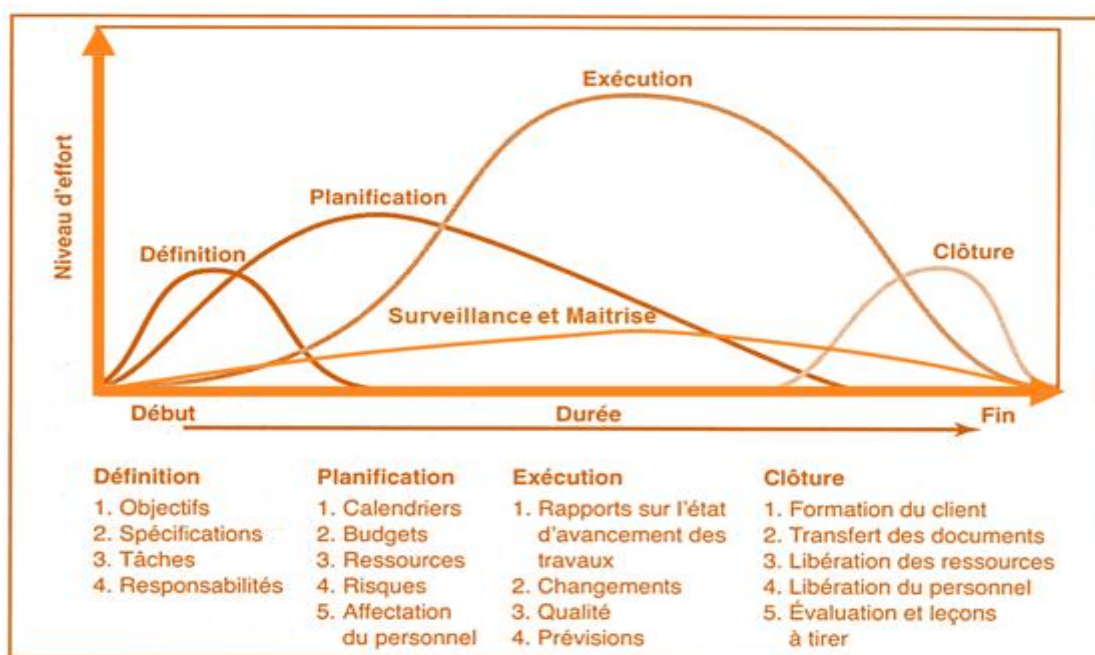


Figure 34 : Cycle de vie d'un projet. [4]

#### 2- Les différents intervenants du projet :

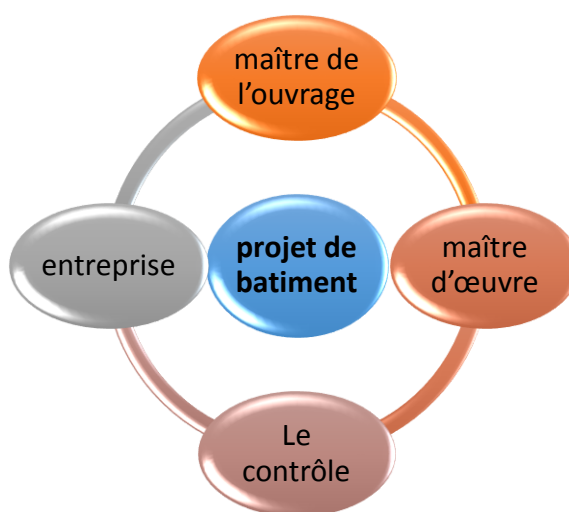


Figure 35 : Les différents acteurs de projet de bâtiment

- Le maître de l'ouvrage : est la personne physique/morale qui sera le propriétaire de l'ouvrage. Ses principales missions seront :
  1. Fixer les objectifs.
  2. Fixer l'enveloppe budgétaire.
  3. Fixer les délais souhaités pour la réalisation du projet
- Le maître de l'œuvre : est une personne physique/morale qui reçoit mission du maître de l'ouvrage pour assurer la conception, la réalisation et le contrôle d'un ouvrage conformément au programme de réalisation du projet. []
- L'entreprise : est liée par des contrats avec le maître de l'ouvrage, elle doit exécuter les travaux conformément aux contrats conclus sous la direction exclusive du maître d'œuvre. [5]
- Le contrôle technique : exigé par certains maîtres d'ouvrages et qui consiste en un examen critique des dispositions techniques du projet et de la réalisation.

### VIII.4. Objectifs à atteindre :

Pour les besoins inhérents au présent PFE (Projet de Fin d'Etude), nous sommes fixés uniquement comme objectifs, de définir le délai et le coût. Afin d'atteindre ces objectifs, nous avons plusieurs outils à utiliser :

- ❖ Préparation du WBS (**W**orks **B**reakdown **S**tructures) du projet.
- ❖ Identification de nos ressources.
- ❖ Identifier les tâches.

Pour les besoins de notre étude nous avons choisi le MS Project 2010 comme outil de travail.

#### **MS Project :**

MS Project est un outil informatique qui permet de planifier et suivre un projet. Il permet de gérer les tâches, les ressources, les charges de travail, les coûts, et les calendriers...

### VIII.5. Le découpage du projet :

Le découpage du projet se fait par le WBS (Works Breakdown structure) qui permet d'identifier l'ensemble des tâches nécessaires du projet. Il décompose le projet par tâches.

Le WBS de notre projet est :

**Tableau 47 : Le WBS du projet.**

| Nom de la tâche                 |
|---------------------------------|
| <b>Installation de chantier</b> |
| -Création des axes.             |
| -Mur de clôture.                |
| -étude de sol                   |
| <b>Infrastructure.</b>          |
| -Implantation                   |
| -Terrassement                   |



|                                                                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -Fouille de radier                                                                                                                |
| -Creusement des regards                                                                                                           |
| -Pose des canalisations                                                                                                           |
| <b>Radier général.</b>                                                                                                            |
| -Réglage des fouilles                                                                                                             |
| -Béton armé pour radier dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> avec coffrage ferrailage et toutes sujétions mise en œuvre                   |
| <b>Plate-forme.</b>                                                                                                               |
| -Hérissonnage en pierre sèche d'une épaisseur de 20 cm                                                                            |
| -Plate-forme en béton avec treillis soudé sur Hérissonnage de 10 cm dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> y compris tous sujétion de mise  |
| <b>Superstructure.</b>                                                                                                            |
| <b>2S-Sol</b>                                                                                                                     |
| Béton armé pour les voiles 2SS de dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> avec coffrage ferrailage et toutes sujétions mise en œuvre         |
| - Béton armé pour dalle pleine 1 S-sol de dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> avec coffrage ferrailage et toutes sujétions mise en œuvre |
| -Béton armé dosé 350 kg/m <sup>3</sup> d'escalier 2S-sol, y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre      |
| <b>1S-Sol</b>                                                                                                                     |
| - Béton armé dosé 350 kg/m <sup>3</sup> pour voile 1S-Sol y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre      |
| -Béton armé dosé 350 kg/m <sup>3</sup> pour dalle pleine RDC y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre   |
| - Béton armé de dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> d'escalier 1S-sol avec coffrage ferrailage et toutes sujétions mise en œuvre         |
| Enduit en ciment de 2 s-sol                                                                                                       |
| Pose de carrelage en granito blanc (30*30) cm, y compris tous sujétion de mise en œuvre 2 s-sol                                   |
| <b>RDC</b>                                                                                                                        |
| - Béton armé dosé 350 kg/m <sup>3</sup> pour voile RDC y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre         |
| -Béton armé dosé 350 kg/m <sup>3</sup> d'escalier RDC, y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre         |
| - Béton armé pour dalle pleine 1 étage de dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> avec coffrage ferrailage et toutes sujétions mise en œuvre |
| -Brique simple (10cm)                                                                                                             |
| -Brique double (30cm)                                                                                                             |
| -Enduit en ciment                                                                                                                 |

|                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| -Pose de carrelage en granito blanc (30*30) cm, y compris tous sujétion de mise en œuvre                                    |
| <b>1 ETAGE ... 12 ETAGE</b>                                                                                                 |
| - Béton armé dosé 350 kg/m3 pour voile 1 ETAGE y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre           |
| -Béton armé dosé 350 kg/m3 d'escalier 1 étage, y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre           |
| - Béton armé pour dalle pleine 2 étage de dosé à 350 kg/m3 avec coffrage ferrailage et toutes sujétions mise en œuvre       |
| Brique simple (10cm)                                                                                                        |
| Brique double (30cm)                                                                                                        |
| Enduit en ciment                                                                                                            |
| Pose de carrelage en granito blanc (30*30) cm, y compris tous sujétion de mise en œuvre                                     |
| <b>TERRASSE ACCESSIBLE</b>                                                                                                  |
| - Béton armé dosé 350 kg/m3 pour voile TERRASSE y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre          |
| - Béton armé dosé 350 kg/m3 dalle d'ascenseur+ acrotère, y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre |
| -Brique double (30cm)                                                                                                       |
| <b>CORPS D'ETAT SECONDAIRE</b>                                                                                              |
| -Electricité.                                                                                                               |
| -fixation d'ascenseur                                                                                                       |
| -Plomberie.                                                                                                                 |
| -Menuiserie.                                                                                                                |
| -Peinture.                                                                                                                  |
| Etanchéité                                                                                                                  |
| -Electricité.                                                                                                               |
| <b>Nettoyage</b>                                                                                                            |

**VIII.6.Identification des ressources :**

On distingue deux catégories sont : humain et matérielle, et pour ressources matérielle sont subdivisé en deux catégories : matérielle engins et matériaux.

### ❖ Matériels :

- Niveleuse
- Pelle
- Chargeur
- Grue
- Camion de 10t

### ❖ Matériaux du projet :

**Tableau 48 : Matériaux du projet**

|                         |                               |
|-------------------------|-------------------------------|
| Béton                   | Acier pour coffrage           |
| Dalle de sol            | Lampe et douille              |
| Acier pour ferrailage   | Gravillon roulé               |
| Carrelage granito       | Fils d'électricité            |
| Brique                  | Feuille de polystyrène        |
| Gains d'électricité     | Tuile Boites d'interrupteurs  |
| Enduit en ciment        | Tube en béton pour l'eau usée |
| Plinthe en terre cuite  | Bois pour coffrage            |
| Faïence                 | Lampe et douille              |
| Treillis soudés         | Gravillon roulé               |
| Projecteurs électriques | Fils d'électricité            |

### ❖ Ressources humaines :

- Ingénieurs
- Groupe coffreur : 4 personnes
- Groupe ferrailleur : 5 personnes
- Groupe maçon : 4 personnes, manœuvre : 4 personnes
- Groupe de peinture : 5 personnes
- Groupes électriques : 4 personnes
- Groupe menuisier : 3 personnes

### VIII.7. Etude économique :

L'estimation du coût des tâches se fait en introduisant deux paramètres, la durée et le coût de la tâche aux ressources utilisées pour réaliser cette tâche.

- Exemple de calcul pour la tâche de terrassement (déblais) :

Cycle de la pelle 30s, godet 1m<sup>3</sup>

Distance de déchargement à 10 km

Camion de 10 tonnes

La surface du projet : 225,75m<sup>2</sup>

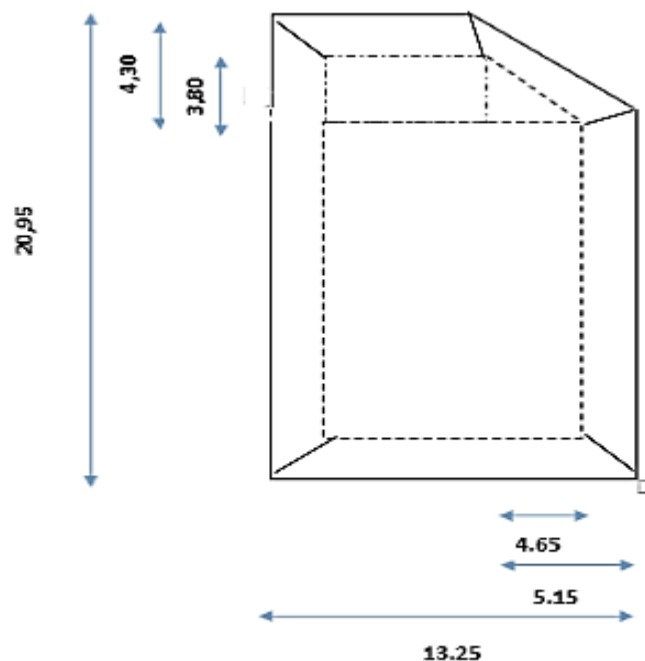


Figure 36 : Vue en plan de la fouille

La surface de la fouie : 259,75m<sup>2</sup>

Volume de déblais est : 259,75\* 6.18= **1605.25 m<sup>3</sup>**

30\*6.18 =185.4 s=3 min

1 m<sup>3</sup> → 30s

6,18 m<sup>3</sup> → **t1=3min**

Vitesse de Camion chargé est 70 km/h → t2= 9min

Vitesse de Camion vide est 90 km/h → t3= 7 min

Temps de déchargement t4 = 3 min →

T = 3+9+7 = 19 min → nombre de camion= 19/3= 6.33=**7 camions**

**Tableau 49** : Devis quantitatif du bâtiment R+2SS+12etages

| désignations des ouvrages                                                                                              | unité<br>montant | quantité | P.U<br>en h.t | montant | duré<br>(jour) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|---------------|---------|----------------|
| -Installation de chantier                                                                                              | /                | /        | /             | 112600  | 5              |
| -étude de sol                                                                                                          | /                | /        | /             | 242484  | 6              |
| <b>Infrastructure</b>                                                                                                  |                  |          |               |         |                |
| -Décapage de terre végétale, nivellement du terrain                                                                    | m <sup>2</sup>   | 274.95   | 500           | 137475  | 1              |
| -terrassement                                                                                                          | m <sup>3</sup>   | 1605.25  | 500           | 802625  | 2              |
| -Implantation                                                                                                          | m <sup>2</sup>   | /        | /             | 200000  | 1              |
| -Fouille de radier                                                                                                     | m <sup>3</sup>   | 207,80   | 550           | 96967.2 | 6              |
| -Réalisation de regard en BA de (0.6*0.6) y compris toutes sujétions mise en œuvre                                     | U                | 10       | 7000          | 70000   | 1              |
| -Fourniture et pose de canalisation avec une couche de sable comprimé y compris tous sujétion de D300.                 | ml               | 19       | 3000          | 57 000  | 1              |
| <b>Radier général.</b>                                                                                                 |                  |          |               |         |                |
| -Réglage des fouilles.                                                                                                 | U                | 2        | 1000          | 2000    | 1              |
| -Ferrailage.                                                                                                           | m <sup>3</sup>   | 219.58   | 29000         | 6367820 | 21             |
| <b>Plate-forme.</b>                                                                                                    |                  |          |               |         |                |
| -Hérissonnage en pierre sèche d'une épaisseur de 20 cm.                                                                | m <sup>3</sup>   | 220.38   | 600           | 132228  | 1              |
| -Plate-forme en béton avec treillis soudé sur hérissonnage de 10 cm dosé à 350 kg/m3 y compris tous sujétion de mise.  | m <sup>3</sup>   | 220.38   | 1000          | 220380  | 1              |
| <b>Superstructure.</b>                                                                                                 |                  |          |               |         |                |
| <b>2S-Sol</b>                                                                                                          |                  |          |               |         |                |
| -Béton armé pour dalle pleine 2SS de dosé à 350 kg/m3 avec coffrage ferrailage et toutes sujétions mise en œuvre.      | m <sup>3</sup>   | 204.54   | 28500         | 960735  | 15             |
| - Béton armé pour dalle pleine 1 S-sol de dosé à 350 kg/m3 avec coffrage ferrailage et toutes sujétions mise en œuvre. | m <sup>3</sup>   | 40.56    | 28500         | 1155960 | 7              |
| -Béton armé dosé 350 kg/m3 d'escalier 2S-sol, y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre.      | m <sup>3</sup>   | 2        | 29000         | 58000   | 2              |
| <b>1S-Sol</b>                                                                                                          |                  |          |               |         |                |
| - Béton armé dosé 350 kg/m3 pour voile 1S-Sol y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre.      | m <sup>3</sup>   | 39.64    | 28500         | 1129740 | 15             |

|                                                                                                                                          |                |        |        |                  |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------|--------|------------------|------------|
| -Béton armé dosé 350 kg/m <sup>3</sup> pour dalle pleine RDC y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre.         | m <sup>3</sup> | 40.56  | 28500  | 1155960          | 7          |
| - Béton armé de dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> d'escalier 1S-sol avec coffrage ferrailage et toutes sujétions mise en œuvre.               | m <sup>3</sup> | 2      | 29000  | 58000            | 2          |
| -Enduit en ciment de 2 s-sol.                                                                                                            | m <sup>2</sup> | 663.4  | 900    | 597060           | 5          |
| -Pose de carrelage en granito blanc (30*30) cm, y compris tous sujétion de mise en œuvre 2 s-sol.                                        | m <sup>2</sup> | 216.58 | 1 500  | 324870           | 10         |
| <b>RDC...12 étage</b>                                                                                                                    |                |        |        |                  |            |
| - Béton armé dosé 350 kg/m <sup>3</sup> pour voile RDC y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre.               | m <sup>3</sup> | 36.32  | 28500  | 1035120          | 15         |
| -Béton armé dosé 350 kg/m <sup>3</sup> d'escalier RDC, y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre.               | m <sup>3</sup> | 2      | 29000  | 58000            | 2          |
| - Béton armé pour dalle pleine 1 étage de dosé à 350 kg/m <sup>3</sup> avec coffrage ferrailage et toutes sujétions mise en œuvre.       | m <sup>3</sup> | 43.35  | 28500  | 1235475          | 7          |
| Brique simple (10cm).                                                                                                                    | m <sup>2</sup> | 66.46  | 1400   | 93044            | 1          |
| Brique double (30cm).                                                                                                                    | m <sup>2</sup> | 376.39 | 1700   | 6 398 630        | 8          |
| Enduit en ciment.                                                                                                                        | m <sup>2</sup> | 663.4  | 900    | 597060           | 10         |
| Pose de carrelage en granito blanc (30*30) cm, y compris tous sujétion de mise en œuvre.                                                 | m <sup>2</sup> | 183.31 | 15 000 | 2 749 650        | 5          |
| <b>Terrasse Accessible</b>                                                                                                               |                |        |        |                  |            |
| - Béton armé dosé 350 kg/m <sup>3</sup> pour voile TERRASSE y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre.          | m <sup>3</sup> | 10.71  | 28500  | 305235           | 6          |
| - Béton armé dosé 350 kg/m <sup>3</sup> dalle d'ascenseur+ acrotère, y a compris ferrailage, coffrage et toutes sujétions mise en œuvre. | m <sup>3</sup> | 14.07  | 28500  | 400995           | 4          |
| Brique double (30cm).                                                                                                                    | m <sup>2</sup> | 376.39 | 2700   | 6 398 630        | 8          |
| <b>Corps D'état Secondaire</b>                                                                                                           |                |        |        |                  |            |
| -Electricité.                                                                                                                            | /              | /      | /      | 513400           | 23         |
| -fixation d'ascenseur.                                                                                                                   | /              | /      | /      | 1060000          | 20         |
| -Plomberie.                                                                                                                              | /              | /      | /      | 13000000         | 71         |
| -Menuiserie.                                                                                                                             | /              | /      | /      | 1170000          | 23         |
| -Peinture.                                                                                                                               | /              | /      | /      | 21453000         | 30         |
| Etanchéité.                                                                                                                              | /              | /      | /      | 493778           | 6          |
|                                                                                                                                          |                |        |        | <b>117396070</b> | <b>933</b> |

Après l'introduction de toutes les informations (les tâches avec leur durée et coût estimé avec Les ressources) sur logiciel MS Project 2003 on obtient les résultats suivants :

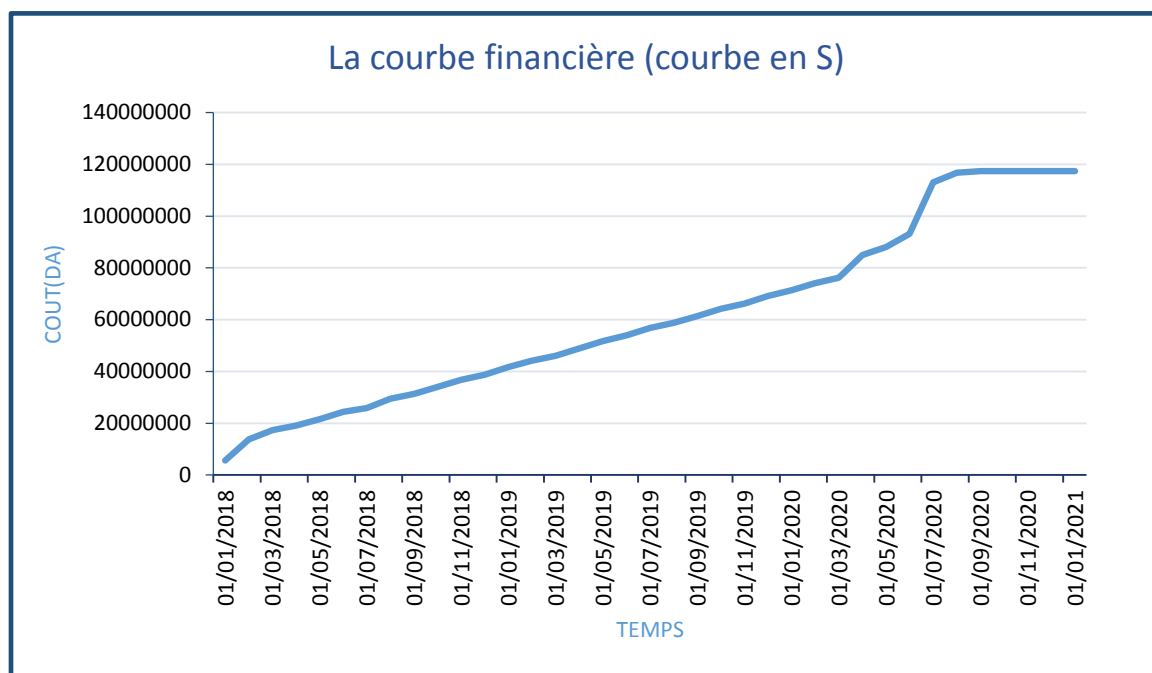
- La durée du projet est de 933 jours de travail.
- Le début du projet est prévu le : 11/01/2018
- La fin du projet est prévu le : 28/01/2021
- Le coût brut du projet est de : **117396070**

### VIII.8.Courbe financière :

A l'aide du document tirée du logiciel MS Project et en transférant le résultat sur Excella courbe financière a été tracée sur un plan (ox, oy) ou l'axe des x représente le temps et l'axe des y représente les coûts.

Cette courbe permette de voir directement l'évolution de la consommation d'argent à travers le temps.

Sachant que La courbe financière (courbe en S) reste un outil très utile pour le control et le suivi du projet.



**Figure 37 :** La courbe financière (courbe en S) d'un bâtiment R+12+2SS

### VIII.9.Diagramme de GANTT :

Le diagramme de Gantt, couramment utilisé en gestion de projet, est l'un des outils les plus efficaces pour représenter visuellement l'état d'avancement des différentes activités (tâches) qui constituent un projet. La colonne de gauche du diagramme énumère toutes les tâches à effectuer, tandis que la ligne d'en-tête représente les unités de temps les plus adaptées au projet (jours, semaines, mois etc.). Chaque tâche est matérialisée par une barre horizontale, dont la position et la longueur représentent la date de début, la durée et la date de fin. [4]

Ce diagramme permet donc de visualiser d'un seul coup d'œil :

- ❖ Les différentes tâches à envisager.
- ❖ La date de début et la date de fin de chaque tâche.
- ❖ La durée escomptée de chaque tâche.
- ❖ Le chevauchement éventuel des tâches, et la durée de ce chevauchement.
- ❖ La date de début et la date de fin du projet dans son ensemble.

En résumé, un diagramme de Gantt répertorie toutes les tâches à accomplir pour mener le projet à bien, et indique la date à laquelle ces tâches doivent être effectuées (le planning).

Notre diagramme de GANTT finale de ce projet figure dans les annexes.

### **VIII.10.Conclusion :**

Dans ce chapitre on a pu expliquer brièvement la planification du projet qui permet de gérer les ressources (moyens humains, matériaux et matériels) dans une durée définit pour bien avancé le projet et minimisé leur temps de réalisation.

Le logiciel MS Project est un outil de planification qui décompose le projet en tâches caractérisées par une date de début et de fin et nombre de ressources humains, matérielle et matériaux.

En effet, on a montré dans ce chapitre une technique du diagramme de GANTT qui nous a permis d'estimer le cout global du projet et le temps nécessaire, toute en ayant une vue générale sur l'affectation des ressources avec estimation de coût.



## CONCLUSION GENERALE

Ce modeste projet de fin d'étude, qui constitue pour nous une première expérience, nous a permis de mettre en pratique toutes nos connaissances acquises durant notre cycle de formation d'ingénieur, d'assimiler les différentes techniques du calcul ainsi que la réglementation régissant les principes de conception et de calcul des ouvrages dans ce domaine, de mettre en application les méthodes de calcul récentes, de développer les idées à partir de la lecture des différentes références bibliographiques, et de mettre en évidence les principes de base qui doivent être pris en considération dans la conception des structures.

L'analyse tri dimensionnelle d'une structure, ici notre bâtiment, est rendue possible grâce à l'outil informatique et au logiciel performant de calcul (à savoir SAP2000), qui nous a permis une étude rapide et avec moins d'effort à condition de maîtriser les notions de bases des sciences de l'ingénieur, ainsi que le logiciel lui-même.

D'après l'étude qu'on a faite, il convient de souligner que pour la conception parasismique, il est très important que l'ingénieur civil et l'architecte travaillent en étroite collaboration dès le début du projet pour éviter toutes les conceptions insuffisantes et pour arriver à une sécurité parasismique réalisée sans surcoût important (aspect économique).

La surabondance des voiles dans une structure ne veut pas dire automatiquement, une bonne résistance, vis-à-vis des séismes, mais peut nuire à la stabilité de la structure, lorsque ces dernières sont mal placées.

Le sol de fondation à une faible portance, par conséquent un radier général est la meilleure solution pour bien reprendre les charges transmises par la structure au sol.

Ensuite nous avons estimé un planning des délais et des coûts, en utilisant le logiciel MS PROJECT.

Enfin et pour mettre notre point de final, on va dire que le but principal de l'ingénieur concepteur est de réduire le risque sismique à un niveau minimal et de faciliter l'exécution de l'ouvrage en adoptant une conception optimale qui satisfait les exigences architecturales, sécuritaires et bien sûr économiques. Ce projet qui constitue notre première expérience dans un domaine très vaste, il nous a acquis des grandeurs très importantes pour mettre le premier pas dans la vie professionnelle avec beaucoup de confiance.

# Bibliographie

## Règlement :

- **[BAEL, 91]** Béton Armé aux Etats Limites 91modifié 99, DTU associés, par Jean pierre mougouin ,deuxième Edition Eyrolles 2000.
- **[DTR2.2, 88]** Charges Permanentes et Charges d'Exploitation, DTR B.C. 2.2, CGS

1988.

- **[RPA99 version 2003]** Règles parasismique Algérienne RPA99 version 2003 ; (Document technique réglementaire D.T.R-B.C.2.48), CGS, 2004.

## Livre :

- [1] <http://www.calameo.com/books/000899869f64ddc5efc65>
- [2] IBRAHIM.M ; modélisation et calcul des murs porteurs en béton arme soumis aux effets sismiques par la méthode d'éléments finis : plaque multicouche multicellulaire, thèse de doctorat ,2013 ; université MOHAMMED.V– AGDAL faculté des sciences rabat
- [Étude d'un bâtiment 3sous-sol+rdc+16 étages d'une forme irrégulière a usage multiple], DJELTI.Y et ALIDAHMANE.I, Master en génie civil, 2014, Faculté de technologie, chetouane Tlemcen.
- [1] HAMZAOUI F., cours management, 2018.
- [2]ALLAL.M.A ; COURS DE « PROJET PROFESSIONNEL ET GESTION DE L'ENTREPRISE »,2016
- [3]CHIKH .H ; étude d'un bâtiment« 2 sous-sol, RDC + 9 étages » du forme irrégulière à usage multiple, Master en génie civil, 2012, faculté de de technologie, chouanne Tlemcen.
- [4]CHIALI.H &DAHMANI.Y ; Etude technico économique d'un bâtiment à usage d'habitation et commercial « SS+RDC+07 étages » en Béton Armé, Master en génie civil, 2016, Faculté de technologie, chetouane Tlemcen.

## Logiciels :

- AUTOCAD 2010.
- SAP 2000.
- MS Project 2010.
- Excel 2013.
- Word 2013.

# **ANNEXE "A"**