

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



UNIVERSITE A/MIRA –BEJAIA  
Faculté de Technologie  
Département de génie civil

**Mémoire de fin d'études**  
Pour l'obtention d'un diplôme master en génie civil

**Option : structures**

**Thème**

**Etude d'un bâtiment R+11+2 entre-sol à usage multiple  
(habitation et commerce)**

**Présenté par :**

M<sup>r</sup> Mouhoubi Ayad

M<sup>r</sup> Azzi boubekeur

**Encadré par :**

M<sup>r</sup> Oudni.N

**membres de jury :**

M<sup>r</sup> Serikma

Mme Laoubi

**Promotion 2018/2019**

# Remerciement

D'abord nous remercions notre seigneur de nous avoir donné le courage de mener ce travail au bout.

Nous remercions nos parents respectifs qui ont toujours cru en nous.

Ont tien a remercier chaleureusement les enseignants du département génie civil qui nous ont prêté main forte dans le besoin.

Un grand merci pour notre encadreur monsieur OUDNI, qui a accepté de nous guider sur le bon chemin et mener à bien ce travail.

On remercie spécialement l'entreprise d'architecture BART ainsi que toute son équipe qui nous ont accueilli et aidé dans ce travail.

Nos remerciements vont également aux membres du jury, qui nous ont fait l'honneur d'examiner notre travail.

Finalement merci à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

# DEDICACE

A mes précieux parents qui ont été présent pour moi

A mes frères et sœurs

A mes grandes mères

A toute ma famille tantes, oncles, cousins

A mes compagnons de parcours : Walid Mani Sofiane Adel  
abdou Halim

Aux chères amies : Yacine fahem Hicham Hocine Samir  
Syphax Amine Fouzia Nadia souda

A mon binôme : Ayad

A toute personne qui a cru en moi

« La vie n'est pas un problème à résoudre mais une réalité qui  
doit être vécue »

BOUBEKEUR AZZI

# DEDICACES

En signe de respect et reconnaissance je dédie ce travail à :

- A Mes parents, que dieu les gardes et les protèges.
- A Mes chers frères et cousins Djilali, Mounir, Khaled, Yanis, yasmine et souhila : merci pour vous conseils et soutiens.
- A Mes trois chères amies wissam, tinhinane et Kamellia: merci pour votre encouragement.
- A mes trois bras droit hicham, rahim et zahir : merci pour votre aide.
- A mon binôme boubekour et tout mes collègues adel, walid, abdo et sofiane : merci d'avoir partagé ce parcours avec moi.
- A notre encadreur Mr oudni : merci pour votre disponibilité et ton aide.

**Mouhoubi Ayad**

# Table des matières

## Introduction générale

### Chapitre I : hypothèses de calcul et présentation détaillée de l'ouvrage

|   |    |
|---|----|
| I-1-introduction.....                           | 02 |
| I-2-Présentation de l'ouvrage.....              | 02 |
| I-3-Description architecturale .....            | 02 |
| I-4 Données géotechniques du site.....          | 02 |
| I-5 : Résistances mécanique du béton.....       | 03 |
| I-6 : Modules de déformation longitudinale..... | 05 |

### Chapitre II : le pré dimensionnement et calcul des éléments secondaire

|   |    |
|---|----|
| II-1- pré dimensionnement et évaluation des charges.....          | 08 |
| II-1-1- Introduction.....   | 08 |
| II-1-2 éléments secondaires .....                                 | 08 |
| II-1-2-1- planchers .....   | 08 |
| II-1-2-2 les escaliers.....                                       | 11 |
| II-1-3 les éléments principaux.....                               | 14 |
| II-1-3-1- les poutres.....  | 14 |
| II-1-3-2 les voile.....   | 15 |
| II-1-3-3 les poteaux.....   | 15 |
| II-1-3-3-1 Évaluation des charges et surcharges.....              | 16 |
| II-1-3-3-2 descente de charge .....                               | 20 |
| II-1-3-3-3 Vérification du poteau P1.....                         | 24 |
| II-2 : Calcul du plancher à corps creux.....                      | 26 |
| II-2-1 : Etude des poutrelles .....                               | 27 |
| II-2-2 : Les différents types de poutrelles des planchers.....    | 28 |
| II-2-3 : Calcul des sollicitations maximale.....                  | 30 |
| II-2-4 : Sollicitation maximales pour les différents niveaux..... | 34 |
| II-2-5 : Ferrailage des poutrelles.....                           | 35 |
| II-2-5-1 : Calcul à l'ELU.....                                    | 35 |
| II-2-5-2 : Vérification a l'ELS .....                             | 38 |
| II-2-6 : Etude de la dalle de compression .....                   | 42 |
| II-3 : planchers à dalles pleines .....                           | 42 |
| II-4 : Escaliers.....   | 51 |

|  |    |
|--|----|
| II-4-1 : Etude des escaliers.....                                | 51 |
| II-4-2 : Etude de la poutre palière .....                        | 55 |
| II-4-2-1 : Dimensionnement.....                                  | 55 |
| II-4-2-2 : Calcul de la poutre palière.....                      | 55 |
| II-4-2-2-1 : Calcul à la flexion simple.....                     | 56 |
| II-4-2-2-2 : Calcul à la torsion .....                           | 57 |
| II-4-3 : Etude de la poutre de chaînage.....                     | 60 |
| II-4-3-1 : Dimensionnement .....                                 | 60 |
| II-4-3-2 : condition de la flèche.....                           | 61 |
| II-4-3-3 : Calcul des sollicitations.....                        | 61 |
| II-5 : Etude de l'acrotère.....                                  | 63 |
| II-5-1 : Hypothèses de calculs.....                              | 63 |
| II-5-2 : Evaluation des charges et surcharges de l'acrotère..... | 63 |
| II-5-3 : Calcul des sollicitations de l'acrotère.....            | 64 |
| II-6 : Etude de l'ascenseur.....                                 | 68 |
| II-6-1 : Etude de la dalle de l'ascenseur .....                  | 68 |
| II-6-1-1 : Cas d'une charge répartie .....                       | 68 |
| II-6-1-2 : Cas d'une charge concentrée .....                     | 71 |
| II-6-2 : schéma de ferrailage .....                              | 75 |

### **Chapitre III : Etude sismique de l'ouvrage**

|   |    |
|---|----|
| III-1 : introduction.....   | 76 |
| III-2 : Modélisation .....  | 76 |
| III-3 : Méthodes de calcul des forces sismiques.....                                  | 77 |
| III-4 : Calcul de la force sismique totale par la méthode statique équivalente .....  | 77 |
| III-5 : dispositions des voiles de contreventement.....                               | 81 |
| III-6 : Vérification et interprétation des résultats de l'analyse dynamique .....     | 82 |
| III-7 : Vérification des résultats obtenus vis-à-vis des exigences du RPA99/2003..... | 84 |
| III-7-1 : Vérification de la résultante de la force sismique à la base .....          | 84 |
| III-7-2 : Vérification vis-à-vis de la période.....                                   | 84 |
| III-7-3 : Justification de l'interaction voile-portique.....                          | 84 |
| III-7-4 : Vérification de l'effort normale réduit.....                                | 86 |
| III-7-5 : Vérification vis-à-vis les déformations .....                               | 86 |
| III -7-6 : Vérification vis-à-vis les efforts $P-\Delta$ .....                        | 87 |

## **Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives**

|  |     |
|--|-----|
| IV-1 : introduction .....  | 189 |
| IV-2 : Etude des poutres .....                                       | 189 |
| IV-2-1 : Recommandation du RPAv2003 .....                            | 189 |
| IV-2-2 ferrailage des poutres .....                                  | 190 |
| IV-2-3 : vérification des armateurs selon RPA99 : (art 7.5.2.1)..... | 93  |
| IV-2-3-1 : les armatures transversales.....                          | 93  |
| IV-2-4 : vérification à l'ELU .....                                  | 94  |
| IV-2-5 : Vérification à l'ELS .....                                  | 94  |
| IV-2-6 : schéma de ferrailage .....                                  | 95  |
| IV-3 : Etude des poteaux.....  | 95  |
| IV-3-1 : Recommandations du RPA99/2003 .....                         | 95  |
| IV-3-2 : les sollicitations maximales dans les poteaux .....         | 97  |
| IV-3-3 : ferrailage.....   | 98  |
| IV-3-4 : vérifications .....   | 101 |
| IV-3-5 : schéma de ferrailage .....                                  | 107 |
| IV-4 : Etude des voiles .....  | 107 |
| IV-4-1 : Introduction .....  | 107 |
| IV-4-2 : Recommandation du RPA99 version 2003 .....                  | 108 |
| IV-4-3 : Règles communes (RBA99 ver 2003 ART.7.7.4.3) .....          | 109 |
| IV-4-4 exemple de calcul du voile VY2.....                           | 109 |
| IV-4-5 Schéma de ferrailage.....                                     | 117 |

## **Chapitre V : Etude de l'infrastructure**

|  |     |
|--|-----|
| V-1 : Introduction.....                          | 108 |
| V-2 : Choix du type des fondations .....         | 108 |
| V-3 : Etude des fondations.....                  | 108 |
| V-3-1 : vérification des semelles isolées .....  | 108 |
| V-3-2 : vérification des semelles filantes ..... | 119 |
| V-3-3 : Etude du radier .....                    | 119 |
| V-3-3-1 : Définition .....                       | 119 |
| V-3-3-2 : Pré dimensionnement .....              | 119 |
| V-3-3-3 : vérifications nécessaires.....         | 120 |
| V-3-3-4 : ferrailage du radier .....             | 124 |

|  |            |
|--|------------|
| V-3-3-5 : ferrailage du débord .....                 | 126        |
| V-3-3-6 : schéma de ferrailage .....                 | 127        |
| V-3-4 : Etude des nervures .....                     | 128        |
| V-3-4 -1 : calcul de chargement .....                | 130        |
| V-3-4-2 : ferrailage des nervures .....              | 132        |
| V-3-4-3 : vérification à L'ELU .....                 | 133        |
| V-3-4-5 : Vérification à L'ELS.....                  | 134        |
| V-3-4-6 : schémas de ferrailage.....                 | 134        |
| V-3-5 : Etude du mur adossé.....                     | 134        |
| V-3-5-1 : Dimensionnement du mur adossé.....         | 134        |
| V-3-5-2 : caractéristique du sol .....               | 134        |
| V-3-5-2 : Evaluation des charges et surcharges ..... | 134        |
| V-3-5-3 : Ferrailage du mur adossé .....             | 135        |
| V-3-5-4 : vérification à l'ELU .....                 | 136        |
| V-3-5-5 : schéma de ferrailage du mur adossé .....   | 137        |
| <b>Conclusion générale.....</b>                      | <b>138</b> |

## **Bibliographie**

### **Annexes**

# Liste des figures

## Chapitre I

- Figure I-1** : Evolution de la résistance du béton à la traction  $f_{tj}$  en fonction de celle à la compression  $f_{cj}$ .....03
- Figure I-2** : Diagramme parabole-rectangle des Contraintes-Déformations du béton.....04
- Figure I-3** : Diagramme contrainte déformation du béton de calcul à l'ELS.....05
- Figure I-4** : diagramme contrainte-déformation d'acier.....06

## Chapitre II

- Figure II-1** : disposition des poutrelles au niveau de l'étage courant.....09
- Figure II-2** : coupe transversale d'une poutrelle.....09
- Figure II-3** : dalle sur un seul appui D1.....11
- Figure II-4** : dalle sur deux appuis D2.....11
- Figure II-5** : dalle sur trois appuis D3.....11
- Figure II-6** : dalle sur quatre appuis D4.....11
- Figure II-7** : Schéma de l'escalier E.C.....12
- Figure II-8** : schéma statique de l'escalier E.C.....12
- Figure II-9** : Schéma de l'escalier RDC.....13
- Figure II-10** : schéma statique de l'escalier RDC.....13
- Figure II-11** : dimension d'un voile.....15
- Figure II-12** : Schéma statique de l'acrotère.....19
- Figure II-13** : Surface afférente du poteau  $P_1$  au niveau de RDC+étage courant+terrasse....20
- Figure II-14** : surface afférente du poteau  $P_1$  au niveau d'entresol 1.....21
- Figure II-15** : surface afférente du poteau  $P_1$  au niveau de toiture.....21
- Figure II-16** : Schéma représentatif d'un plancher à corps creux.....26
- Figure II-17** : Coupe transversale d'une poutrelle.....35
- Figure II-18** : Schémas de ferrailage des poutrelles.....41
- Figure II-19** : Ferrailage de la dalle de compression.....42
- Figure II-20** : dalle sur 4 appuis.....43
- Figure II-21** : schémas de ferrailage du panneau (D4).....46
- Figure II-22** : coupe A-A du panneau (D4).....47
- Figure II-23** : dalle sur un seul appui D1.....47
- Figure II-24** : dalle sur deux appuis D2.....47

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figure II-25</b> : dalle sur trois appuis D3.....                                      | <b>47</b> |
| <b>Figure II-26</b> : schémas de ferrailage du panneau (D3).....                          | <b>51</b> |
| <b>Figure II-27</b> : coupe A-A du panneau (D3).....                                      | <b>51</b> |
| <b>Figure II-28</b> : schéma d'escalier.....  | <b>51</b> |
| <b>Figure II-29</b> : Schéma statique de l'escalier.....                                  | <b>52</b> |
| <b>Figure II-30</b> : schémas de ferrailage de l'escalier.....                            | <b>55</b> |
| <b>Figure II-31</b> : Schéma statique de la poutre palière.....                           | <b>55</b> |
| <b>Figure II-32</b> : Schéma statique de la poutre palière dans le calcul de torsion..... | <b>57</b> |
| <b>Figure II-33</b> : schémas de ferrailage de la poutre palière.....                     | <b>60</b> |
| <b>Figure II-34</b> : schémas de ferrailage de la poutre de chaînage.....                 | <b>63</b> |
| <b>Figure II-35</b> : Section droite de l'acrotère à ferrailer.....                       | <b>65</b> |
| <b>Figure II-36</b> : schéma statique de l'acrotère.....                                  | <b>67</b> |
| <b>Figure II-37</b> : cage d'ascenseur.....   | <b>68</b> |
| <b>Figure II-38</b> : Schéma représentant la surface d'impact.....                        | <b>71</b> |
| <b>Figure II-39</b> : schéma de ferrailage des deux dalles d'ascenseurs.....              | <b>74</b> |
| <b>Figure II-40</b> : coupe A-A des deux dalles d'ascenseurs.....                         | <b>75</b> |

### **Chapitre III**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure III-1</b> : vu en 3D de la modélisation de la structure.....         | <b>76</b> |
| <b>Figure III-2</b> : Spectre de réponse donné par le logiciel RPA.....        | <b>80</b> |
| <b>Figure III-3</b> : plan de disposition des voiles de contreventement.....   | <b>81</b> |
| <b>Figure III-4</b> : 1er Mode de vibration -Translation suivant l'axe X.....  | <b>83</b> |
| <b>Figure III-5</b> : 2ème Mode de vibration -Translation suivant l'axe Y..... | <b>83</b> |
| <b>Figure III-6</b> : 3ème Mode de vibration -Rotation autour de l'axe Z.....  | <b>83</b> |

### **Chapitre IV**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figure IV-1</b> : zone nodale.....   | <b>96</b>  |
| <b>Figure IV-2</b> : Section d'un poteau.....   | <b>103</b> |
| <b>Figure IV-3</b> : Répartition des moments dans la zone nodale.....                 | <b>105</b> |
| <b>Figure IV-4</b> : schémas des contraintes.....                                     | <b>111</b> |
| <b>Figure IV-5</b> : zone tendue et zone courante dans le voile.....                  | <b>111</b> |
| <b>Figure IV-6</b> : schéma de ferrailage du voile VY2 au niveau de l'entresol 1..... | <b>117</b> |

### **Chapitre V**

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figure V-1</b> : Schéma d'un radier..... | <b>119</b> |
|---|------------|

|   |            |
|---|------------|
| <b>Figure V-2</b> : schéma représentatif de débord du radier.....   | <b>121</b> |
| <b>Figure V-3</b> : schéma du ferrailage du radier.....   | <b>126</b> |
| <b>Figure V-4</b> : schéma statique du débord.....  | <b>126</b> |
| <b>Figure V-5</b> : schéma de ferrailage du débord.....   | <b>127</b> |
| <b>Figure V-6</b> : schéma des lignes de ruptures de la dalle du radier.....                              | <b>128</b> |
| <b>Figure V-7</b> : répartition des charges sur la nervure la plus sollicitée selon le sens X-X.....      | <b>130</b> |
| <b>Figure V-8</b> : répartition des charges sur la nervure l plus sollicitée selon le sens Y-Y.....       | <b>130</b> |
| <b>Figure V-9</b> : schéma statique de la nervure selon le sens X-X avec les charges.....                 | <b>130</b> |
| <b>Figure V-10</b> : schéma statique de la nervure selon le sens Y-Y avec les charges<br>équivalente..... | <b>131</b> |
| <b>Figure V-11</b> : schéma des nervures.....   | <b>132</b> |
| <b>Figure V-12</b> : diagramme des contraintes.....   | <b>135</b> |
| <b>Figure V-13</b> : ferrailage du mur adossé.....  | <b>137</b> |

## Liste des tableaux

### Chapitre I

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau I -1</b> : résistance caractéristique du béton en fonction de sa qualité..... | <b>04</b> |
| <b>Tableau I-2</b> : valeur de $\theta$ en fonction du temps.....                        | <b>05</b> |
| <b>Tableau I-3</b> : valeur de coefficient de sécurité.....                              | <b>06</b> |
| <b>Tableau I-4</b> : valeur de coefficient de fissuration.....                           | <b>07</b> |
| <b>Tableau I-5</b> : récapitulatif des caractéristiques des matériaux.....               | <b>07</b> |

### Chapitre II

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tableau II-1</b> : Dimensionnement de dalles pleines.....  | <b>11</b> |
| <b>Tableau II-2</b> : dimensions des voiles.....  | <b>15</b> |
| <b>Tableau II-3</b> : sections supposées des poteaux.....   | <b>16</b> |
| <b>Tableau II-4</b> : charges d'exploitations des différents éléments.....                                | <b>16</b> |
| <b>Tableau II-5</b> : évaluation de charge pour étage courant.....  | <b>16</b> |
| <b>Tableau II-6</b> : évaluation de charge pour étage terrasse.....                                       | <b>17</b> |
| <b>Tableau II-7</b> : évaluation de charge pour toiture.....  | <b>17</b> |
| <b>Tableau II-8</b> : évaluation de charge pour murs.....   | <b>17</b> |
| <b>Tableau II-9</b> : évaluation de charge pour murs extérieures des la terrasse accessible.....          | <b>18</b> |
| <b>Tableau II-10</b> : évaluation de charge pour la volée.....  | <b>18</b> |
| <b>Tableau II-11</b> : évaluation de charge pour le palier.....   | <b>18</b> |
| <b>Tableau II-12</b> : poids des poteaux.....   | <b>19</b> |
| <b>Tableau II-13</b> : évaluations des charges de l'acrotère.....   | <b>19</b> |
| <b>Tableau II-14</b> : Résultats de la décente de charge du poteau $P_1$ .....                            | <b>22</b> |
| <b>Tableau II-15</b> : vérification à la compression simple du poteau le plus sollicité $P_1$ .....       | <b>24</b> |
| <b>Tableau II-16</b> : vérification au flambement du poteau le plus sollicité $P_1$ .....                 | <b>25</b> |
| <b>Tableau II-17</b> : résultats des exigences du RPA pour le poteau le plus sollicité $P_1$ .....        | <b>26</b> |
| <b>Tableau II-18</b> : les différents types des poutrelles.....   | <b>29</b> |
| <b>Tableau II-19</b> : les résultats de calcul à L'ELU et à L'ELS.....                                    | <b>30</b> |
| <b>Tableau II-20</b> : les résultats des sollicitations dans les différents types de poutrelle.....       | <b>30</b> |
| <b>Tableau II-21</b> : des sollicitations max dans les différents types de poutrelles de l'étage RDC..... | <b>33</b> |
| <b>Tableau II-22</b> : des sollicitations max dans les différents types de poutrelles de l'étage 01.....  | <b>33</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau II-23</b> : des sollicitations max dans les différents types de poutrelles de l'étage courant.....                    | <b>33</b> |
| <b>Tableau II-24</b> : les sollicitations max dans les différents types de poutrelles de l'étage 10...                           | <b>33</b> |
| <b>Tableau II-25</b> : les sollicitations max dans les différents types de poutrelles de la terrasse accessible.....             | <b>34</b> |
| <b>Tableau II-26</b> : les sollicitations max dans les différents types de poutrelles de la toiture...                           | <b>34</b> |
| <b>Tableau II-27</b> : les sollicitations maximales dans les différents niveaux.....   | <b>34</b> |
| <b>Tableau II-28</b> : Ferrailage des poutrelles de tous les étages.....   | <b>37</b> |
| <b>Tableau II-29</b> : Résultats de vérification à l'ELU.....  | <b>38</b> |
| <b>Tableau II-30</b> : Vérification de l'état limite de compression du béton de tous les étages.....                             | <b>38</b> |
| <b>Tableau II-31</b> : récapitulatif des vérifications des flèches des différents niveaux.....                                   | <b>39</b> |
| <b>Tableau II-32</b> : les résultats des vérifications de l'état limite de déformation (Flèches) Obtenus après augmentation..... | <b>40</b> |
| <b>Tableau II-33</b> : ferrailage de la dalle sur 4 appuis.....  | <b>44</b> |
| <b>Tableau II-34</b> : donnée des dalles pleines D1, D2, D3.....   | <b>47</b> |
| <b>Tableau II-35</b> : calcul des sollicitations (D1, D2, D3).....   | <b>48</b> |
| <b>Tableau II-36</b> : ferrailage des panneaux (D1, D2, D3).....   | <b>48</b> |
| <b>Tableau II-37</b> : Les armateurs de répartition des dalles D1, D2, D3.....   | <b>48</b> |
| <b>Tableau II-38</b> : vérification de l'effort tranchant dans les panneaux (D1, D2, D3).....                                    | <b>48</b> |
| <b>Tableau II-39</b> : Vérification des contraintes.....   | <b>49</b> |
| <b>Tableau II-40</b> : vérification des contraintes à l'ELS (recalculer).....  | <b>49</b> |
| <b>Tableau II-41</b> : vérification des contraintes à l'ELS (recalculer).....  | <b>49</b> |
| <b>Tableau II-42</b> : Les armateurs de répartition des dalles D1, D2, D3.....   | <b>50</b> |
| <b>Tableau II-43</b> : vérification de la flèche dans les dalles pleines.....  | <b>50</b> |
| <b>Tableau II-44</b> : ferrailage l'escalier à l'ELU.....  | <b>52</b> |
| <b>Tableau II-45</b> : Vérification de l'effort.....   | <b>53</b> |
| <b>Tableau II-46</b> : Vérifications des contraintes à l'ELS.....  | <b>53</b> |
| <b>Tableau II-47</b> : vérification de la flèche de l'escalier.....  | <b>54</b> |
| <b>Tableau II-48</b> : ferrailage de la poutre palière en flexion simple.....  | <b>57</b> |
| <b>Tableau II-49</b> : moments en travée et en appuis.....   | <b>58</b> |
| <b>Tableau II-50</b> : ferrailage de la poutre palière en flexion simple.....  | <b>58</b> |
| <b>Tableau II-51</b> : calcul à la torsion.....  | <b>59</b> |
| <b>Tableau II-52</b> : Vérifications des contraintes à l'ELS.....  | <b>60</b> |
| <b>Tableau II-53</b> : ferrailage de la poutre de chaînage à l'ELU.....  | <b>62</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tableau II-54</b> : vérification des contraintes à l'ELS dans la poutre de chaînage..... | <b>62</b> |
| <b>Tableau II-55</b> : Charges revenant à l'acrotère.....                                   | <b>63</b> |
| <b>Tableau II-56</b> : Combinaisons d'actions de l'acrotère.....                            | <b>64</b> |
| <b>Tableau II-57</b> : Ferrailage de l'acrotère.....  | <b>65</b> |
| <b>Tableau II-58</b> : Ferrailage de la dalle pleine au-dessous de l'ascenseur.....         | <b>69</b> |
| <b>Tableau II-59</b> : vérification des contraintes.....                                    | <b>70</b> |
| <b>Tableau II-60</b> : Ferrailage de la dalle (cas charge concentrée).....                  | <b>72</b> |
| <b>Tableau II-61</b> : vérification des contraintes dans le béton.....                      | <b>74</b> |

### Chapitre III

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tableau III-1</b> : Valeurs des pénalités $P_q$ .....   | <b>79</b> |
| <b>Tableau III-2</b> : Périodes et taux de participation massique de la structure.....                         | <b>82</b> |
| <b>Tableau III-3</b> : Vérification de la résultante des forces sismiques à la base.....                       | <b>84</b> |
| <b>Tableau III-4</b> : vérification de la période.....   | <b>84</b> |
| <b>Tableau III-5</b> : Vérification de l'interaction voiles-portiques sous charges verticales.....             | <b>84</b> |
| <b>Tableau III-6</b> : Vérification de l'interaction voiles-portiques sous charges horizontales<br>Sens x..... | <b>85</b> |
| <b>Tableau III-7</b> : Vérification de l'interaction voiles-portiques sous charges horizontales<br>sens y..... | <b>85</b> |
| <b>Tableau III-8</b> : les sections des poteaux .....  | <b>86</b> |
| <b>Tableau III-9</b> : vérification de l'effort normal réduit.....   | <b>86</b> |
| <b>Tableau III-10</b> : Vérifications des déplacements.....  | <b>87</b> |
| <b>Tableau III-11</b> : Justification vis-à-vis de l'effet P- $\Delta$ .....                                   | <b>88</b> |
| <b>Tableau III-12</b> : Dimensions finales des éléments de contreventement.....                                | <b>88</b> |

### Chapitre IV

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Tableau IV-1</b> : sollicitations dans les poutres principales associées aux voiles.....     | <b>90</b> |
| <b>Tableau IV-2</b> : sollicitations dans les poutres secondaire associées aux voiles.....      | <b>90</b> |
| <b>Tableau IV-3</b> : sollicitations dans les poutres principales non associées aux voiles..... | <b>91</b> |
| <b>Tableau IV-4</b> : sollicitations dans les poutres secondaires non associées aux voiles..... | <b>91</b> |
| <b>Tableau IV-5</b> : ferrailage des poutres principales associées aux voiles.....              | <b>92</b> |
| <b>Tableau IV-6</b> : ferrailage des poutres secondaire associées aux voiles.....               | <b>92</b> |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Tableau IV-7</b> : ferrailage des poutres principales non associées aux voiles.....       | <b>92</b>  |
| <b>Tableau IV-8</b> : ferrailage des poutres secondaire non associées aux voiles.....        | <b>93</b>  |
| <b>Tableau IV-9</b> : Vérification des contraintes.....                                      | <b>94</b>  |
| <b>Tableau IV-10</b> : Vérification des armatures longitudinales au cisaillement.....        | <b>94</b>  |
| <b>Tableau IV-11</b> : Vérification de l'état limite de compression du béton.....            | <b>94</b>  |
| <b>Tableau IV-12</b> : vérification de l'état limite de déformation.....                     | <b>95</b>  |
| <b>Tableau IV-13</b> : Armatures longitudinales minimales et maximales dans les poteaux..... | <b>96</b>  |
| <b>Tableau IV-14</b> : Sollicitations dans les poteaux des différents niveaux.....           | <b>97</b>  |
| <b>Tableau IV-15</b> : ferrailage des poteaux.....   | <b>99</b>  |
| <b>Tableau IV-16</b> : Armatures transversales dans les poteaux.....                         | <b>100</b> |
| <b>Tableau IV-17</b> : vérification aux flambements des déférents poteaux.....               | <b>102</b> |
| <b>Tableau IV-18</b> : vérification des contraintes.....                                     | <b>103</b> |
| <b>Tableau IV-19</b> : Vérification des contraintes de cisaillement.....                     | <b>105</b> |
| <b>Tableau IV-20</b> : Moment résistant des poteaux.....                                     | <b>106</b> |
| <b>Tableau IV-21</b> : Moment résistant dans les poutres.....                                | <b>106</b> |
| <b>Tableau IV-22</b> : Vérification des zones nodales poutres principales.....               | <b>106</b> |
| <b>Tableau IV-23</b> : Vérification des zones nodales poutres secondaire.....                | <b>107</b> |
| <b>Tableau IV-24</b> : sollicitations dans le voile du l'entresol 1.....                     | <b>110</b> |
| <b>Tableau IV-25</b> : ferrailage du voile VX1 et VX2.....                                   | <b>112</b> |
| <b>Tableau IV-26</b> ferrailage du voile VX3.....  | <b>113</b> |
| <b>Tableau IV-27</b> : ferrailage du voile VX4.....  | <b>113</b> |
| <b>Tableau IV-28</b> : ferrailage du voile VY1.....  | <b>114</b> |
| <b>Tableau IV-29</b> : ferrailage du voile VY2.....  | <b>115</b> |
| <b>Tableau IV-30</b> : ferrailage du voile VY3.....  | <b>115</b> |
| <b>Tableau IV-31</b> : ferrailage du voile VY4.....  | <b>116</b> |

## **Chapitre V**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Tableau V-1</b> : somme des efforts normaux des différentes files de semelles filantes..... | <b>119</b> |
| <b>Tableau V-2</b> : ferrailage du radier .....  | <b>125</b> |
| <b>Tableau V-3</b> : vérification des contraintes à L'ELS.....                                 | <b>125</b> |
| <b>Tableau V-4</b> : calculs des armatures à L'ELS.....  | <b>125</b> |
| <b>Tableau V-5</b> : ferrailage du débord.....   | <b>126</b> |
| <b>Tableau V-6</b> : vérification des contraintes à l'ELS.....                                 | <b>127</b> |
| <b>Tableau V-7</b> : calcul des armatures à l'ELS.....   | <b>127</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Tableau V-8</b> : les chargements sur les travées sens X-X.....      | <b>130</b> |
| <b>Tableau V-9</b> : les chargements sur les travées sens Y-Y.....      | <b>131</b> |
| <b>Tableau V-10</b> : la sollicitation à L' ELU dans les deux sens..... | <b>131</b> |
| <b>Tableau V-11</b> : la sollicitation à L' ELS dans les deux sens..... | <b>132</b> |
| <b>Tableau V-12</b> : calcul du ferrailage des nervures.....            | <b>132</b> |
| <b>Tableau V-13</b> : vérification des contraintes à l'ELS.....         | <b>134</b> |
| <b>Tableau V-14</b> : calcul des moments .....                          | <b>136</b> |
| <b>Tableau V-15</b> : ferrailage du mur adossé.....                     | <b>136</b> |
| <b>Tableau V-16</b> : vérification des contraintes à l'ELS.....         | <b>137</b> |

## Symboles et notations

| Symboles                           | Notations   |
|------------------------------------|---|
| <b><i>A', Aser</i></b>             | Section d'aciers comprimés et sections d'aciers à l'ELS respectivement.   |
| <b><i>At</i></b>                   | Section d'un cours d'armature transversale.                               |
| <b><i>A</i></b>                    | Coefficient d'accélération de zone.                                       |
| <b><i>α</i></b>                    | Coefficient de la fibre neutre  |
| <b><i>B</i></b>                    | Aire d'une section de béton   |
| <b><i>Br</i></b>                   | Section réduite   |
| <b><i>b</i></b>                    | La largeur en générale.   |
| <b><i>c</i></b>                    | Cohésion du sol   |
| <b><i>D</i></b>                    | Facteur d'amplification dynamique   |
| <b><i>E</i></b>                    | Module d'élasticité longitudinale   |
| <b><i>Ei</i></b>                   | Module de Yong instantané   |
| <b><i>Ev</i></b>                   | Module de Yong différé.   |
| <b><i>Es</i></b>                   | Module d'élasticité de l'acier  |
| <b><i>ELU</i></b>                  | Etat limite ultime.   |
| <b><i>ELS</i></b>                  | Etat limite de service.   |
| <b><i>fbu</i></b>                  | Contrainte de compression du béton.                                       |
| <b><i>fe</i></b>                   | Limite d'élasticité de l'acier.   |
| <b><i>fc28</i></b>                 | Résistance à la compression du béton à l'âge de 28 jours.                 |
| <b><i>ft28</i></b>                 | Résistance à la traction du béton à l'âge de 28 jours.                    |
| <b><i>fji</i></b>                  | Flèche instantanée due aux charges permanentes sans revêtement            |
| <b><i>fgi</i></b>                  | Flèche instantanée due aux charges permanentes                            |
| <b><i>fqi</i></b>                  | Flèche instantanée due aux charges permanentes et d'exploitations.        |
| <b><i>fgv</i></b>                  | Flèche différée due aux charges permanentes.                              |
| <b><math>\Delta f</math></b>       | Fleche totale   |
| <b><math>\Delta f_{adm}</math></b> | Fleche admissible   |
| <b><i>G</i></b>                    | Charges permanentes.  |
| <b><i>H</i></b>                    | Hauteur.  |
| <b><i>ht</i></b>                   | Hauteur totale du plancher à corps creux / Hauteur des nervures du radier |
| <b><i>hcc</i></b>                  | Hauteur du corps creux  |
| <b><i>hr</i></b>                   | Hauteur de la dalle du radier.  |
| <b><i>hdc</i></b>                  | Hauteur de la dalle de compression  |
| <b><i>he</i></b>                   | Hauteur libre d'étage.  |

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b><math>I</math></b>            | Moment d'inertie  |
| <b><math>I_f</math></b>          | Moment d'inertie fissuré  |
| <b><math>Q</math></b>            | Charge d'exploitation / facteur de qualité                                    |
| <b><math>L</math></b>            | Portée d'un élément.  |
| <b><math>L_{max}</math></b>      | Longueur maximale entre deux éléments porteurs.                               |
| <b><math>L_x</math></b>          | Distance entre de deux poutrelles   |
| <b><math>L_y</math></b>          | Distance entre nus d'appuis dans le sens de disposition des poutrelles.       |
| <b><math>M</math></b>            | Moment en générale.   |
| <b><math>M_a</math></b>          | Moment en appui.  |
| <b><math>M_t</math></b>          | Moment en travée.   |
| <b><math>M_0</math></b>          | Moment isostatique  |
| <b><math>N</math></b>            | Effort normal   |
| <b><math>n</math></b>            | Nombre de contre marche sur la volée / Coefficient d'équivalence Acier-Béton. |
| <b><math>R</math></b>            | Coefficient de comportement global.   |
| <b><math>S</math></b>            | Section d'un élément.   |
| <b><math>S_{rad}</math></b>      | Surface du radier.  |
| <b><math>St</math></b>           | Espacement des armatures.   |
| <b><math>T_1, T_2</math></b>     | Périodes caractéristiques associées à la catégorie du site                    |
| <b><math>V</math></b>            | Effort tranchant  |
| <b><math>W</math></b>            | Poids de la structure.  |
| <b><math>\sigma_{bc}</math></b>  | Contrainte de compression du béton.   |
| <b><math>\sigma_{st}</math></b>  | Contrainte de traction dans l'acier.  |
| <b><math>\gamma_b</math></b>     | Coefficient de sécurité concernant le béton.                                  |
| <b><math>\gamma_w</math></b>     | Pois volumique de l'eau.  |
| <b><math>\gamma_s</math></b>     | Coefficient de sécurité concernant l'acier                                    |
| <b><math>\sigma_{adm}</math></b> | Contrainte admissible.  |
| <b><math>\tau</math></b>         | Contrainte de cisaillement  |
| <b><math>\xi</math></b>          | Pourcentage d'amortissement critique.   |
| <b><math>C_T</math></b>          | Coefficient qui dépend du système de contreventement                          |
| <b><math>\beta</math></b>        | Coefficient de pondération  |
| <b><math>\lambda_i</math></b>    | Coefficient instantané  |
| <b><math>\lambda_v</math></b>    | Coefficient différé.  |

# **Introduction générale**

### Introduction général

Un bâtiment est un ouvrage ou vit et évolue l'homme, on peut classer les bâtiments les bâtiments suivant leur destination:

- ✓ Habitation : logements, hôtels, hôpitaux
- ✓ Travail : bureaux, usines
- ✓ Sport : stades, gymnases
- ✓ Réunion : théâtre, cinémas, lieux de culte

Généralement, les structures de bâtiment sont constituées :

- ✓ D'éléments horizontaux : plancher dalles poutres.
- ✓ D'éléments verticaux porteurs : poteaux, voiles.
- ✓ D'éléments divers : escaliers, rampes.
- ✓ De fondation : semelles, pieux

Conception et calcul des structures de bâtiments

L'intervention d'un ingénieur d'études a lieu à différents stades de l'étude ou de la construction :

Pour définir les formes et choix principaux de structure.

Pour le pré dimensionnement des éléments constitutifs.

Pour la vérification des dimensions, la détermination du ferrailage en vue des plans de coffrage et de ferrailage destinés au chantier.

En cours d'études et avant exécution : vérification par le bureau de contrôle du ferrailage.

Pour réaliser l'étude génie civil de ce projet, nous allons répartir le travail en cinq chapitres :

Le premier chapitre consiste en la présentation détaillée de l'ouvrage, la définition des différents éléments et le choix des matériaux à utiliser.

Le deuxième chapitre consacré au pré-dimensionnement des éléments structuraux et calcul des éléments secondaires (les poutrelles, balcons, escaliers, acrotère et ascenseur) on été calculés et ferrillés en tenant compte des sollicitations auxquelles ils doivent reprendre.

Le troisième chapitre comporte la modélisation et l'étude dynamique du bâtiment réalisée par le logiciel ETABS 2016 et une disposition optimale des voiles a été adoptée, puis la vérification des exigences de l'RPA.

Le but de quatrième chapitre est le calcul des ferrillages des éléments de contreventements et dispositions constructives fondé sur les résultats du logiciel ETABS 2016.

Le cinquième et dernier chapitre aborde l'étude de l'infrastructure, ont pour objet de transmettre au sol les efforts apportées par les éléments de la structures (poteaux, murs, voile).

# **Chapitre I :**

**Hypothèses de calcul et présentation  
détaillée de l'ouvrage**

- **Chapitre I : hypothèses de calcul et présentation détaillée de l'ouvrage**

### I-1 : introduction

L'étude d'un bâtiment en béton armé nécessite des connaissances de base sur lesquelles l'ingénieur prend appui, et cela pour obtenir une structure à la fois sécuritaire et économique. Nous consacrons donc ce chapitre pour donner quelques rappels et descriptions du projet à étudier.

### I-2 : Présentation de l'ouvrage

Le projet qui fait l'objet de notre étude consiste à faire l'étude génie civil d'un bâtiment (bloc E) R+11+2entresol, le bâtiment est composé de :

- Entre sols (1 et 2) à usage parking.
- RDC à usage commercial.
- Les étages supérieurs à usage d'habitation.

Ce projet est un ouvrage courant implanté à 50 mètre au nord du boulevard Krim Belkacem, à l'ouest du parc de loisirs de Bejaia classé d'après les règles parasismiques algérienne RPA99/version 2003 comme une zone de moyenne sismicité (zone IIa), ayant une importance moyenne de groupe d'usage 2 à hauteur totale est inférieure à 48 mètre.

### I-3 : Description architecturale

- La hauteur de RDC .....  $h_{rdc} = 3.50$  m
- La hauteur de chaque étage .....  $h_{éta} = 2.80$  m
- La hauteur de entresol .....  $h_{ES} = 2,85$  m
- Largeur de l'ouvrage .....  $L_x = 16,98$  m
- Longueur de l'ouvrage .....  $L_y = 23,87$  m
- Hauteur total de l'ouvrage (sans acrotère) .....  $L_{tot} = 42.8$  m

### I-4 : Données géotechniques du site

L'assiette choisie, pour recevoir les immeubles de la promotion immobilière (résidence rose), est d'après notre différent essai <in situ> et au laboratoire, un sol globalement de portance moyenne à faible.

Les essais pénétrométriques ont révélé un sous sol hétérogène vis-à-vis de sa résistance, qui est globalement moyenne à faible et atteint des valeurs admissibles à partir de 4 mètres.

Le sous sol est assez compressible, sur consolidé et peut présenter des tassements allant jusqu'à environ 13 cm.

D'après le rapport de sol on peut classer notre sol en classe S2 (sol ferme).

Le taux de travail à adopter pour le calcul des fondations est de 1.2 bars.

La caractéristique mécanique à 4,2 m de profondeur :

(C= 0,15 bars,  $\varphi = 40^\circ$ ).

**I-5 : Résistances mécanique du béton**

- **Résistance à la compression**

La résistance caractéristique à la compression du béton  $f_{cj}$  à j jours d'âge est déterminée à partir d'essais sur des éprouvettes normalisées de 16 cm de diamètre et de 32cm de hauteur.

Pour un dosage courant de 350 Kg/m<sup>3</sup> de ciment CPA325, la caractéristique en compression à 28 jours est estimée à 25 MPa ( $f_{c28} = 25$  MPa).

- **Pour des résistances  $f_{c28} \leq 40$ MPa :**

$$\left\{ \begin{array}{ll} f_{cj} = \frac{j}{4,76+0,83j} f_{c28} & \text{si } j < 28 \text{ jours.} \\ f_{cj} = 1,1 f_{c28} & \text{si } j > 28 \text{ jours.} \end{array} \right.$$

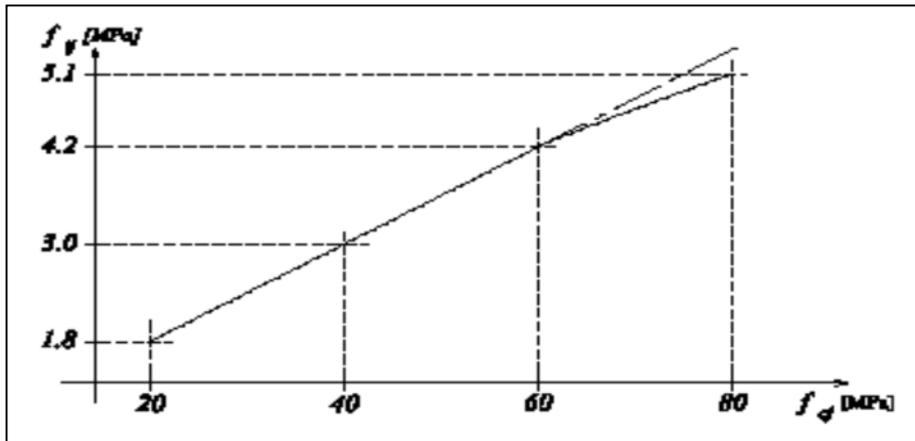
- **Pour des résistances  $f_{c28} > 40$ Pa :**

$$\left\{ \begin{array}{ll} f_{cj} = \frac{j}{1,4+0,95j} f_{c28} & \text{si } j < 28 \text{ jours.} \\ f_{cj} = f_{c28} & \text{si } j > 28 \text{ jours.} \end{array} \right. \quad \text{CBA93 (art A.2.1.1.1).}$$

- **Résistance à la traction**

La résistance caractéristique à la traction du béton à j jours, notée  $f_{tj}$ , est conventionnellement définie par les relations :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{cj} \quad \text{si } f_{c28} \leq 60\text{Mpa.} \quad \text{BAEL99 (Art. A.2.1,12)}$$



**Figure I-1 :** Evolution de la résistance du béton à la traction  $f_{tj}$  en fonction de celle à la compression  $f_{cj}$ .

**Tableau I -1** : résistance caractéristique du béton en fonction de sa qualité

| Qualité du béton               | Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> ) | Résistance caractéristique à 28 jours |                        |
|--------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
|                                |                                       | F <sub>c28</sub> (Mpa)                | F <sub>t28</sub> (Mpa) |
| Béton de haute résistance      | 400                                   | 25                                    | 2,1                    |
| Béton de très haute résistance | 400+adjuvant                          | 30                                    | 2,4                    |

En générale la qualité du béton à réaliser étant connue, on admet les résistances caractéristiques suivantes :

|                            |     |    |     |
|----------------------------|-----|----|-----|
| Béton de faible résistance | 300 | 16 | 1,6 |
| Béton courant              | 350 | 20 | 1,8 |

• **Contrainte limite**

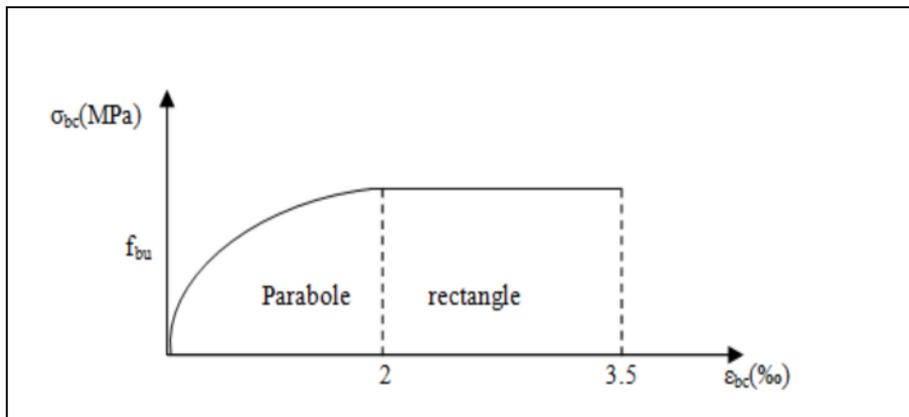
**États limite ultime (ELU)**

Contrainte ultime du béton : En compression avec flexion (ou induite par la flexion), le diagramme qui peut être utilisé dans tous les cas et le diagramme de calcul dit parabole rectangle.

Les déformations du béton sont :

-  $\epsilon_{bc1} = 2 \text{ ‰}$

-  $\epsilon_{bc2} = \begin{cases} 3,5 \text{ ‰} & \text{si } f_{cj} \leq 40 \text{ Mpa.} \\ \text{Min}(4,5 ; 0,025f_{cj}) \text{ ‰} & \text{si } f_{cj} > 40 \text{ Mpa.} \end{cases}$  **BAEL99 (art. A.4.3,41)**



**Figure I-2** : Diagramme parabolique-rectangle des Contraintes-Déformations du béton

$f_{bu}$  : Contrainte ultime du béton en compression  $f_{bu} = \frac{0.85 f_{cj}}{\theta \gamma_b}$

$\gamma_b$  : Coefficient de sécurité du béton, 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 :

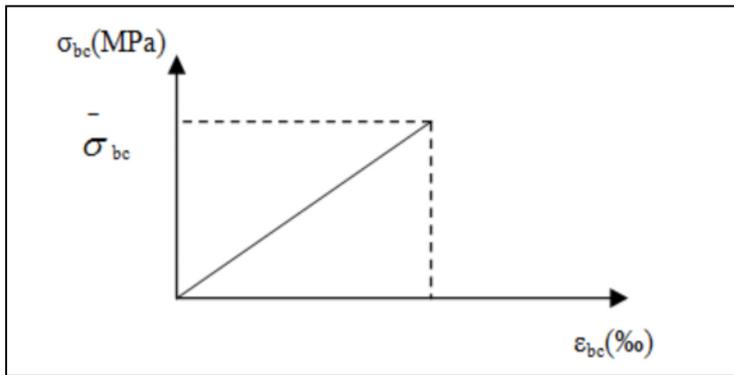
**Tableau I-2** : valeur de  $\theta$  en fonction du temps

| Durée    | >24h | 1h à 24h | <24h |
|----------|------|----------|------|
| $\theta$ | 1    | 0,9      | 0,85 |

**La contrainte de cisaillement ultime**

$$\left\{ \begin{array}{ll} \tau_{adm} = \min \frac{0,2 f_{cj}}{\gamma_b} ; 5 \text{ Mpa} & \text{fissuration peut nuisible} \\ \tau_{adm} = \min \frac{0,1 f_{cj}}{\gamma_b} ; 4 \text{ Mpa} & \text{fissuration nuisible ou fissuration très nuisible} \end{array} \right.$$

**états limite service**



**Figure I-3** : Diagramme contrainte déformation du béton de calcul à l'ELS

La contrainte limite de service en compression du béton est limitée par :

$$\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}$$

Avec :  $\bar{\sigma} = 0,6 f_{c28}$   $\bar{\sigma} = 15 \text{ Mpa}$

**I-6 : Modules de déformation longitudinale**

**Module d'élasticité instantanée**

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

$$E_{ij} = 11000 (f_{cj}^{1/3}) \quad \text{si} \quad f_{c28} \leq 60 \text{ Mpa.} \quad \text{BAEL99(art. A.2.121)}$$

**Module d'élasticité différé**

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

$$E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} \quad \text{ou} \quad E_{vj} = \frac{E_{ij}}{3}$$

**BAEL99 (art. A.2.1,22)**

- **Coefficients de poisson**

Le coefficient de poisson sera pris égal à:

$$\left\{ \begin{array}{l} \nu = 0 \text{ pour un calcul des sollicitations à l'Etat Limite Ultime (ELU).} \\ \nu = 0,2 \text{ pour un calcul de déformations à l'Etat Limite Service (ELS).} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} G = 0,4 E \text{ pour le béton non fissure (ELS) .} \\ G = 0,5 E \text{ pour le béton non fissure (ELU) .} \end{array} \right.$$

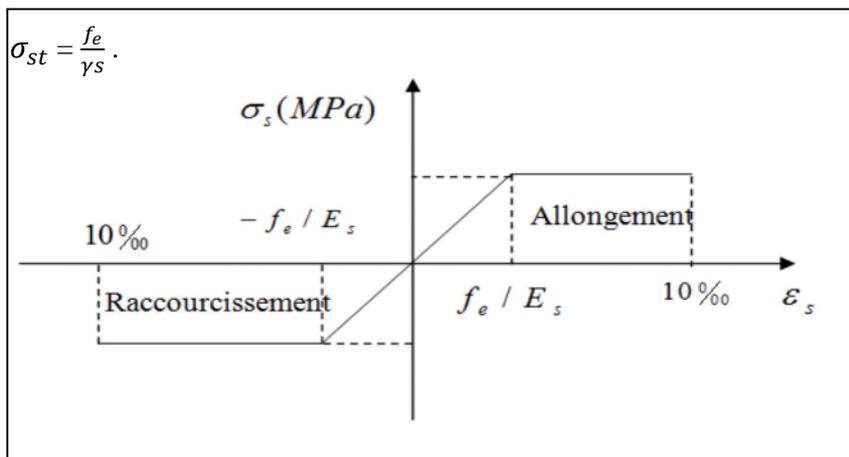
**Acier**

L'acier est un alliage du fer et du carbone en faible pourcentage, leur rôle est de résister les efforts de traction, de cisaillement et de torsion.

- **Contrainte limite**

- ✓ **Contraintes limite ultime**

Pour le calcul on utilise le diagramme contrainte-déformation de la figure suivant :



**BAEL99 (art. A.2.2,2)**

**Figure I-4 :** diagramme contrainte-déformation d'acier

- **Coefficient de sécurité**

**Tableau I-3 :** valeur de coefficient de sécurité

|            | Situation accidentelle | Situation durable |
|------------|------------------------|-------------------|
| $\gamma_s$ | 1                      | 1,15              |

- ✓ **Contraintes limitent service**

On ne limite pas la contrainte de l'acier sauf en état limite d'ouverture des fissures :

- Fissuration peu nuisible : pas de limitation.
- Fissuration préjudiciable :  $\sigma_{st} \leq \bar{\sigma}_{st} = \min (2/3f_e, 110\sqrt{nf_{tj}})$ . **CBA93 (A.4.5.3.3)**

- Fissuration très préjudiciable :  $\sigma_{st} \leq \overline{\sigma_{bc}} \min (1/2 f_e, 90\sqrt{nf_{tj}})$ . CBA93 (A4.5.3.4)
- Coefficient de fissuration

Tableau I-4 : valeur de coefficient de fissuration

|   | Les ronds lisses (RL) | Les armatures à hautes adhérence |
|---|-----------------------|----------------------------------|
| H | 1                     | 1,6                              |

On vérifie que :  $\sigma_s \leq \overline{\sigma_s}$ .

- Conclusion

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques des matériaux utilisés :

Tableau I-5 : récapitulatif des caractéristiques des matériaux

| Béton  | Acier   |
|--|---|
| $f_{c28} = 25$ MPA   | $f_e$ 400 et $f_e$ 500 (MPA)                                |
| $f_{t28} = 2,1$ MPA  | $E_s = 2 \times 10^5$ MPA                                   |
| $\gamma_b = 25$ KN/m <sup>2</sup>                                    | $\overline{\sigma_{st}} = 348$ MPA (situation durable)      |
| $E_{ij} = 32164,20$ MPA  | $\overline{\sigma_{st}} = 400$ MPA (situation accidentelle) |
| $E_{vj} = 10721,40$ MPA  | $\overline{\sigma_s} = 201,63$ MPA (FN)                     |
| $f_{bu}^{s.courante} = 14,20$ MPA $f_{bu}^{accidentale} = 18,48$ MPA | $\overline{\sigma_s} = 164,97$ MPA (FTN)                    |
| $\overline{\sigma_{bc}} = 15$ MPA                                    | $\eta = 1,6$  |

# **Chapitre II :**

**Pré dimensionnement et calcul des  
éléments secondaires**

- **Chapitre II : le pré dimensionnement et calcul des éléments secondaire**

### II-1- pré dimensionnement et évaluation des charges

#### II-1-1- Introduction

Le pré dimensionnement permet de donner des dimensions initiales aux sections de béton des différents éléments. A ce stade, nous adopterons les dimensions les plus économiques qui pourront être augmentées ultérieurement après justification de résistance.

#### II-1-2 éléments secondaires

##### II-1-2-1- planchers

###### a-planchers corps creux

La hauteur de plancher ( $h_t$ ) est déterminée à partir de la condition de la flèche :

$$h_t \geq \frac{l_{max}}{22,5} \quad \dots\dots\dots \text{CBA93 (Art B.6.8.4.2.4).}$$

$l_{max}$  : Distance maximal entre nus d'appuis des poutrelles selon le sens de la disposition.

- **Disposition des poutrelles :**

Les poutrelles sont disposées parallèlement aux petites travées. Les schémas de disposition dans les différents niveaux sont présentés sur les figures suivantes :

Étage courant :

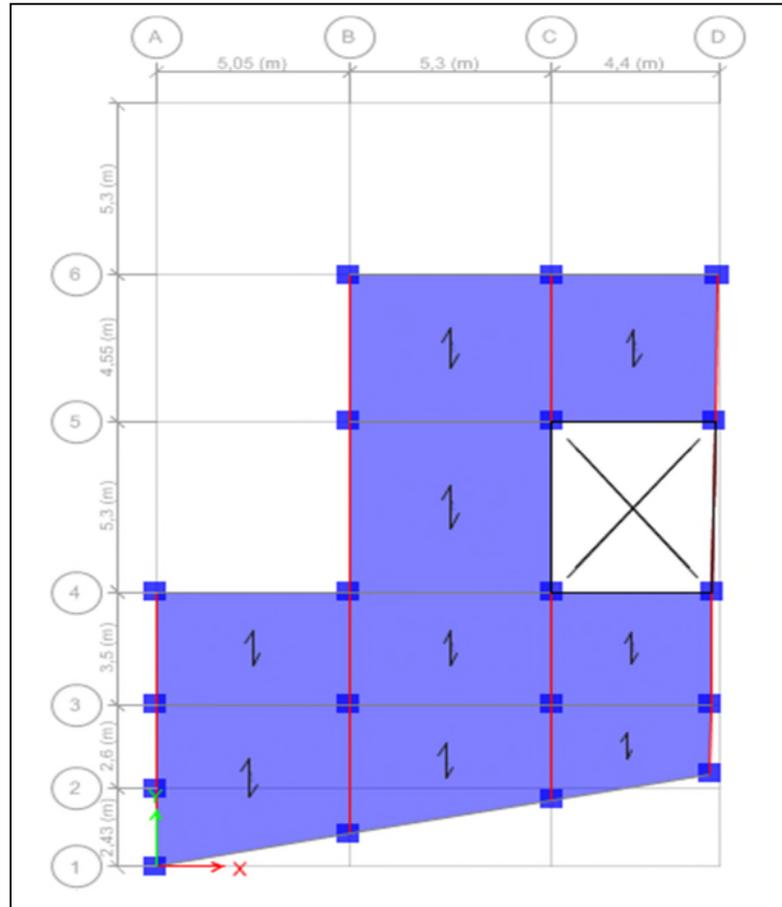


Figure II-1 : disposition des poutrelles au niveau de l'étage courant

$$l_{max} = 530 - 30 = 500 \text{ cm}$$

$$h_t \geq \frac{500}{22,5} = 22,22 \text{ cm} \quad \text{soit : } h_t = (20 + 4) \text{ cm.}$$

Remarque : on a choisi des hourdis de 20 cm pour leur disponibilité sur le marché.

- **Pré dimensionnement des poutrelles**

Ce sont des petites poutres coulées sur place formant l'ossature du plancher.

Elles se calculent comme des sections en T

On a :  $h_t = 24 \text{ cm}$  et  $h_0 = 4 \text{ cm}$

$$0,4 \times h_t \leq b_0 \leq 0,6 \times h_t \quad \rightarrow \quad 9,6 \leq b_0 \leq 14,4$$

Soit  $b_0 = 12 \text{ cm}$

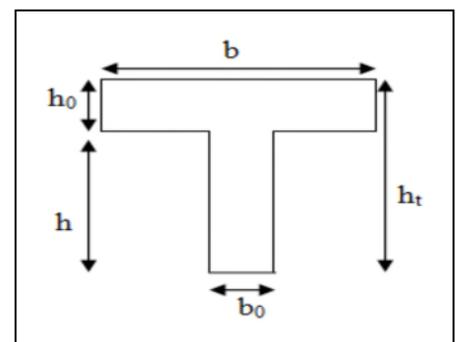


Figure II-2: coupe transversale d'une poutrelle

$$\frac{(b-b_0)}{2} \leq \text{Min} \left( \frac{2L_x}{3}, \frac{L_y}{10} \right) \dots\dots\dots \text{CBA93 (art A.4.1.3).}$$

$L_x$  : Est l'entre nus de deux poutrelles successives.

$L_y$  : est la distance minimale entre nus d'appuis dans le sens de la disposition des poutrelles.

Dans notre projet, on a :  $L_x = 65-12= 53$  cm

$$L_y = 214-30= 184 \text{ cm}$$

Donc on aura  $b \leq 48,8$  cm *soit :  $b = 48$  cm*

**b-planchers dalle pleine**

Une dalle pleine est un élément à contour généralement rectangulaire ou arrondi dont les appuis peuvent être continue (poutres, voiles) ou ponctuels (poteaux). Son pré dimensionnement se fait en se basant sur les critères suivants :

**1-critère de résistance**

$$\frac{L_x}{35} \leq e \leq \frac{L_x}{30} \dots\dots\dots \text{pour une dalle hyperstatique avec : } \rho < 0,4$$

$$e \geq \frac{L_x}{20} \dots\dots\dots \text{Pour une dalle isostatique.}$$

$$\frac{L_x}{45} \leq e \leq \frac{L_x}{40} \dots\dots\dots \text{pour une dalle hyperstatique avec } \rho \geq 0,4$$

$L_x$  : Est la plus petite portée

$L_y$  : La plus grande portée (entre nus d'appuis) du panneau de dalle.

$$\text{Avec : } \rho = \frac{L_x}{L_y}$$

**2-critère de coupe-feu**

- $e \geq 7$  cm .....pour une heure de coupe-feu.
- $e \geq 11$  cm .....pour deux heures de coupe-feu.
- $e \geq 14$  cm .....pour quatre heures de coupe-feu.

Les différents types des panneaux de dalles de notre structure sont représentés sur figures

**Dalle sur trois appuis D1 :**

$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = \frac{1,5}{5} = 0,3 < 0,4$$

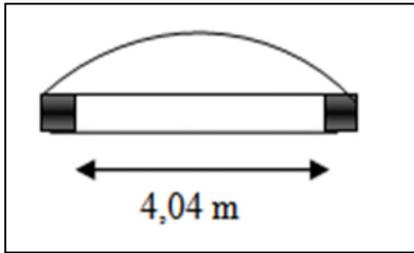
Pour les dalles avec des appuis dans les deux sens ( $\rho < 0,4$ ) :  $\frac{L_x}{35} \leq e \leq \frac{L_x}{30} \rightarrow 4,28 \leq e \leq 5$

**Dalle sur trois appuis D3 :**

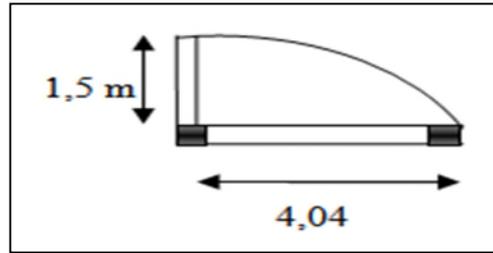
$$\rho = \frac{L_x}{L_y} = \frac{1,74}{3,98} = 0,43 > 0,4$$

Pour les dalles sur 3 appuis ou 4 appuis avec ( $\rho > 0,4$ ) :  $\frac{L_x}{45} \leq e \leq \frac{L_x}{40} \rightarrow 3,86 \leq e \leq 4,35$

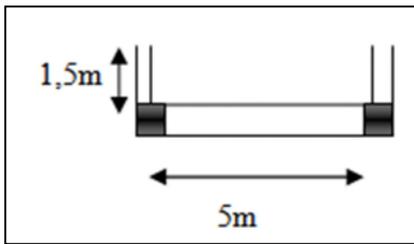
**Les différents types des dalles pleines :**



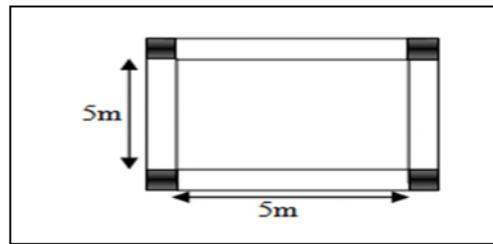
**Figure II-3** dalle sur un seul appui D1



**Figure II-4** dalle sur deux appuis D2



**Figure II-5** dalle sur trois appuis D3



**Figure II-6** dalle sur quatre appuis D4

Les différentes dimensions des dalles pleines sont données dans le tableau suivant :

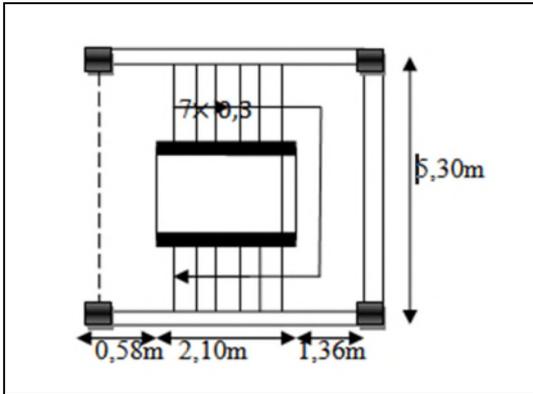
**Tableau II-1** Dimensionnement de dalles pleines

| Panneau         | D1   | D2   | D3   | D4 |
|-----------------|------|------|------|----|
| $L_x$ (m)       | 1,50 | 1,50 | 1,50 | 5  |
| $L_y$ (m)       | 4,04 | 4,04 | 5    | 5  |
| $\rho$          | 0,37 | 0,37 | 0,30 | 1  |
| $e$ (cm) $\geq$ | 5    | 5    | 5    | 12 |
| $e$ adoptée     | 15   | 12   | 15   | 15 |

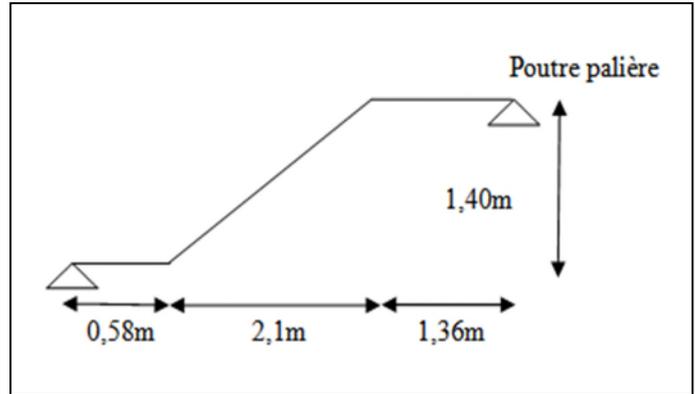
**II-1-2-2 les escaliers :**

Les escaliers sont une succession de marches permettant le passage d'un niveau à un autre, ils sont réalisés en béton armé coulé sur place, dans notre structure on a un deux types d'escaliers

**Etage courant :**



**Figure II-7 :** Schéma de l'escalier E.C



**Figure II-8 :** schéma statique de l'escalier E.C

**Dimensionnement**

- La hauteur  $h$  des contres marches se situe entre 14 et 18 cm.
- La largeur  $g$  se situe entre 25 et 32 cm.
- La formule empirique de **blondel** :

$$0,60 \leq g + 2 \times h \leq 0,65 \text{m} \dots \dots \dots (1)$$

On a:  $g = \frac{L_0}{n-1}$   $h = \frac{H_0}{n}$

Avec  $H_0$ : demi-hauteur d'étage ;  $n$  : nombres de contres marches ;

$L_0$  : Longueur projetée de la volée ;  $n-1$  : nombres de marches.

En remplaçant  $h$  et  $g$  dans (1) :

$$0,60 \leq g + 2 \times h \leq 0,65 \text{ m}$$

$$64 \times n^2 - (0,64 + 2H_0 + L_0) \times n + 2 \times H_0 = 0$$

$n$  : C'est la solution de l'équation.

Après la résolution, on trouve :  $n=8,11$

On opte pour un nombre de contre marches :  $n=8$

Ce qui donne le nombre de marches :  $n-1=7$ .

**Calcul du giron ( $g$ ) et la hauteur de contre marche ( $h$ ) :**

$$g = \frac{L_0}{n-1} = \frac{210}{7} = 30 \text{cm}$$

$$h = \frac{H_0}{n} = \frac{140}{8} = 17,5 \text{ cm}$$

L'épaisseur de la paillasse «  $e$  » :

$L_p$  : La longueur de palier (de départ et d'arrivée).

$L_v$  : Longueur de la volée.

$$\frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20} \quad \text{Avec: } L=L_{p1}+L_v+L_{p2}$$

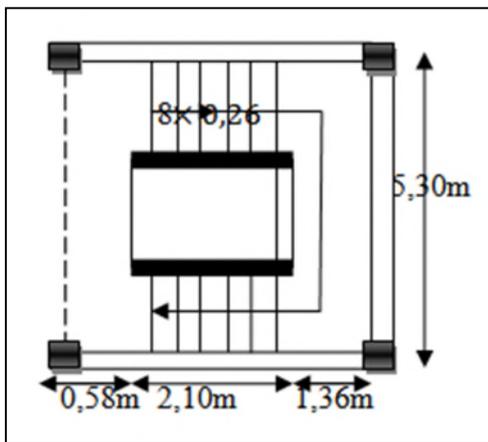
$$L_v = \sqrt{L_0^2 + H_0^2} = \sqrt{2,1^2 + 1,4^2} = 2,52\text{m}$$

$$L = 0,58 + 2,52 + 1,36 = 4,46\text{m}$$

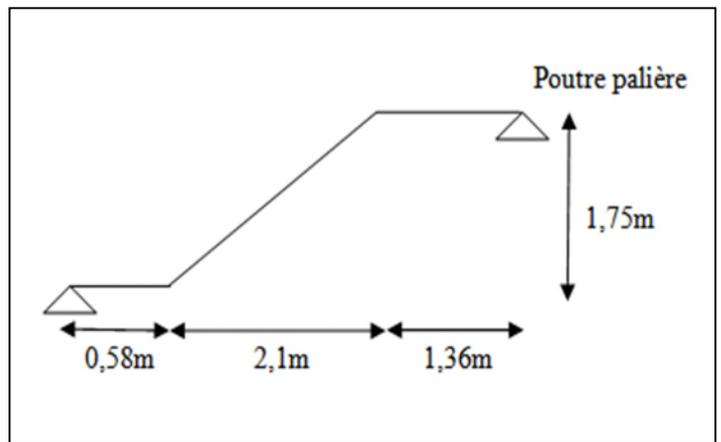
$$\frac{446}{30} \leq e \leq \frac{446}{20} \quad \rightarrow \quad 14,86 \leq e \leq 22,30 \quad \text{soit } e = 16 \text{ cm}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{1,4}{2,1} = 0,66 \quad \rightarrow \quad \alpha = 33,69^\circ$$

**RDC :**



**Figure II-9 : Schéma de l'escalier RDC**



**Figure II-10 : schéma statique de l'escalier RDC**

$$0,60 \leq g + 2 \times h \leq 0,65\text{m} \dots \dots \dots (1)$$

$$64 \times n^2 - (0,64 + 2 H_0 + L_0) \times n + 2 \times H_0 = 0$$

Après la résolution, on trouve :  $n=9,15$

On opte pour un nombre de contre marches :  $n=9$

Ce qui donne le nombre de marches :  $n-1=8$ .

**Calcul du giron (g) et la hauteur de contre marche (h) :**

$$g = \frac{L_0}{n-1} = \frac{2,10}{8} = 26,25\text{cm} \quad \text{soit } g=26 \text{ cm.}$$

$$h = \frac{H_0}{n} = \frac{1,75}{9} = 19,44\text{cm} \quad \text{soit } h=19\text{cm.}$$

L'épaisseur de la paillasse « e » :

$$\frac{L}{30} \leq e \leq \frac{L}{20} \quad \text{Avec: } L=L_{p1}+ L_v + L_{p2}$$

$$L_v = \sqrt{L_0^2 + H_0^2} = \sqrt{2,1^2 + 1,75^2} = 2,73\text{m}$$

$$L= 0,58+2,73+1,36= 4,67\text{m}$$

$$\frac{467}{30} \leq e \leq \frac{467}{20} \quad \rightarrow \quad 15,56 \leq e \leq 23,35 \quad \text{soit } e= 17 \text{ cm}$$

$$\text{tg } \alpha = \frac{1,75}{2,1}=0,83 \quad \rightarrow \quad \alpha = 39,80^\circ$$

**Remarque :** l'escalier reliant (la soupenne, étage 1) et (étage 9, étage 10) est un escalier en deux volée sa mise en place sera en bois.

### II-1-3 les éléments principaux

#### II-1-3-1- les poutres :

##### a- Les poutres principales :

Elles sont disposées perpendiculairement aux poutrelles. Selon le BAEL91 le pré dimensionnement des poutres se fait en utilisant la condition suivante

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10} \quad \text{avec } L : \text{ la longueur de la travée maximale entre nus d'appuis}$$

$$0,3h \leq b \leq 0,7h \quad b : \text{ la largeur de la poutre } \quad \text{et } h : \text{ la hauteur des poutres.}$$

$$L= 530-30=500 \text{ cm} \quad \gg \quad 33,33 \leq h \leq 50$$

On opte pour des poutres de  $(30 \times 40) \text{cm}^2$ .

#### Vérification les conditions suivant l'article 7.5.1 de RPA/V 2003 :

$$b \geq 20 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

$$h \geq 30 \text{ cm} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

$$1 \leq \frac{h}{b} \leq 4 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.}$$

$$\text{Soit } (b \times h)_{pp} = (30 \times 40) \text{cm}^2.$$

##### b- les poutres secondaires :

Elles sont disposées parallèlement aux poutrelles.

$$(L_{max}= 530-30=500) \text{ cm.} \quad 33,33 \leq h \leq 50$$

$$L_{max} =500 \text{ cm} \quad \gg \quad 0,3h \leq h \leq 0,7h$$

On opte pour des poutres de  $(30 \times 35) \text{cm}^2$ .

**Vérification les conditions de RPA :**

$b \geq 20 \text{ cm}$  .....condition vérifiée.

$h \geq 30 \text{ cm}$  .....condition vérifiée.

$1 \leq \frac{h}{b} \leq 4$  .....condition vérifiée.

Soit  $(b \times h)_{ps} = (30 \times 35) \text{cm}^2$ .

**II-1-3-2 les voile:**

Ce sont des éléments en béton armé utilisés pour reprendre les efforts sismiques, leurs coupe verticale représenté sue la fugueur

Leur pré dimensionnement doit satisfaire les conditions de **RPA/V2003** suivantes :

$e \geq 15 \text{ cm}$  ..... (1)

$e \geq \frac{h_e}{20}$  ..... (2)

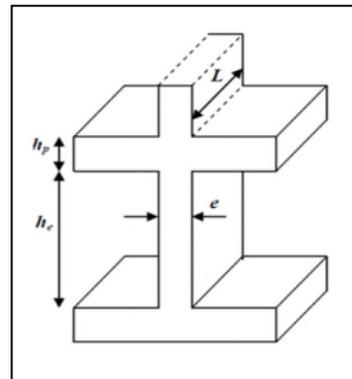
$L \geq 4 \times e$  .....(3)

Avec :

$h_e$  : Hauteur libre du voile.

$e$  : épaisseur du voile.

$L$  : longueur du voile.



**Figure II-11 :**  
dimension d'un voile

Les différentes dimensions des voiles sont données dans le tableau suivant :

**Tableau II-2:** dimensions des voiles

| Etage         | h étage (m) | h libre (m) | $\frac{h_e}{20}$ (cm) | « e » adopté (cm) |
|---------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------------|
| Entre sol     | 2,85        | 2,50        | 12,50                 | 20                |
| RDC           | 3,50        | 3,15        | 15,75                 | 20                |
| Etage courant | 2,80        | 2,45        | 12,25                 | 20                |

**II-1-3-3 les poteaux :**

Le pré dimensionnement des poteaux se fait à la compression selon les règles du BAEL91 (art B.8.4.1). Une fois la résistance à la compression vérifiée; ces poteaux doivent répondre aux critères et les recommandations du RPA99V2003.

Les sections supposées des poteaux sont :

**Tableau II-3** : sections supposées des poteaux

| Niveaux                       | E.S<br>1,2 | RDC   | soup  | 1+2   | 3+4   | 5+6   | 7+8   | 9+10  | Terrasse |
|-------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Poteaux<br>(cm <sup>2</sup> ) | 50×50      | 50×45 | 50×45 | 45×45 | 45×40 | 40×40 | 40×35 | 35×35 | 35×30    |

**II-1-3-3-1 Évaluation des charges et surcharges**

**a- charges d'exploitation :**

**Tableau II-4** : charges d'exploitations des différents éléments

| Nature de plancher         | valeur « Q » ( $\text{KN}/\text{m}^2$ ) |
|----------------------------|---|
| Toiture                    | 1                                       |
| Etage courant (habitation) | 1,5                                     |
| Etage terrasse accessible  | 1,5                                     |
| Escalier                   | 2,5                                     |
| Parking                    | 2,5                                     |
| Balcon                     | 3,5                                     |
| Commerce                   | 5                                       |

**b- charge permanentes**

**1- plancher étage courant**

**Tableau II-5** : évaluation de charge pour étage courant

| désignation des éléments             | e (cm) | Poids ( $\text{KN}/\text{m}^2$ ) |
|--------------------------------------|--------|----------------------------------|
| Cloisons de séparation               | 10     | 1                                |
| Carrelage                            | 2      | 0,40                             |
| Mortier de pose                      | 2      | 0,40                             |
| Lit de sable                         | 3      | 0,54                             |
| Enduit de plâtre                     | 1,5    | 0,15                             |
| Corps creux (20+4)                   | 24     | 3,10                             |
| Dalle pleine 1                       | 12     | 3                                |
| Dalle pleine 2                       | 15     | 3,75                             |
| $G_{total}$ pour corps creux         |        | $G=5,59$                         |
| $G_{total}$ pour dalle pleine e=12cm |        | $G=5,49$                         |
| $G_{total}$ pour dalle pleine e=15cm |        | $G=6,24$                         |

2- plancher terrasse accessible

Tableau II-6 : évaluation de charge pour étage terrasse

| Désignation des éléments             | e (cm) | Poids ( $KN/m^2$ ) |
|--------------------------------------|--------|--------------------|
| Revêtement en carrelage              | 2      | 0,40               |
| Mortier de pose                      | 2      | 0,40               |
| Lit de sable                         | 3      | 0,54               |
| Multicouche d'étanchéité             | 2      | 0,12               |
| Isolation thermique                  | 4      | 0,10               |
| Forme de pont 2 %                    | 10     | 2,20               |
| Enduit de plâtre                     | 1,5    | 0,15               |
| Corps creux (20+4)                   | 24     | 3,10               |
| Dalle pleine 1                       | 12     | 3                  |
| Dalle pleine 2                       | 15     | 3,75               |
| $G_{total}$ pour corps creux         |        | $G= 7,01$          |
| $G_{total}$ pour dalle pleine e=12cm |        | $G= 6,91$          |
| $G_{total}$ pour dalle pleine e=15cm |        | $G= 7,66$          |

3- toiture :

Tableau II-7: évaluation de charge pour toiture

| Désignations des éléments    | e (cm) | poids ( $KN/m^2$ ) |
|------------------------------|--------|--------------------|
| Gravillon de protection      | 4      | 0,80               |
| Multicouche d'étanchéité     | 2      | 0,12               |
| Isolation thermique          | 4      | 0,10               |
| Enduit de plâtre             | 1,5    | 0,15               |
| Corps creux (20+4)           | 24     | 3,10               |
| $G_{total}$ pour corps creux |        | $G=4,27$           |

Murs doubles parois en briques creuses :

Tableau II-8 : évaluation de charge pour murs

| Désignation des éléments | e (cm) | poids ( $KN/m^2$ ) |
|--------------------------|--------|--------------------|
| Enduit de plâtre         | 2      | 0,20               |
| Brique creuses           | 15     | 1,30               |
| Lame d'air               | 5      | 0                  |
| Brique creuses           | 10     | 0,90               |
| Enduit de ciment         | 2      | 0,40               |
| Charge permanente totale |        | $G=2,80$           |

**Murs extérieurs (terrasse accessible) :**

**Tableau II-9 :** évaluation de charge pour murs extérieurs des la terrasse accessible

| <i>Désignation des éléments</i>        | <i>e(cm)</i> | <i>poids (KN/m<sup>2</sup>)</i> |
|--|--------------|---------------------------------|
| Enduit de ciment                       | 2            | 0,40                            |
| Brique creuses                         | 15           | 1,30                            |
| Enduit de ciment                       | 2            | 0,40                            |
| <i>G<sub>totale</sub> (seul paroi)</i> |              | <i>G=2,10</i>                   |

**Les escaliers :**

**La volée :**

**Etage courant/RDC :**

**Tableau II-10 :** évaluation de charge pour la volée

| <i>Désignation des éléments</i> | <i>e(m)</i>     |                 | <i>poids (KN/m<sup>2</sup>)</i> |           |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------------|-----------|
|                                 | <i>Type 1</i>   | <i>Type 2</i>   | <i>G1</i>                       | <i>G2</i> |
| <i>Etage courant/RDC</i>        |                 |                 |                                 |           |
| Revêtement horizontale          | 0,20            | 0,20            | 0,40                            | 0,40      |
| Revêtement vertical             | 0,02× (h/g)     | 0,02× (h/g)     | 0,23                            | 0,29      |
| Mortier de pose horizontal      | 0,02            | 0,02            | 0,40                            | 0,40      |
| Mortier de pose verticale       | 0,02× (h/g)     | 0,02× (h/g)     | 0,23                            | 0,29      |
| Marche                          | 0,175/2         | 0,19/2          | 1,925                           | 2,09      |
| Paillasse                       | 0,16/(cos33,69) | 0,17/(cos39,80) | 4,80                            | 5,53      |
| Enduit de plâtre                | 0,02/(cos33,69) | 0,02/(cos39,80) | 0,24                            | 0,26      |
| <i>Charge permanent G</i>       |                 |                 | 8,22                            | 9,26      |

**Le palier :**

**Tableau II-11 :** évaluation de charge pour le palier

| <i>Désignation des éléments</i> | <i>e (m)</i>  |               | <i>poids (KN/m<sup>2</sup>)</i> |           |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------------------------|-----------|
|                                 | <i>Type 1</i> | <i>Type 2</i> | <i>G1</i>                       | <i>G2</i> |
| <i>Etage courant/RDC</i>        |               |               |                                 |           |
| Revêtement                      | 0,02          | 0,02          | 0,40                            | 0,40      |
| Mortier de pose                 | 0,02          | 0,02          | 0,40                            | 0,40      |
| Lit de sable                    | 0,02          | 0,02          | 0,36                            | 0,36      |
| Dalle en béton armé             | 0,16          | 0,17          | 4                               | 4,25      |
| Enduit de plâtre                | 0,02          | 0,02          | 0,20                            | 0,20      |
| <i>Charge permanent G</i>       |               |               | 5,36                            | 5,61      |

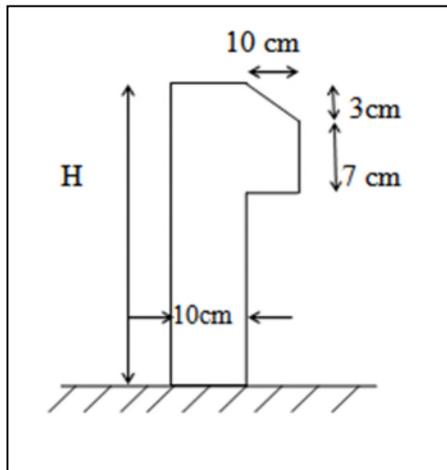
**Poids des poteaux supposés :**

**Tableau II-12 : poids des poteaux**

| Poteaux<br>(cm <sup>2</sup> ) | 40×45 | 45×45  | 45×50 | 50×50 | 50×50 | 55×55  | 55×60 | 55×60  | 60×60 | 60×60 |
|-------------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|
| Poids<br>(KN)                 | 12,6  | 14,175 | 15,75 | 17,50 | 19,25 | 21,175 | 23,1  | 28,875 | 25,65 | 25,65 |

**Acrotère :**

Les dimensions de l'acrotère sont représentées dans la figure suivante :



**Figure II-12 : Schéma statique de l'acrotère**

Le tableau suivant représente les caractéristiques de l'acrotère :

**Tableau II-13 : évaluations des charges de l'acrotère**

| Désignation | h (m) | Surface<br>(m <sup>2</sup> ) | Poids<br>(KN/ml)    |                 | Poids propre totale<br>G (KN/ml) | Surcharge<br>d'exploitation<br>Q (KN/ml) |
|-------------|-------|------------------------------|---------------------|-----------------|----------------------------------|--|
|             |       |                              | Acrotère<br>e= 10cm | Enduit<br>e=3cm |                                  |  |
| Acrotère    | 0,6   | 0,0685                       | 1,71                | 0,396           | 2,106                            | 1  |

**II-1-3-3-2 descente de charge :**

La descente de charge est effectuée pour le poteau P1 qui nous semble être le plus chargé

**Pré dimensionnement des poteaux à L'ELU :**

**Poteau P1 : (voir annexe 5.a)**

**Étage courant + RDC + terrasse**

**Surface afférente**

$$S_{cc} = 2,5 \times 2,125 + 1,985 \times 2,125 + 2,5 \times 2,5 = 15,78 m^2$$

$$G_{C.C}^{Rdc+E.C} = 5,59 \times 15,78 = 88,04 \text{ KN}$$

$$G_{C.C}^{terrasse} = 7,01 \times 15,78 = 110,40 \text{ KN}$$

$$Q_{C.C}^{Rdc} = 5 \times 15,78 + 0,3(1,985 + 2,5 + 2,125 + 2,5) = 92,565 \text{ KN}$$

$$Q_{C.C}^{E.C+terrasse} = 1,5 \times 18,513 = 27,78 \text{ KN}$$

$$S_{pal} = 0,58 \times 2,5 = 1,45 m^2$$

$$G_{pal}^{RDC} = 5,61 \times 1,45 = 8,13 \text{ KN}$$

$$G_{pal}^{E.C+terrasse} = 5,36 \times 1,45 = 7,77 \text{ KN}$$

$$Q_{pal}^{RDC} = 2,5 \times 1,45 = 3,625 \text{ KN}$$

$$Q_{pal}^{E.C+terrasse} = 2,5 \times 1,45 = 3,625 \text{ KN}$$

$$S_{volée} = (1,985 - 0,58) \times (1,45) = 2,03$$

$$G_{volée}^{RDC} = 9,26 \times 2,03 = 18,8 \text{ KN}$$

$$G_{volée}^{E.C+terrasse} = 8,22 \times 2,03 = 16,68 \text{ KN}$$

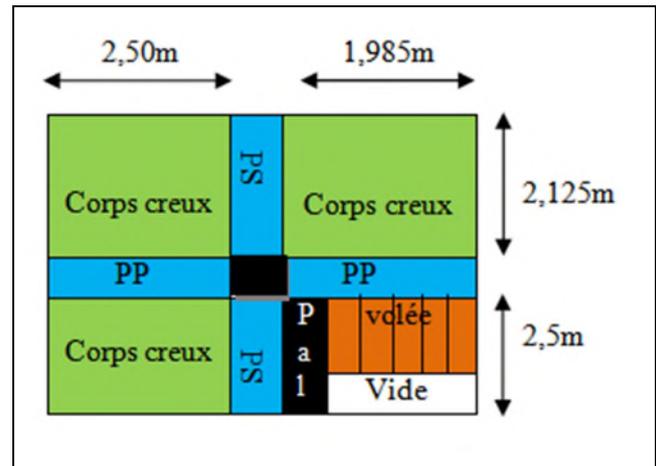
$$Q_{volée}^{RDC} = 2,5 \times 2,03 = 5,075$$

$$Q_{volée}^{E.C+terrasse} = 2,5 \times 2,03 = 5,075$$

$$G_{plancher}^{RDC} = 88,04 + 8,13 + 18,8 = 114,97 \text{ KN}$$

$$G_{plancher}^{E.C} = 88,04 + 7,77 + 16,68 = 112,49 \text{ KN}$$

$$G_{plancher}^{terrasse} = 110,40 + 7,77 + 16,68 = 134,85 \text{ KN}$$



**Figure II-13 :** Surface afférente du poteau  $P_1$  au niveau de RDC+étage courant+terrasse

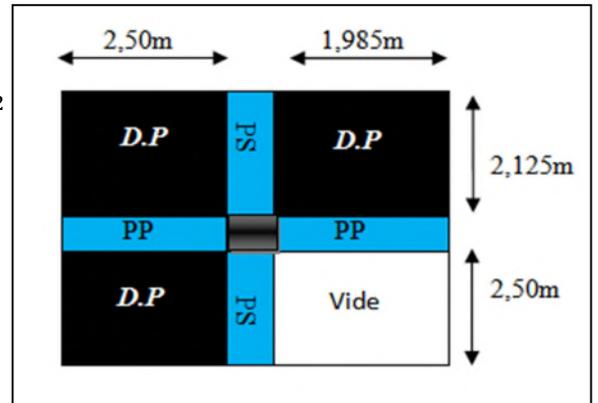
**Entresol 1**

surface afférente :

$$S_{Dp} = (2,50 \times 2,125) + (1,985 \times 2,125) + (2,5 \times 2,5) = 15,78 \text{ m}^2$$

$$G_{Dp}^{E.S} = 6,24 \times 15,78 = 98,46 \text{ KN.}$$

$$Q_{Dp}^{E.S} = 2,5 \times 15,78 + 0,3(2,5 + 1,985 + 2,125 + 2,5) = 46,28 \text{ KN}$$



**Figure II-14** : surface afférente du poteau P1 au niveau d'entresol 1

**Toiture**

surface afférente :

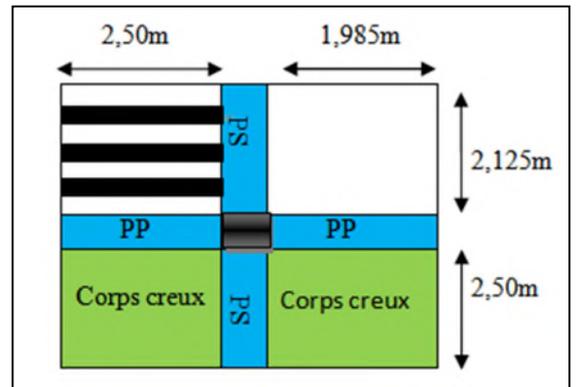
$$S_{c.c} = (2,5 \times 2,5) + (1,985 \times 2,5) = 11,21 \text{ m}^2$$

$$G_{c.c}^{toiture} = 4,27 \times 11,21 = 47,87 \text{ KN}$$

$$Q_{c.c}^{toiture} = 1 \times 11,21 = 11,21 \text{ KN}$$

$$G_{décoration} = 3 \times (0,1 \times 0,3 \times 2,5) \times 25 = 5,625 \text{ KN}$$

$$G_{plancher}^{toiture} = 47,87 + 5,625 = 53,49 \text{ KN}$$



**Figure II-15** : surface afférente du poteau P1 au niveau de toiture

**Poids des poutres :**

$$L_{pp} = 2,5 + 1,985 = 4,485 \text{ m} \quad G_{pp} = (0,30 \times 0,40 \times 4,485) \times 25 = 13,455 \text{ KN.}$$

$$L_{ps} = 2,50 + 2,125 = 4,625 \text{ m} \quad G_{ps} = (0,30 \times 0,35 \times 4,625) \times 25 = 12,14 \text{ KN.}$$

$$P_{tot} = 25,595 \text{ KN}$$

**Poids des murs :**

$$\text{RDC : } G_{mur} = 2,8 \times [1,985 \times (3,5 - 0,4)] + 2,8 \times [(2,5 - 1,04) \times (3,5 - 0,4)] = 29,90 \text{ KN}$$

Soupenne, étage 1 jusqu'à étage 9 + terrasse accessible

$$S_{mur} = 2,8 \times [1,985 \times (2,8 - 0,4)] + 2,8 \times (2,8 \times 2,56) = 33,40 \text{ KN}$$

$$\text{Etage 10 : } G_{mur} = 2,8 \times [1,985 \times (2,8 - 0,4)] + 2,8 \times [1,39 \times (2,8 - 0,4)] + 2,8 \times [2,5 \times 2,56] = 40,59 \text{ KN}$$

$$\text{La loi de dégression : } Q_0 + \left(\frac{3+n}{2n}\right) \times (Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n).$$

## Chapitre II : pré dimensionnement et calcul des éléments secondaires

Les résultats de la décente de charge du poteau P1 sont représenté sur le tableau suivant :

**Tableau II-14** : Résultats de la décente de charge du poteau P<sub>1</sub>

| Etage | Niveau | Élément          | Poids propres G(KN) | Surcharge Q (KN)    |
|-------|--------|------------------|---------------------|---------------------|
| N15   | 15     | Plancher         | 53,49               | 11,21               |
|       |        | Poutre           | 25,595              |                     |
|       |        | Poteau+acrotère  | 12,60+11 ,34        |                     |
|       | Somme  | Somme            | 103,025             | 11,21               |
| N14   | 14     | Venant de niv 15 | 103,025             | 11,21+36,48         |
|       |        | Plancher         | 134,85              |                     |
|       |        | Poutre           | 25,595              |                     |
|       |        | Poteau +murs     | 14,175+33,40        |                     |
|       | Somme  | Somme            | 311,045             | 47,69               |
| N13   | 13     | Venant de niv 14 | 311,045             | 11,21+0,95(36,48×2) |
|       |        | Plancher         | 112,49              |                     |
|       |        | Poutre           | 25,595              |                     |
|       |        | Poteau +murs     | 14,175+40,59        |                     |
|       | Somme  | Somme            | 503,895             | 80,522              |
| N12   | 12     | Venant de niv 13 | 503,895             | 11,21+0,90(36,48×3) |
|       |        | Plancher         | 112,49              |                     |
|       |        | Poutre           | 25,595              |                     |
|       |        | Poteau +murs     | 15,75+33,40         |                     |
|       | Somme  | Somme            | 691,13              | 109,706             |
| N11   | 11     | Venant de niv 12 | 691,13              | 11,21+0,85(36,48×4) |
|       |        | Plancher         | 112,49              |                     |
|       |        | Poutre           | 25,595              |                     |
|       |        | Poteau +murs     | 15,75+33,40         |                     |
|       | Somme  | Somme            | 878,365             | 135,242             |
| N10   | 10     | Venant de niv 11 | 878,365             | 11,21+0,8(36,48×5)  |
|       |        | Plancher         | 112,49              |                     |
|       |        | Poutre           | 25,595              |                     |
|       |        | Poteau +murs     | 17,50+33,40         |                     |
|       | Somme  | Somme            | 1067,35             | 157,13              |
| N9    | 09     | Venant de niv 10 | 1067,35             | 11,21+0,75(36,48×6) |
|       |        | Plancher         | 112,49              |                     |
|       |        | Poutre           | 25,595              |                     |
|       |        | Poteau+murs      | 17,50+33,40         |                     |
|       | Somme  | Somme            | 1256,335            | 175,37              |
|       |        | Venant de niv 9  | 1256,335            |                     |
|       |        | Plancher         | 112,49              |                     |

## Chapitre II : pré dimensionnement et calcul des éléments secondaires

|   |       |                 |              |                       |
|---|-------|-----------------|--------------|-----------------------|
| N8  | 08    | Poutre          | 25,595       | 11,21+0,714(36,48×7)  |
|   |       | Poteau +murs    | 19,25+33,40  |                       |
|   | Somme | Somme           | 1447,07      | 193,53                |
| N7  | 07    | Venant de niv 8 | 1447,07      | 11,21+0,6875(36,48×8) |
|   |       | Plancher        | 112,49       |                       |
|   |       | Poutre          | 25,595       |                       |
|   |       | Poteau+murs     | 19,25+33,40  |                       |
|   | Somme | Somme           | 1637,805     | 211,85                |
| N6  | 06    | Venant de niv 7 | 1637,805     | 11,21+0,66(36,48×9)   |
|   |       | Plancher        | 112,49       |                       |
|   |       | Poutre          | 25,595       |                       |
|   |       | Poteau+murs     | 21,175+33,40 |                       |
|   | Somme | Somme           | 1830,465     | 227,90                |
| N5  | 05    | Venant de niv 6 | 1830,465     | 11,21+0,65(36,48×10)  |
|   |       | Plancher        | 112,49       |                       |
|   |       | Poutre          | 25,595       |                       |
|   |       | Poteau+murs     | 21,175+33,40 |                       |
|   | Somme | Somme           | 2030,41      | 248,33                |
| N4  | 04    | Venant de niv 5 | 2030,41      | 11,21+0,636(36,48×11) |
|   |       | Plancher        | 112,49       |                       |
|   |       | Poutre          | 25,595       |                       |
|   |       | Poteau+murs     | 23,1+33,40   |                       |
|   | Somme | Somme           | 2214,995     | 266,42                |
| N3  | 03    | Venant de niv 4 | 2224,995     | 11,21+0,625(36,48×12) |
|   |       | Plancher        | 112,49       |                       |
|   |       | Poutre          | 25,595       |                       |
|   |       | Poteau+murs     | 28,875+33,40 |                       |
|   | Somme | Somme           | 2425,355     | 284,81                |
| N2  | 02    | Venant de niv 3 | 2425,355     | 284,81+101,26         |
|   |       | Plancher        | 114,97       |                       |
|   |       | Poutre          | 25,595       |                       |
|   |       | Poteau+murs     | 25,65+29,90  |                       |
|   | Somme | Somme           | 2621,47      | 386,075               |
| N1  | 01    | Venant de niv 2 | 2614,185     | 386,075+ 46,28        |
|   |       | Plancher        | 88,04        |                       |
|   |       | Poutre          | 25,595       |                       |
|   |       | Poteau          | 25,65        |                       |
|   | Somme | Somme           | 2760,755     | 432,355               |
| $N_u = 1,35 G_{totale} + 1,5 Q_{totale} = 4375,653$ |       |                 |              |                       |

**Remarque :** le poteau (P1) c'est le plus sollicité.

**II-1-3-3 Vérification du poteau P1**

Selon le BAEL (Art. B.8.1.1) :

- 10% pour les poteaux à plusieurs travées.
- 15% pour les poteaux à 2 travées

$$N_u^* = 1,15 \times 4365,717 = 5032 \text{ KN}$$

Les poteaux sont pré dimensionnés selon ces trois critères :

- Le critère de résistance.
- Le critère de stabilité de forme.
- Les exigences du RPA99v2003.

**1-critère de résistance :**

On doit vérifier que :  $\sigma_{bc} = \frac{N_u^*}{B} \leq \overline{\sigma}_{bc}$  avec :  $\overline{\sigma}_{bc} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{1,5}$

**Exemple :**

Le poteau à la base (60×60) :

$$\sigma_{bc} = \frac{N_u^*}{B} = \frac{5032 \times 10^{-3}}{0,6 \times 0,6} = 13,97 \text{ MPA} < \overline{\sigma}_{bc} = 14,2 \text{ MPA}$$

**Tableau II-15 :** vérification à la compression simple du poteau le plus sollicité P<sub>1</sub>

| Niveau                               | NU* (KN) | Section (cm <sup>2</sup> ) | Condition $\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma}_{bc}$ |                          | Observation |
|--------------------------------------|----------|----------------------------|---|--------------------------|-------------|
|                                      |          |                            | $\sigma_{bc}$                                       | $\overline{\sigma}_{bc}$ |             |
| ES1+ES2                              | 5032     | 60×60                      | 13,97   | 14,20                    | Vérifier    |
| RDC                                  | 4256,66  | 55×60                      | 12,898  | 14,20                    | Vérifier    |
| SOUPENTE                             | 3913,87  | 55×60                      | 11,86   | 14,20                    | Vérifier    |
| 1 <sup>ère</sup> + 2 <sup>ème</sup>  | 3580,58  | 55×55                      | 11,83   | 14,20                    | Vérifier    |
| 3 <sup>ème</sup> + 4 <sup>ème</sup>  | 2919,44  | 50×55                      | 10,616  | 14,20                    | Vérifier    |
| 5 <sup>ème</sup> + 6 <sup>ème</sup>  | 2264,28  | 50×50                      | 9,057   | 14,20                    | Vérifier    |
| 7 <sup>ème</sup> + 8 <sup>ème</sup>  | 1608,26  | 45×50                      | 7,147   | 14,20                    | Vérifier    |
| 9 <sup>ème</sup> + 10 <sup>ème</sup> | 932,5074 | 45×45                      | 4,604   | 14,20                    | Vérifier    |
| T. accessible                        | 190,593  | 40×45                      | 1,058   | 14,20                    | Vérifier    |

**Remarque :** la condition  $\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma}_{bc}$  est vérifiée pour tous les niveaux, donc le pré dimensionnement opté au préalable pour les poteaux.

**2- critère de stabilité de forme :**

D'après le CBA 93, on doit effectuer la vérification suivante :

$$N_u^* = \alpha \left[ \frac{B_r + f_{c28}}{0,9 \times \gamma_b} + \frac{A_s \times f_e}{\gamma_s} \right] \quad \text{avec :}$$

$\left\{ \begin{array}{l} B_r : \text{Section réduite du béton } (B_r = (a - 2\text{cm}) \times (b - 2\text{cm})). \\ A_s : \text{Section des armatures.} \\ \alpha : \text{Coefficient en fonction de l'élanement } \lambda. \end{array} \right.$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{0,85}{1 + 0,2 \left( \frac{\lambda^2}{35} \right)} \dots\dots\dots 0 < \lambda \leq 50. \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,6 \left( \frac{50^2}{\lambda} \right) \dots\dots\dots 50 < \lambda \leq 70 \end{array} \right.$$

**Tel que :**  $\lambda = \frac{l_f}{i}$

$l_f$  : Longueur de flambement.....  $l_f = 0,7 l_0$

$$i : \text{rayon de giration } i = \sqrt{\frac{I}{b \times h}} = \frac{b}{\sqrt{12}}$$

$I$  : Moment d'inertie, pour le cas d'une section rectangulaire :  $I = \frac{h \times b^3}{12}$

Le tableau ci-dessous résume les vérifications au flambement des poteaux pour chaque Changement de section et de hauteur d'étage :

**Tableau II-16** : vérification au flambement du poteau le plus sollicité  $P_1$

| Niveau                               | $N_u^*$ (KN) | i (m)  | $\Lambda$ | $\alpha$ | Condition                      |  | Observation |
|--------------------------------------|--------------|--------|-----------|----------|--------------------------------|--|-------------|
|                                      |              |        |           |          | $B_r > B_{r \text{ calculer}}$ |  |             |
|                                      |              |        |           |          | $B_r$ (m <sup>2</sup> )        | $B_{r \text{ calculer}}$ (m <sup>2</sup> ) |             |
| ES1+ES2                              | 5032         | 0,0108 | 11,585    | 0,831    | 0,3364                         | 0,275                                      | Vérifier    |
| RDC                                  | 4256,66      | 0,091  | 15,43     | 0,818    | 0,3074                         | 0,236                                      | Vérifier    |
| SOUPENTE                             | 3919,87      | 0,091  | 12,344    | 0,829    | 0,3074                         | 0,214                                      | Vérifier    |
| 1 <sup>ère</sup> + 2 <sup>ème</sup>  | 3580,58      | 0,087  | 12,344    | 0,829    | 0,2809                         | 0,196                                      | Vérifier    |
| 3 <sup>ème</sup> + 4 <sup>ème</sup>  | 2919,44      | 0,075  | 13,579    | 0,825    | 0,2544                         | 0,096                                      | Vérifier    |
| 5 <sup>ème</sup> + 6 <sup>ème</sup>  | 2264,28      | 0,072  | 13,579    | 0,825    | 0,2304                         | 0,120                                      | Vérifier    |
| 7 <sup>émé</sup> + 8 <sup>ème</sup>  | 1608,26      | 0,061  | 15,08     | 0,819    | 0,2064                         | 0,089                                      | Vérifier    |
| 9 <sup>ème</sup> + 10 <sup>ème</sup> | 932,5074     | 0,058  | 15,08     | 0,819    | 0,1849                         | 0,051                                      | Vérifier    |
| T.accessible                         | 190,593      | 0,048  | 16,974    | 0,811    | 0,1634                         | 0,010                                      | Vérifier    |

**Remarque :** la condition  $B_r > B_{r \text{ calculer}}$  est vérifiée pour tous les niveaux.

**3-Vérification des exigences de RPA99v2003 :**

D'après l'article (**Art. 7.4.1**), on doit satisfaire les trois conditions suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min } (b ; h) \geq 25 \text{ cm} \\ \text{Min } (b ; h) \geq \frac{h_e}{20} \\ \frac{1}{4} \leq \frac{b}{h} \leq 4 \end{array} \right.$$

Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II-17:** résultats des exigences du RPA pour le poteau le plus sollicité  $P_1$

| Poteau                                | 40×45 | 45×45 | 45×50 | 50×50 | 50×55 | 55×55 | 55×60<br>soutente | 55×60<br>RDC | 60×60 | Obs<br>e |
|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|--------------|-------|----------|
| Min (b ;h)<br>$\geq 25$               | 40    | 45    | 45    | 50    | 50    | 55    | 55                | 55           | 60    | V        |
| Min (b ;h)<br>$\geq \frac{h_e}{20}$   | 12,25 | 12,25 | 12,25 | 12,25 | 12,25 | 12,25 | 12,25             | 15,75        | 12,5  | V        |
| $\frac{1}{4} \leq \frac{b}{h} \leq 4$ | 0,88  | 1     | 0,9   | 1     | 0,9   | 1     | 0,916             | 0,916        | 1     | V        |

**Conclusion :** Après avoir effectué les diverses vérifications, et satisfait toutes les exigences réglementaires, concernant les pré-dimensionnements.

- **Calcul des planchers**

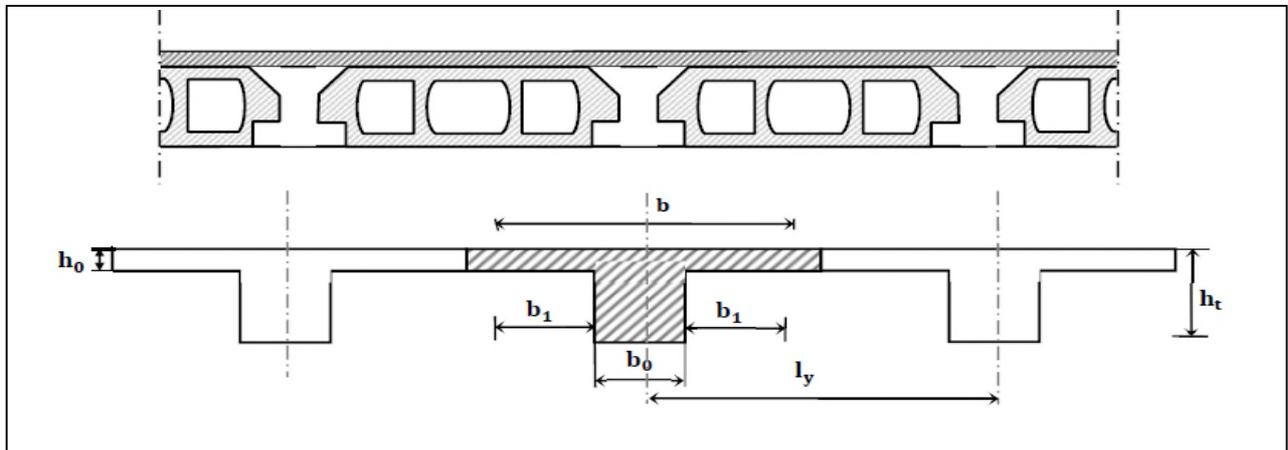
Dans notre structure on distingue deux types de planchers :

- Plancher à corps creux.
- Plancher à dalle pleine.

### II-2 : Calcul du plancher à corps creux

Les planchers sont des éléments plans horizontaux, supposés être infiniment rigides dans leur Plan. Ils ont pour rôle de :

- -Transmettre les charges aux éléments porteurs.
- -Assurer l'isolation des différents étages du point de vue thermique et phonique.



**Figure II-16 :** Schéma représentatif d'un plancher à corps creux

**II-2-1 : Etude des poutrelles**

Les poutrelles sont des poutres de section en T associées au plancher et calculées en flexion Simple, comme des poutres sur plusieurs appuis.

- **Méthodes de calcul**

Les méthodes utilisées pour le calcul des poutres continues en béton armé sont :

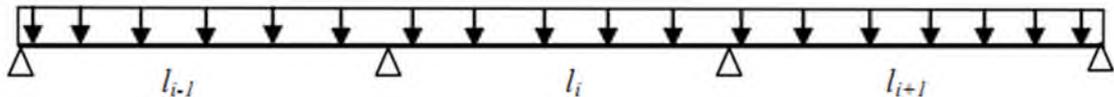
- Méthode Forfaitaire.
- Méthode de Caquot.

**a) Méthode Forfaitaire (Annexe E.1 du BAEL 91)**

**Domaine d'application de la méthode Forfaitaire BAEL99 (Art. B.6.2.10)**

Pour déterminer les moments en appui et en travée, il est possible d'utiliser la méthode Forfaitaire si les quatre conditions suivantes sont vérifiées :

- D'après le BAEL91 la surcharge Q est au plus égale à min (2G ; 5 KN/m<sup>2</sup>).
- Le rapport entre deux travées successives :  $\frac{l_i}{l_{i+1}} \in [0,8;1,25]$ .
- Le moment d'inertie constant sur toutes les travées.
- Fissuration peu nuisible (FPN).



**Application de la méthode**

**Moments aux appuis de rives**

Les moments sur les appuis de rives sont nuls, toutefois le BAEL91/99 préconise de Mettre des aciers de fissuration équilibrant un moment fictif égal à :  $-0.15M_0$ .

$M_0$  : Valeur maximale du moment isostatique ( $M_0 = \frac{q \cdot l^2}{8}$ )

**Moments aux appuis intermédiaires**

La valeur absolue de chaque moment sur appui intermédiaire doit être au moins égale à :

- 0.6M<sub>0</sub> : Pour une poutre à deux travées.
- 0.5M<sub>0</sub> : Pour les appuis voisins des appuis de rives d'une poutre à plus de deux travées.
- 0.4M<sub>0</sub> : Pour les autres appuis intermédiaires d'une poutre à plus de trois travées.

**Moments en travée**

La valeur des moments en travée sont déterminées à partir des deux conditions suivantes :

$$\begin{aligned}
 &1- M_t = \frac{|M_d| + |M_g|}{2} \geq \max \begin{cases} (1+0,3\alpha)M_0 \\ 1,05M_0 \end{cases} \\
 &2- M_t \geq (1 + 0,3\alpha) \frac{M_0}{2} \rightarrow \begin{cases} \text{Pour une travée intermédiaire} \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$M_t \geq (1.2 + 0,3\alpha) \frac{M_0}{2} \rightarrow \text{Pour une travée de rive}$$

Avec :

$$M_{t=} = \max(1; 2)$$

$$\alpha : \text{degré de surcharge} \rightarrow \alpha = \left( \frac{Q}{G+Q} \right)$$

### Evaluation des efforts tranchants

Les efforts tranchants sont évalués :

Soit forfaitairement en supposant la discontinuité entre les travées, dans ce cas

Les efforts tranchants hyperstatiques sont confondus même avec les efforts

Tranchants isostatiques sauf pour les appuis voisins de rives où l'on tient

Compte des moments de continuité en majorant l'effort tranchant isostatique  $V_0$

De :

- 15% : Si c'est une poutre à deux travées
- 10% : Si c'est une poutre à plus de deux travées

$$\text{Avec : } V_0 = \frac{q \cdot l_i}{2}$$

- Soit par la méthode RDM en tenant compte de la continuité :

$$V_u = V_0 + \frac{(M_i - M_{i-1})}{l_i}$$

### b) Méthode de Caquot (Annexe E.2 du BAEL 91)

#### Domaine d'application de la méthode de Caquot

- Si la 1<sup>ère</sup> Condition de la méthode forfaitaire n'est pas vérifiée, On applique la Méthode de Caquot.

- Si l'une des trois conditions restantes n'est pas vérifiée, on applique la méthode de Caquot minorée qui consiste à minorer la charge permanente G avec un

Coefficient  $\frac{2}{3}$  pour le calcul des moments aux appuis seulement.

Son principe repose sur la méthode des trois moments simplifiée et corrigée pour tenir

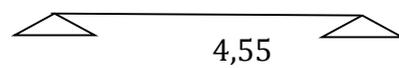
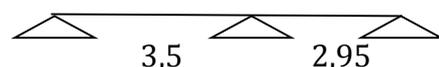
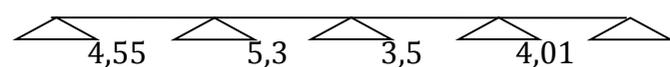
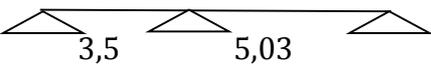
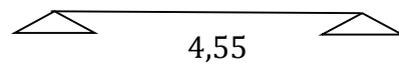
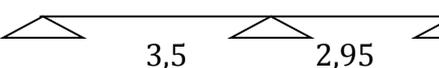
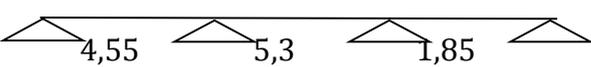
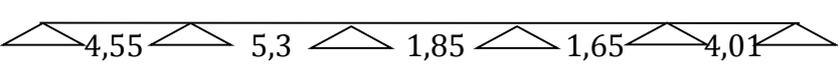
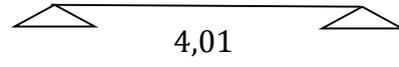
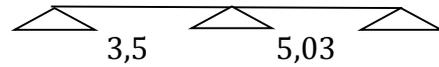
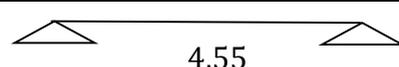
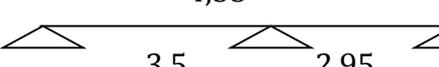
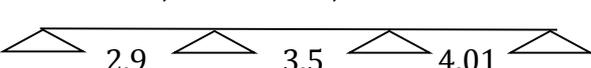
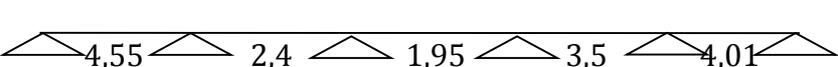
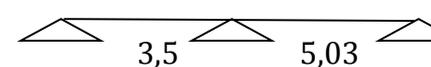
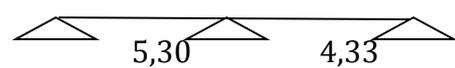
Compte de :

- La variation des moments d'inerties des sections transversales le long de la ligne Moyenne de la poutre.
- L'amortissement des efforts de chargement des travées successives.

### II-2-2 : Les différents types de poutrelles des planchers

Pour le plancher à corps creux le calcul se fera pour les poutrelles et la dalle de compression.

Tableau II-18 : les différents types des poutrelles

| Niveau   | Types | Schéma statique  |
|--|-------|--|
| <b>RDC -ETAGE COURANT +TERRASSE ACCESSIBLE</b> | (01)  |     |
|  | (02)  |     |
|  | (03)  |    |
|  | (04)  |     |
| <b>ETAGE 01</b>                                | (01)  |     |
|  | (02)  |     |
|  | (03)  |    |
|  | (04)  |   |
|  | (05)  |   |
|  | (06)  |   |
| <b>ETAGE 10 (2ème NIVEAU DUPLEXE)</b>          | (01)  |   |
|  | (02)  |   |
|  | (03)  |  |
|  | (04)  |  |
|  | (05)  |   |
| <b>Toiture</b>                                 | (01)  |  |

• Calcul des charges revenant aux poutrelles

$$\begin{cases} \text{ELU} : P_u = 1.35 \times G + 1.5 \times Q \\ \text{ELS} : P_s = G + Q \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} q_u = 0,65 \times P_u \\ q_s = 0,65 \times P_s \end{cases}$$

Les résultats de calculs à L'ELU et à L'ELS sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II-19** : les résultats de calcul à L'ELU et à L'ELS

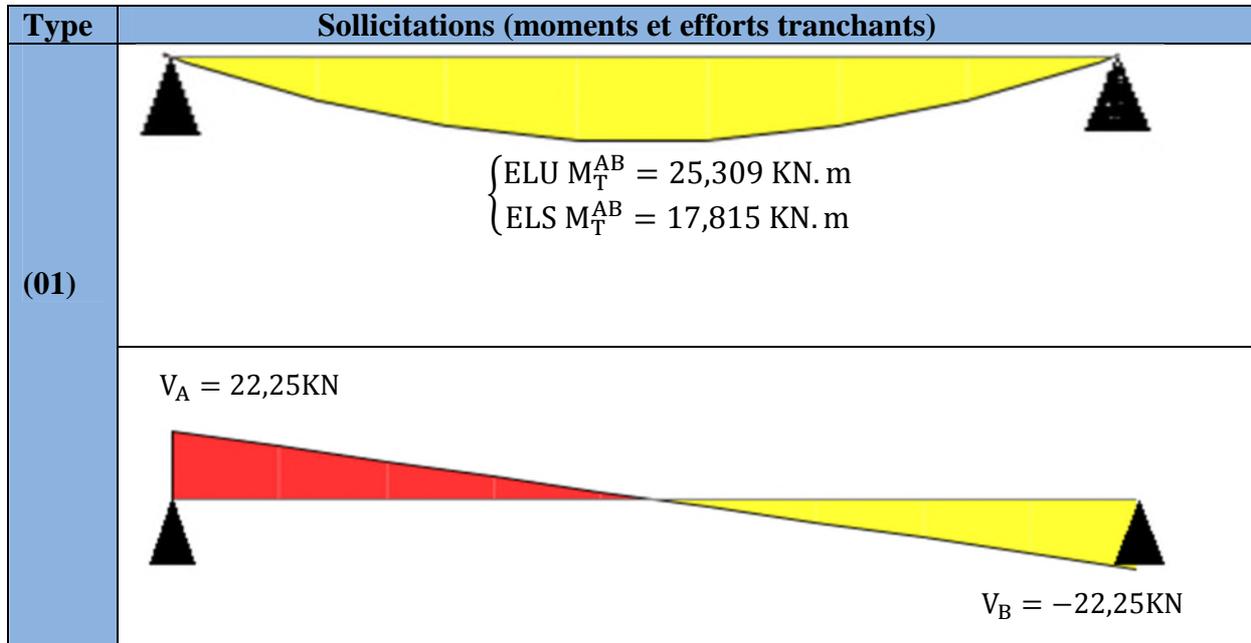
| Désignation         | G (KN/m <sup>2</sup> ) | Q(KN/m <sup>2</sup> ) | ELU                                    |                           | ELS                                    |                           |
|---------------------|------------------------|-----------------------|--|---------------------------|--|---------------------------|
|                     |                        |                       | p <sub>u</sub><br>(KN/m <sup>2</sup> ) | q <sub>u</sub><br>(KN/ml) | p <sub>s</sub><br>(KN/m <sup>2</sup> ) | q <sub>s</sub><br>(KN/ml) |
| Terrasse accessible | 7,01                   | 1,5                   | 11.71                                  | 7,61                      | 8.51                                   | 5.53                      |
| Etage courant       | 5.59                   | 1.5                   | 9.79                                   | 6.37                      | 7.09                                   | 4.61                      |
| RDC                 | 5.95                   | 5                     | 15.04                                  | 9.78                      | 10.59                                  | 6.88                      |
| toiture             | 4,27                   | 1                     | 8,64                                   | 5,62                      | 5,27                                   | 3,42                      |

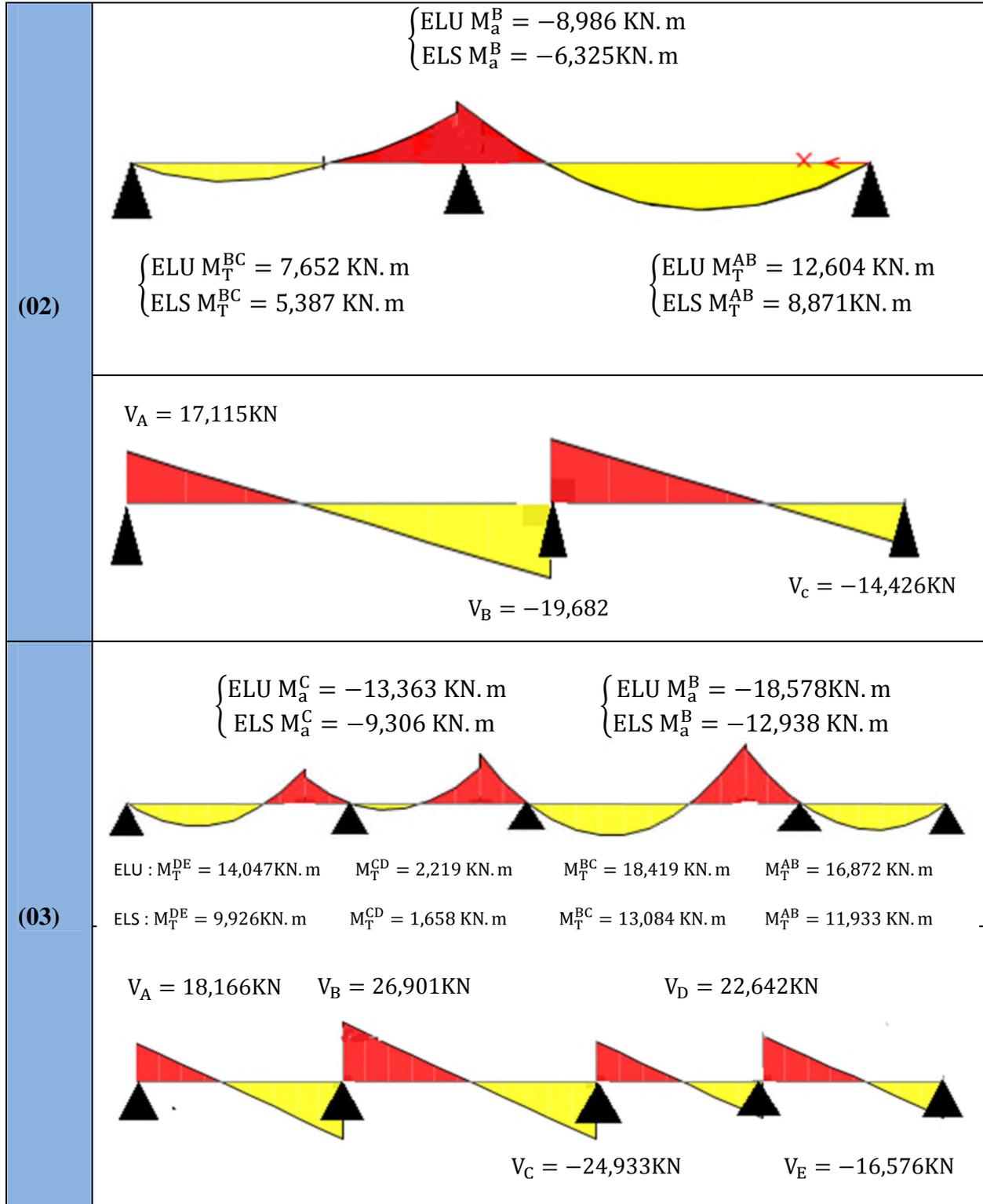
**II-2-3 : Calcul des sollicitations maximales**

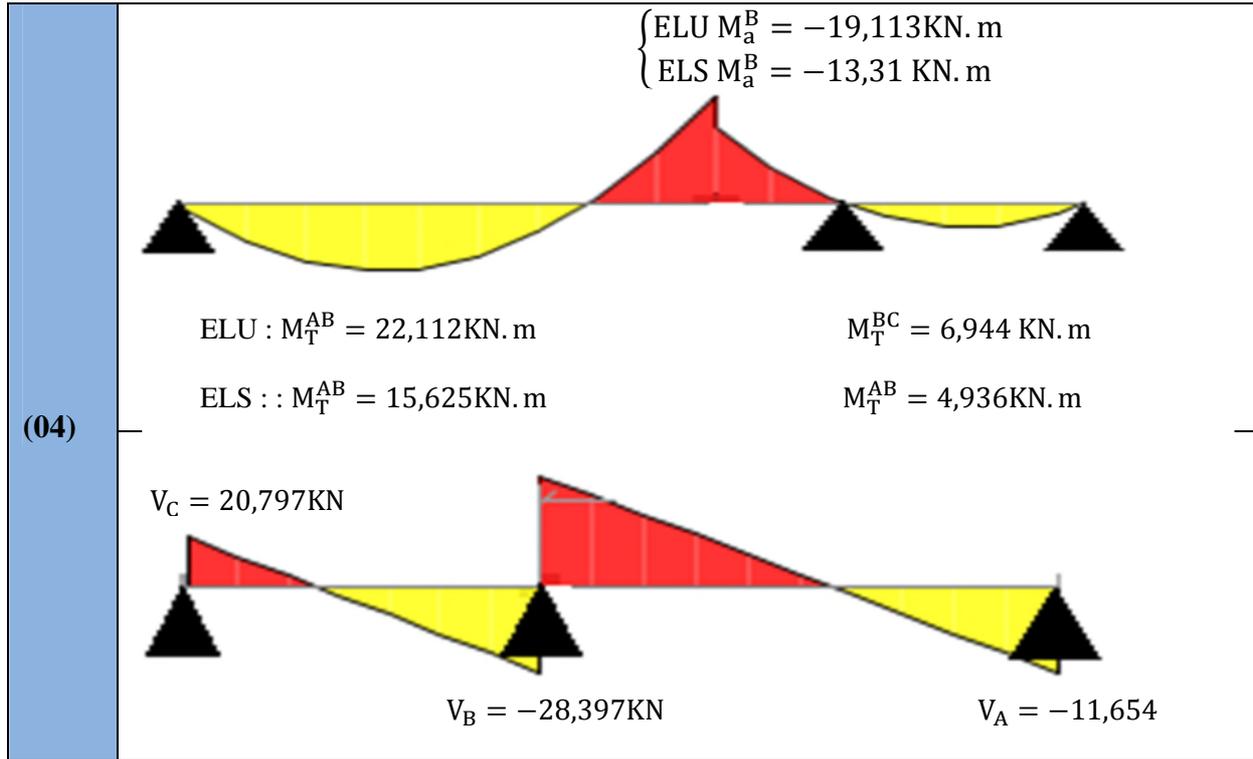
Les poutrelles sont calculées à la flexion simple comme des poutres continues, le calcul exposé se fera pour les plus défavorables.

- **Calcul des sollicitations**  
**Poutrelle du plancher RDC**

**Tableau II-20** : les résultats des sollicitations dans les différents types de poutrelle







✓ Pour la poutrelle de type (04)

Vérification des conditions d'application de la méthode forfaitaire

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = 5 \text{ kN/m}^2 \leq [2G = 11,18 \text{ kN}; 5 \text{ kN}]. \text{ C'est vérifié.} \\ 0,8 \leq \min \frac{l_0}{l_{i+1}} \leq 1,25 \rightarrow 0,69 \notin [0,85 ; 1,25]. \text{ Ce n'est pas vérifié.} \\ \text{FPN.} \\ I = \text{constant.} \end{array} \right.$$

L'une des conditions n'est pas vérifiée on ne peut pas appliquer la méthode forfaitaire. Pour ce calcul, c'est la méthode de Caquot qui sera utilisée.

La méthode de Caquot nécessite la minoration de la charge permanente G

$$G' = \frac{2}{3}(G) = 3,72 \text{ kN/m}^2.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} q_u' = (1,35G' + 1,5Q) l_0 = 8,14 \text{ kN/ml.} \\ q_s' = (G' + Q) l_0 = 5,67 \text{ kN/ml.} \end{array} \right.$$

Tableau des diagrammes des efforts internes max dans les différents types de poutrelles de l'étage RDC

**Tableau II-21 : des sollicitations max dans les différents types de poutrelles de l'étage RDC**

| <b>Etage : RDC</b>        | <b>Etat limite Ultime (ELU)</b> |                              |                               |           | <b>Etat limite de Service (ELS)</b> |                              |                               |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Type de poutrelles</b> | Mmt en Travée (KN.m)            | Mmt en Appuis Interm. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) | Vmax (KN) | Mmt en Travée (KN.m)                | Mmt en Appuis Interm. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) |
| <b>(01)</b>               | 25,309                          | /                            | -3,79                         | 22,25     | 17,815                              | /                            | -2,67                         |
| <b>(02)</b>               | 12,604                          | -8,986                       | -2,24                         | -19,682   | 8,871                               | -6,325                       | -1,58                         |
| <b>(03)</b>               | 18,419                          | -18,578                      | -3,16                         | 26,901    | 13,084                              | -12,938                      | -2,2                          |
| <b>(04)</b>               | 22,112                          | -19,113                      | -3,86                         | 28,397    | 15,625                              | -13,31                       | -2,69                         |

**Tableau II-22 : des sollicitations max dans les différents types de poutrelles de l'étage 01**

| <b>Etage : 01</b>         | <b>Etat limite Ultime (ELU)</b> |                              |                               |           | <b>Etat limite de Service (ELS)</b> |                              |                               |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Type de poutrelles</b> | Mmt en Travée (KN.m)            | Mmt en Appuis Interm. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) | Vmax (KN) | Mmt en Travée (KN.m)                | Mmt en Appuis Interm. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) |
| <b>(01)</b>               | 16,479                          | /                            | -2,17                         | 14,487    | 11,927                              | /                            | -1,78                         |
| <b>(02)</b>               | 7,446                           | -5,851                       | -1,46                         | -12,816   | 5,389                               | -4,235                       | -1,05                         |
| <b>(03)</b>               | 13,217                          | -10,79                       | -1,83                         | 17,48     | 8,36                                | -7,748                       | -1,31                         |
| <b>(04)</b>               | 13,12                           | -10,79                       | -1,83                         | 17,45     | 9,55                                | -7,748                       | -1,31                         |
| <b>(05)</b>               | 12,8                            | /                            | -1,91                         | 12,76     | 9,26                                | /                            | -1,38                         |
| <b>(06)</b>               | 14,96                           | -11,106                      | -2,24                         | 18,223    | 10,86                               | -7,97                        | -1,61                         |

**Tableau II-23 : des sollicitations max dans les différents types de poutrelles de l'étage courant**

| <b>Etage : courant</b>    | <b>Etat limite Ultime (ELU)</b> |                              |                               |           | <b>Etat limite de Service (ELS)</b> |                              |                               |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Type de poutrelles</b> | Mmt en Travée (KN.m)            | Mmt en Appuis Interm. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) | Vmax (KN) | Mmt en Travée (KN.m)                | Mmt en Appuis Interm. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) |
| <b>(01)</b>               | 16,479                          | /                            | -2,17                         | 14,487    | 11,927                              | /                            | -1,78                         |
| <b>(02)</b>               | 7,446                           | -5,851                       | -1,46                         | -12,816   | 5,389                               | -4,235                       | -1,05                         |
| <b>(03)</b>               | 13,105                          | -10,796                      | -1,83                         | 17,447    | 9,541                               | -7,748                       | -1,31                         |
| <b>(04)</b>               | 14,969                          | -11,106                      | -2,24                         | 18,223    | 10,863                              | -7,971                       | -1,61                         |

**Tableau II-24 : les sollicitations max dans les différents types de poutrelles de l'étage 10**

| <b>Etage : 10</b>         | <b>Etat limite Ultime (ELU)</b> |                              |                               |           | <b>Etat limite de Service (ELS)</b> |                              |                               |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|-------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| <b>Type de poutrelles</b> | Mmt en Travée (KN.m)            | Mmt en Appuis Interm. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) | Vmax (KN) | Mmt en Travée (KN.m)                | Mmt en Appuis Interm. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) |
| <b>(01)</b>               | 16,479                          | /                            | -2,17                         | 14,487    | 11,927                              | /                            | -1,78                         |
| <b>(02)</b>               | 7,446                           | -5,851                       | -1,46                         | -12,816   | 5,389                               | -4,235                       | -1,05                         |
| <b>(03)</b>               | 13,105                          | -10,796                      | -1,83                         | 17,447    | 9,541                               | -7,748                       | -1,31                         |
| <b>(04)</b>               | 14,969                          | -11,106                      | -2,24                         | 18,223    | 10,863                              | -7,971                       | -1,61                         |

## Chapitre II : pré dimensionnement et calcul des éléments secondaires

|      |        |         |       |         |        |        |       |
|------|--------|---------|-------|---------|--------|--------|-------|
| (01) | 16,479 | /       | -2,17 | 14,487  | 11,927 | /      | -1,78 |
| (02) | 7,446  | -5,851  | -1,46 | -12,816 | 5,389  | -4,235 | -1,05 |
| (03) | 10,414 | -6,4    | -9,91 | 14,045  | 7,537  | -4,632 | -1,38 |
| (04) | 12,409 | -8,716  | -1,83 | -16,403 | 9,004  | -6,256 | -1,31 |
| (05) | 14,969 | -11,106 | -2,24 | 18,223  | 10,863 | -7,971 | -1,61 |

**Tableau II-25** : les sollicitations max dans les différents types de poutrelles de la terrasse accessible

| Terrasse accessible<br>Type de poutrelles | Etat limite Ultime (ELU) |                              |                               |           | Etat limite de Service (ELS) |                              |                               |
|---|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|   | Mmt en Travée (KN.m)     | Mmt en Appuis Intern. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) | Vmax (KN) | Mmt en Travée (KN.m)         | Mmt en Appuis Intern. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) |
| (01)                                      | 19,704                   | /                            | -2,95                         | 17,322    | 14,316                       | /                            | -2,14                         |
| (02)                                      | 8,777                    | -6,995                       | -1,74                         | -15,323   | 6,377                        | -5,083                       | -1,27                         |
| (03)                                      | 15,856                   | -12,689                      | -2,15                         | 20,849    | 11,577                       | -9,153                       | -1,55                         |
| (04)                                      | 17,995                   | -13,054                      | -2,63                         | 21,744    | 13,104                       | -9,417                       | -1,90                         |

**Tableau II-26** : les sollicitations max dans les différents types de poutrelles de la toiture

| Etage : toiture<br>Type de poutrelles | Etat limite Ultime (ELU) |                              |                               |           | Etat limite de Service (ELS) |                              |                               |
|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                                       | Mmt en Travée (KN.m)     | Mmt en Appuis Intern. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) | Vmax (KN) | Mmt en Travée (KN.m)         | Mmt en Appuis Intern. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) |
| (01)                                  | 12,487                   | -9,893                       | -2,473                        | 14,311    | 9,057                        | -7,175                       | -1,794                        |

### II-2-4 : Sollicitation maximales pour les différents niveaux

Le tableau ci-dessous résume les sollicitations maximales dans les différents niveaux :  
Tableau des sollicitations maximales pour les différents planchers

**Tableau II-27** : les sollicitations maximales dans les différents niveaux

| Type de plancher    | Etat limite Ultime (ELU) |                              |                               |           | Etat limite de Service (ELS) |                              |                               |
|---------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                     | Mmt en Travée (KN.m)     | Mmt en Appuis Intern. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) | Vmax (KN) | Mmt en Travée (KN.m)         | Mmt en Appuis Intern. (KN.m) | Mmt en Appuis de rives (KN.m) |
| RDC                 | 25,309                   | -19,113                      | 3,86                          | 28,397    | 17,815                       | -13,31                       | 2,69                          |
| Etage courant       | 16,479                   | -11,106                      | -2,24                         | 18,223    | 11,927                       | -7,971                       | -1,78                         |
| Terrasse accessible | 19,704                   | -13,054                      | -2,95                         | 21,744    | 14,316                       | -9,417                       | -2,14                         |
| Toiture             | 12,487                   | -9,893                       | -2,473                        | 14,311    | 9,057                        | -7,175                       | -1,794                        |

**II-2-5 : Ferrailage des poutrelles**

Le calcul de ferrailage des poutrelles se fait pour une section en T soumise à la flexion simple avec les sollicitations maximales.

On prend comme exemple les sollicitations maximales du plancher étage RDC :

$$ELU \begin{cases} M_t^u = 25,309 \text{ KN.m} \\ M_a^{int} = -19,113 \text{ KN.m} \\ M_a^{rive} = -3,86 \text{ KN.m} \end{cases} \quad ELS \begin{cases} M_t^s = 17,815 \text{ KN.m} \\ M_a^{int} = -13,31 \text{ KN.m} \\ M_a^{rive} = -2,69 \text{ KN.m} \end{cases} \quad V_{max} = 28,397 \text{ KN}$$

- Les caractéristiques de la poutrelle sont

$$\begin{cases} b = 48 \text{ cm} \\ h = 24 \text{ cm} \\ b_0 = 12 \text{ cm} \end{cases} \quad \begin{cases} d = 22 \text{ cm} \\ d' = 2 \text{ cm} \\ h_0 = 4 \text{ cm} \end{cases} \quad \begin{cases} f_{c28} = 48 \text{ MPa} \\ f_{t28} = 24 \text{ MPa} \\ f_{bu} = 12 \text{ MPa} \end{cases}$$

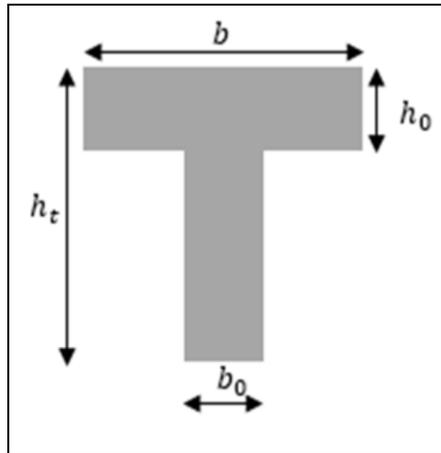


Figure II-17 : coupe transversale d'une poutrelle

**II-2-5-1 : Calcul à l'ELU**

- Armatures longitudinales

En travée

Calcul du moment équilibré par la table de compression  $M_{tu}$

$$M_{tu} = b \times h_0 \times f_{bu} \left( d - \frac{h_0}{2} \right) \Rightarrow M_{tu} = 0,48 \times 0,04 \times 14,2 \left( 0,22 - \frac{0,04}{2} \right) \\ \Rightarrow M_{tu} = 54,528 \text{ KN.m} > M_t = 25,309 \text{ KN.m}$$

L'axe neutre se trouve dans la table de compression (la table est partiellement comprimée) Le calcul se fera pour une section rectangulaire (b×h).

$$\mu_{bu} = \frac{M_t}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{25,309 \times 10^{-3}}{0,48 \times 0,22^2 \times 14,2} = 0,0767 < 0,186 \Rightarrow \text{pivot A} \Rightarrow A' = 0 \\ \Rightarrow \text{Les armatures dans la zone comprimée ne sont pas nécessaires.}$$

$$\Rightarrow f_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 348 \text{MPa}$$

$$\alpha = \frac{1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}}}{0,8} = 0,0998 \quad z = d(1 - 0,4\alpha) \Rightarrow 0,211 \text{m} \quad A_t = \frac{M_t}{z \times f_{st}} = 3,44 \text{cm}^2 .$$

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

$$A_t^{\min} = \frac{0,23 \times b \times d \times f_{t28}}{f_e} = 1,27 \text{cm}^2 < A_t^{\text{calculée}} \quad \text{CBA93 (Art A.4.2.1)}$$

- **En appuis**

- ✓ **Appuis intermédiaire**

Au niveau des appuis les moments sont négatifs, donc le calcul se fera pour une section rectangulaire ( $b_0 \times h$ ).

$$\mu_{bu} = \frac{M_a^{\text{int}}}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{19,113 \times 10^{-3}}{0,12 \times 0,22^2 \times 14,2} = 0,231 > 0,186 \Rightarrow \text{pivot B}$$

$$\mu_l = 0,8 a_l (1 - 0,4 a_l) \quad a_l = \frac{3,5}{3,5 + 1000 \varepsilon_l} \quad \varepsilon_l = \frac{f_e}{\gamma_s E_s} = 1,739 \times 10^{-3}$$

$$a_l = 0,334 \Rightarrow \mu_l = 0,391 > 0,231 \Rightarrow A' = 0.$$

Les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 0,334 \quad z = 0,190 \text{m} \quad A_a^{\text{int}} = 2,88 \text{cm}^2$$

**Vérification de la condition de non fragilité**

$$A_a^{\min} = \frac{0,23 \times b_0 \times d \times f_{t28}}{f_e} = 0,31 \text{cm}^2 < A_a^{\text{calculée}}$$

- ✓ **Appuis de rives**

$$\mu_{bu} = \frac{M_a^{\text{rive}}}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{3,86 \times 10^{-3}}{0,12 \times 0,22^2 \times 14,2} = 0,010 < 0,186 \Rightarrow \text{pivot A} \Rightarrow A' = 0$$

- Les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 0,0129 \quad z = 0,218 \text{m} \quad A_a^{\text{rive}} = 0,5 \text{cm}^2$$

**Vérification de la condition de non fragilité**

$$A_a^{\min} = 0,31 \text{cm}^2 < A_a^{\text{calculée}}$$

**Armatures transversales BAEL99 (Art 5.1.2.2)**

$$\phi_t \leq \min(\phi_l^{\min}; \frac{b_0}{10}; \frac{h}{35}) \Rightarrow \phi_t \leq \min(8; 12; 6,85)$$

Soit :  $\phi_t = 8 \text{mm} \Rightarrow$  On adopte un étrier  $\phi_8$  :  $A_{trans} = 2\phi_8 = 1,01 \text{cm}^2$

**Vérification de la poutrelle au cisaillement CBA93 (Art A.5.1.1)**

$$\text{Fissuration peu nuisible} \Rightarrow \bar{\tau} = \min\left(\frac{0,2 f_{c28}}{\gamma_b}; 5 \text{MPa}\right) = 3,33 \text{MPa}$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 \times d} = \frac{28,397 \times 10^{-3}}{0,12 \times 0,22} = 1,075 \text{MPa} \Rightarrow \tau_u = 1,075 \text{MPa} < \bar{\tau} = 3,33 \text{MPa}$$

Pas de risque de rupture par cisaillement.

**Calcul des espacements**

$$S_t \leq \begin{cases} (0,9d; 40\text{cm}) = 19,8\text{cm} \\ \frac{A_t \times 0,8 f_e (\sin \alpha + \cos \alpha)}{b_0 (\tau_u - 0,3 \times K \times f_{t28})} = 214,53\text{cm} \\ \frac{A_t \times f_e}{b_0 \times 0,4} = 298,33\text{cm} \end{cases} \quad \text{Avec } \alpha = 90^\circ \text{ et } K =$$

- 1 } flexion simple  
 } Fissuration peu nuisible  
 } pas de reprise de bétonnage

On adopte :  **$S_t = 15\text{cm}$** .

Choix des armatures opté pour l'étage RDC :

$$\begin{cases} \text{En travée : } 2\text{HA}14 + 1\text{HA}8 = 3,58\text{cm}^2 \\ \text{En Appui intermédiaire : } 2\text{HA}14 = 3,08\text{cm}^2 \\ \text{En Appui de rive : } 1\text{HA}14 = 1,54\text{cm}^2 \end{cases}$$

Les résultats de ferrillages des poutrelles sont résumés dans le tableau :

**Tableau II-28** : Ferrillage des poutrelles de tous les étages

| position                 | Nature           | M      | $\mu_{bu}$ | A      | Z(m)  | $A^{cal}$ | $A_{min}$ | $A_{adopté} (\text{cm}^2)$ |
|--------------------------|------------------|--------|------------|--------|-------|-----------|-----------|----------------------------|
| <b>RDC</b>               | <b>Travée</b>    | 25,309 | 0,0767     | 0,0998 | 0,211 | 3,44      | 1,27      | 2HA14+1HA8=3,58            |
|                          | <b>App (int)</b> | -19,11 | 0,2317     | 0,3344 | 0,196 | 2,88      | 0,31      | 2HA14=3,08                 |
|                          | <b>App(riv)</b>  | -3,86  | 0,0468     | 0,0599 | 0,214 | 0,51      | 0,31      | 1HA14=1,54                 |
| <b>Etage courant</b>     | <b>Travée</b>    | 16,479 | 0,0499     | 0,0640 | 0,214 | 2,20      | 1,27      | 3HA10=2.36                 |
|                          | <b>App (int)</b> | -11,10 | 0,1346     | 0,1815 | 0,204 | 1,56      | 0,31      | 2HA10=1.57                 |
|                          | <b>App(riv)</b>  | -2,24  | 0,0271     | 0,0344 | 0,216 | 0,29      | 0,31      | 1HA10=0.79                 |
| <b>Terras accessible</b> | <b>Travée</b>    | 19,704 | 0,0597     | 0,0770 | 0,213 | 2,65      | 1,27      | 2HA12+1HA8=2.76            |
|                          | <b>App (int)</b> | -13,05 | 0,1582     | 0,2166 | 0,200 | 1,86      | 0,31      | 2HA12=2.36                 |
|                          | <b>App(riv)</b>  | -2,95  | 0,0357     | 0,0455 | 0,215 | 0,39      | 0,31      | 1HA12=1.13                 |
| <b>Toiture</b>           | <b>Travée</b>    | 12,487 | 0,0378     | 0,0482 | 0,215 | 1,66      | 1,27      | 2HA10+1HA8=2,07            |
|                          | <b>App (int)</b> | -9,893 | 0,1199     | 0,1602 | 0,259 | 1,38      | 0,31      | 2HA10=1,57                 |
|                          | <b>App(riv)</b>  | -2,473 | 0,0299     | 0,0380 | 0,216 | 0,32      | 0,31      | 1HA10=0,79                 |

**Vérifications nécessaires**

**Tableau II-29 : Résultats de vérification à l'ELU**

| Niveau                     | Cisaillement<br>$\tau_u < \bar{\tau}_u$<br>(MPa) | Armature longitudinales<br>$A_L$ (cm <sup>2</sup> ) |   | Bielle<br>$V_u \leq 0.267.a.$<br>$b_0.f_{c28}$<br>(KN) | Jonction<br>$\tau_u < \bar{\tau}_u$<br>(MPa) |
|----------------------------|--|---|---|--|--|
|                            |  | Appui rive  | Appui inter   |  |  |
|                            |  | $A_L \geq \gamma_s \times \frac{V_u}{f_e}$          | $A_L \geq \frac{\gamma_s}{f_e} \times (V_u + \frac{M_u}{0.9d})$ |  |  |
| <b>RDC</b>                 | 1,075 < 3,33                                     | 4,62 > 0,81   | 6,66 > -1,95  | 28,397 < 159,598                                       | 1,34 < 3.33                                  |
| <b>Etage courant</b>       | 0,690 < 3,33                                     | 3,15 > 0,523  | 3,93 > -0,108   | 18,223 < 158,598                                       | 0,862 < 3.33                                 |
| <b>Terrasse accessible</b> | 0,823 < 3,33                                     | 3,89 > 0,625  | 5,02 > -0,12  | 21,744 < 158,598                                       | 1,029 < 3.33                                 |
| <b>Toiture</b>             | 0,54 < 3,33                                      | 2,86 > 0,41   | 3,64 > 0,39   | 14,311 < 158,598                                       | 0,677 < 3,33                                 |
| <b>Obs</b>                 | <b>Vérifiée</b>                                  | <b>Vérifiée</b>                                     | <b>Vérifiée</b>   | <b>Vérifiée</b>  | <b>Vérifiée</b>                              |

**II-2-5-2 : Vérification a l'ELS**

- **Etat limite d'ouverture des fissures**

La fissuration est peu nuisible, donc la vérification de la contrainte dans l'acier n'est pas nécessaire.

Les résultats des vérification a l'ELS pour plancher RDC ,terrasse inaccessible et étage courant sont illustré dans le tableau

**Tableau II-30 : Vérification de l'état limite de compression du béton de tous les étages.**

| Niveau                     | Position      | $M_t^s$<br>(KN.m) | $A_s$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Y<br>(cm) | I<br>(m <sup>4</sup> ) | $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | Obs             |
|----------------------------|---------------|-------------------|-----------------------------|-----------|------------------------|---|-----------------|
| <b>RDC</b>                 | <b>Travée</b> | 17,815            | 3,58                        | 5,98      | $1,720 \times 10^{-4}$ | 6,19 < 15                                     | <b>Vérifiée</b> |
|                            | <b>Appuis</b> | -13,31            | 3,08                        | 5,61      | $1,523 \times 10^{-4}$ | 4,90 < 15                                     | <b>Vérifiée</b> |
| <b>Etage courant</b>       | <b>Travée</b> | 11,927            | 2,36                        | 5         | $1,223 \times 10^{-4}$ | 4,87 < 15                                     | <b>Vérifiée</b> |
|                            | <b>Appuis</b> | -7,971            | 1.57                        | 4,18      | $0,864 \times 10^{-4}$ | 3,85 < 15                                     | <b>Vérifiée</b> |
| <b>Terrasse accessible</b> | <b>Travée</b> | 14,316            | 2.76                        | 5,35      | $1,392 \times 10^{-4}$ | 5,49 < 15                                     | <b>Vérifiée</b> |
|                            | <b>Appuis</b> | -9,417            | 2.26                        | 4,91      | $1,179 \times 10^{-4}$ | 3,92 < 15                                     | <b>Vérifiée</b> |

|                |               |        |      |      |                        |             |                 |
|----------------|---------------|--------|------|------|------------------------|-------------|-----------------|
| <b>Toiture</b> | <b>Travée</b> | 9,057  | 2,07 | 4,76 | $1,095 \times 10^{-4}$ | $3,94 < 15$ | <b>Vérifiée</b> |
|                | <b>Appuis</b> | -7,175 | 1,57 | 4,18 | $0,864 \times 10^{-4}$ | $3,47 < 15$ | <b>Vérifiée</b> |

• **Etat limite de déformation**

**Evaluation de la flèche**

Tout élément fléchi doit être vérifié à la déformation. Néanmoins l'article (B.6.5.1) de B.A.E.L et C.B.A93.

Nous dis que si les conditions suivantes sont vérifiées le calcul de la flèche n'est pas nécessaire.

- $$\left\{ \begin{array}{l} 1. \frac{h}{L} \geq \frac{1}{16} \\ 2. \frac{h}{L} \geq \frac{M_t}{10 \times M_0} \\ 3. \frac{A}{b_0 \times d} \leq \frac{4.2}{f_e} \end{array} \right.$$

$\frac{h}{L} = \frac{24}{455} = 0.052 < 0.0625$ . La 1<sup>ère</sup> condition n'est pas satisfaite, la vérification de la flèche est nécessaire.

La flèche totale est définie d'après le BAEL91 comme suit :

$$\Delta f_t = f_{gv} - f_{ji} + f_{pi} - f_{gi}$$

Le tableau ci-dessous résume les résultats des vérifications de l'état limite de déformation (Flèches) obtenus pour les différents planchers Tableau

**Tableau II-31 : récapitulatif des vérifications des flèches des différents niveaux**

| Niveau                   | RDC    | etage courant | t. accessible | Toiture |
|--------------------------|--------|---------------|---------------|---------|
| type de poutrelle        | (01)   | (01)          | (01)          | (01)    |
| L(m)                     | 4,55   | 4,55          | 4,55          | 5,3     |
| $q_j^{ser}$ (KN/m)       | 2,665  | 2,665         | 2,015         | 2,015   |
| $q_g^{ser}$ (KN/m)       | 3,6355 | 3,6355        | 4,5565        | 2,775   |
| $q_p^{ser}$ (KN/m)       | 6,8835 | 4,6085        | 5,5315        | 3,42    |
| $M_j^{ser}$ (KN/m)       | 6,89   | 6,89          | 5,21          | 4,477   |
| $M_g^{ser}$ (KN/m)       | 9,40   | 9,40          | 11,79         | 6,166   |
| $M_p^{ser}$ (KN/m)       | 17,81  | 11,92         | 14,31         | 7,598   |
| $I$ (cm <sup>4</sup> )   | 17203  | 12231         | 13927         | 10954   |
| $I_0$ (cm <sup>4</sup> ) | 32107  | 29433         | 30332         | 28766   |
| $\lambda_i$              | 2,81   | 4,271         | 3,65          | 4,87    |
| $\lambda_v$              | 1,12   | 1,70          | 1,46          | 1,94    |
| $\sigma_{st}^j$ (MPa)    | 96,29  | 143,73        | 93,46         | 105,89  |
| $\sigma_{st}^g$ (MPa)    | 131,36 | 196,07        | 211,35        | 145,83  |

|                               |              |              |              |          |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|----------|
| $\sigma_{st}^p$ (MPa)         | 248,72       | 248,55       | 256,57       | 179,73   |
| $\mu_j$                       | 0,498        | 0,492        | 0,388        | 0,322    |
| $\mu_g$                       | 0,601        | 0,596        | 0,664        | 0,449    |
| $\mu_p$                       | 0,764        | 0,665        | 0,713        | 0,525    |
| $I_f^{ji}$ (cm <sup>4</sup> ) | 14699        | 10434        | 13797        | 12319    |
| $I_f^{g1}$ (cm <sup>4</sup> ) | 13110        | 9124,1       | 9741,4       | 9924,9   |
| $I_f^{p1}$ (cm <sup>4</sup> ) | 11205        | 8425,5       | 9252,8       | 8896,9   |
| $I_f^{gv}$ (cm <sup>4</sup> ) | 21052        | 16033        | 16936        | 15644    |
| $f_{ji}$ (mm)                 | 2,992        | 4,216        | 2,41         | 3,14     |
| $f_{g1}$ (mm)                 | 4,577        | 6,576        | 7,72         | 5,37     |
| $f_{p1}$ (mm)                 | 10,140       | 9,028        | 9,86         | 7,39     |
| $f_{gv}$ (mm)                 | 8,551        | 11,228       | 13,05        | 9,48     |
| $\Delta f_{tot}$ (mm)         | 11,21        | 9,464        | 13,05        | 8,35     |
| $f_{adm}$ (mm)                | 9,1          | 9,1          | 9,1          | 10,3     |
| observation                   | Non vérifiée | Non vérifiée | Non vérifiée | Vérifiée |

**Remarque**

On constate d'après les résultats obtenus, que la condition de flèche n'est pas vérifiée, on opte donc pour une augmentation de la table de compression ( $b = 65cm$ ) et la section de ferrailage en travée des poutrelles dans un premier lieu.

Le tableau ci-dessous résume les résultats des vérifications de l'état limite de déformation (Flèches) obtenus après augmentation

**Tableau II-32** : les résultats des vérifications de l'état limite de déformation (Flèches) obtenus après augmentation

| Niveau       | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $I$ (cm <sup>4</sup> ) | $Y$ (cm) | $\Delta f_i \leq f_{adm}$ |                | observation |
|--------------|--------------------------|------------------------|----------|---------------------------|----------------|-------------|
|              |                          |                        |          | $\Delta f_i$ (mm)         | $f_{adm}$ (mm) |             |
| RDC          | 2HA14+1HA12=4,2<br>1     | 20789                  | 5,63     | 9,05                      | 9,1            | Verifie     |
| E. courant   | 3HA10=3,36               | 12811                  | 4,38     | 8,75                      | 9,1            | Verifie     |
| T.accessible | 2HA14+1HA12=4,2<br>1     | 20789                  | 5,63     | 8,9                       | 9,1            | Verifie     |

Schéma de ferrailage

| Plancher     | Schema de ferrailage           |                         |
|--------------|--------------------------------|-------------------------|
|              | En travée et en appuis de rive | En appuis intermediaire |
| RDC          |                                |                         |
| E .courant   |                                |                         |
| t.accessible |                                |                         |
| toiture      |                                |                         |

Figure II-18 : Schémas de ferrailage des poutrelles

### II-2-6 : Etude de la dalle de compression

Selon le CBA (Art B.6.8.4.2.3)

Barres perpendiculaires aux poutrelles :

$50 \leq \text{entre axe des poutrelles} \leq 80\text{cm}$

Donc :  $A_{\perp} = \frac{4l_0}{f_e}$   $l_0 = 65\text{cm}$   $f_e = 235\text{MPa}$  ; car cet du treillis soudés «RL»

- **Armatures perpendiculaires aux poutrelles**

$$A_{\perp} = \frac{4 \times b}{f_e} = \frac{4 \times 65}{235} = 1,106\text{cm}^2/\text{ml.}$$

- **Armatures parallèles aux poutrelles**

$$A_{//} = \frac{A_{\perp}}{2} = 0,553\text{cm}^2/\text{ml.}$$

Choix des armatures et espacements à adopter :

D'après le CBA les espacements ne doivent pas dépasser :

$S_t \leq 20\text{ cm}$  : Pour les armatures perpendiculaires aux nervures.

$S_t \leq 30\text{ cm}$  : Pour les armatures parallèles aux nervures.

On opte pour un treillis soudé : **TS 5Ø 6 (15×15) cm<sup>2</sup>**

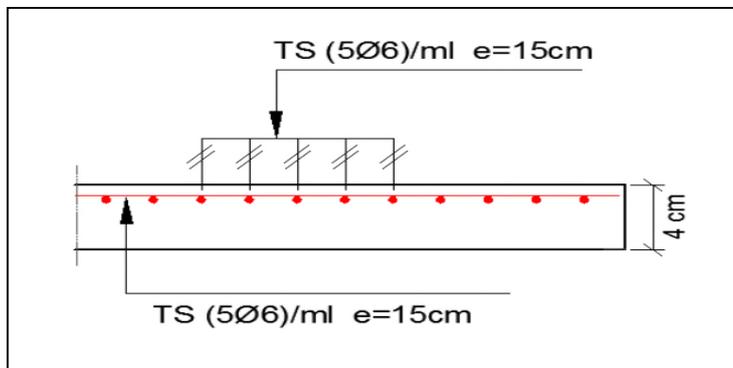


Figure II-19 : Ferrailage de la dalle de compression

### II-3 : planchers à dalles pleines

Pour cette structure, on a quatre types de dalles pleines :

**Type 1** : dalle sur un seul appui (D1)

**Type 2** : dalle sur deux appuis (D2)

**Type 3** : dalle sur 3 appuis (D3)

**Type 4** : dalle sur quatre appuis (D4)

**a- Dalle D4 (4 appuis) (au niveau de l'entresol)**

$$\rho = \frac{l_x}{l_y} = \frac{5}{5} = 1 > 0,4 . \quad \gg$$

Alors la dalle travaille dans les deux sens.

$$G = 3,75 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = 2,5 \text{ KN/m}^2.$$

**Calculs des sollicitations**

**1)- AL'ELU :**

$$q_u = 1,35G + 1,5Q = 1,35 \times 3,75 + 1,5 \times 2,5 = 8,8125 \text{ KN/M} .$$

$$\begin{cases} u_x = 0,0368. \\ u_y = 1. \end{cases}$$

**Calculs des moments :**

$$M_0^x = u_x \times q_u \times l_x^2 \quad \gg \quad 0,0368 \times 8,8125 \times 25 = 8,1075 \text{ KN.M}$$

$$M_0^y = u_y \times M_0^x \quad \gg \quad 1 \times 8,1075 = 8,1075 \text{ KN.M}$$

**Moments corrigés :**

$$M_t^x = 0,75 M_0^x = 0,75 \times 8,1075 = 6,08 \text{ KN.M} \quad M_a^x = M_a^y = -0,5 M_0^x = -0,5 \times 8,1075 = -4,05 \text{ KN.M}$$

$$M_t^y = 0,75 M_0^y = 0,75 \times 8,1075 = 6,08 \text{ KN.M} \quad M_a^y = M_a^x = -0,5 M_0^y = -0,5 \times 8,1075 = -4,05 \text{ KN.M}$$

**2) - AL'ELS:**

$$q_s = G + Q = 3,75 + 2,5 = 6,25 \text{ KN.M}$$

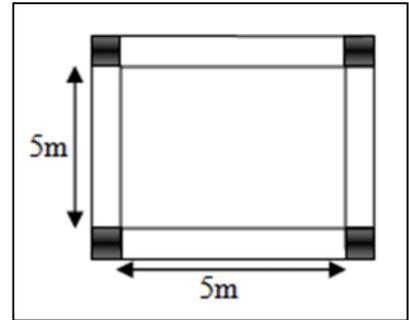
$$\begin{cases} u_x = 0,0368. \\ u_y = 1. \end{cases}$$

**Calculs des moments :**

$$M_0^x = u_x \times q_u \times l_x^2 \quad \gg \quad 0,0441 \times 6,25 \times 25 = 6,89 \text{ KN.M}$$

$$M_0^y = u_y \times M_0^x \quad \gg \quad 1 \times 6,89 = 6,89 \text{ KN.M}$$

**Moments corrigés :**



**Figure II-20 :** dalle sur 4 appuis

$$M_t^x = 0,75 M_0^x = 0,75 \times 6,89 = 5,167 \text{ KN.M} \quad M_a^x = M_a^y = -0,5 M_0^x = -0,5 \times 6,89 = -3,445 \text{ KN.M}$$

$$M_t^y = 0,75 M_0^y = 0,75 \times 6,89 = 5,167 \text{ KN.M} \quad M_a^x = M_a^y = -0,5 M_0^x = -0,5 \times 6,89 = -3,445 \text{ KN.M}$$

**Calcul du ferrailage à l'ELU :**

**Tableau II-33 : ferrailage de la dalle sur 4 appuis**

| Position | Sens | M(KN.M) | $\mu_{bu}$ | $\alpha$ | Z (m) | Acal (cm <sup>2</sup> /ml) | A min (cm <sup>2</sup> /ml) | <b>Achoisit</b> (cm <sup>2</sup> /ml) | St (cm) |
|----------|------|---------|------------|----------|-------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------|
| travée   | x-x  | 6,08    | 0,025      | 0,032    | 0,128 | 1,36                       | 1,20                        | 4HA8=2,01                             | 25      |
|          | y-y  |         |            |          |       |                            |                             |                                       |         |
| appuis   | x-x  | 4,05    | 0,016      | 0,021    | 0,129 | 0,902                      | 1,20                        | 4HA8=2,01                             | 25      |
|          | y-y  |         |            |          |       |                            |                             |                                       |         |

**Vérification à l'ELU :**

**Vérification de l'effort tranchant : (x-x y-y)      $\varphi > 0,4$**

$$V_u^x = \frac{q_u \times l_x}{2} \times \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} = \frac{8,8125 \times 5}{2} \times \frac{5^4}{5^4 + 5^4} = 11,01 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{V_u^x}{b \times d} = \frac{11,01 \times 10^{-3}}{1 \times 0,13} = 0,0847 \text{ MPA} \quad \bar{\tau}_u = \frac{0,07}{\gamma_b} \times f_{c28} = 1,17 \text{ MPA}$$

$\tau_u < \bar{\tau}_u$  ..... Pas de rupture par cisaillement alors les armatures transversales ne sont pas nécessaires.

**Vérification des armatures longitudinales vis-à-vis de l'effort tranchant :**

$$A_s \geq \frac{11,01 \times 10^{-3} \times 1,15}{400} = 0,316 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 2,01 \text{ cm}^2 > 0,316 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots \text{Vérifier}$$

**Vérification à l'ELS :**

La vérification de la contrainte dans le béton :

**Travée :**

$$\text{Sens (x-x y-y) : } A = 2,01 \text{ cm}^2. \quad M_{ser} = 5,167 \times 10^{-3}$$

$$\frac{b}{2} y^2 + 15Ay - 15Ad = 0 \quad \gg \quad y = 2,51 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b}{3} y^3 + 15A(d - y)^2 \quad \gg \quad I = 3844,81 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \times y = \frac{5,167 \times 10^{-3}}{3844,81 \times 10^{-8}} \times 0,0251 = 3,37 \text{ MPA} < \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPA} \dots\dots \text{pas de risque de fissuration du béton.}$$

**Appuis :**

Sens (x-x y-y) :  $A = 2,01 \text{ cm}^2$        $M_{ser} = 3,445 \times 10^{-3}$

$$\frac{b}{2}y^2 + 15Ay - 15Ad = 0 \quad \gg \quad y = 2,51 \text{ cm}$$

$$I = \frac{b}{3}y^3 + 15A(d - y)^2 \quad \gg \quad I = 3844,81 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} \times y = \frac{3,445 \times 10^{-3}}{3844,81 \times 10^{-8}} \times 0,0251 = 2,248 \text{ MPA} < \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPA} \dots\dots \text{pas de risque de fissuration du béton.}$$

**Etat limite de déformation (Flèche) :**

**Sens (x-y) :**

$$\left\{ \begin{array}{l} 1) - \frac{h_t}{l_x} > \max \left[ \frac{3}{80}; \frac{M_t^x}{20 \times M_0^x} \right] \quad \gg \quad \frac{0,15}{5} = 0,03 < \frac{5,167}{20 \times 6,89} = 0,037 \dots\dots \text{condition non vérifiée.} \\ 2) - \frac{A_s}{b \times d} < \frac{2}{f_e} \quad \gg \quad \frac{2,01}{1000 \times 13} = 0,00154 < \frac{2}{400} = 0,005 \dots \text{condition vérifiée.} \\ 3) - L_x = 5m < 8m \dots\dots \text{condition vérifiée.} \end{array} \right.$$

La 1<sup>ère</sup> condition n'est pas vérifiée donc la vérification de la flèche est nécessaire.

La flèche totale est définie d'après le **BAEL91** comme suit :

$$\Delta ft = fgv - fji + fpi - fg.$$

$$f_{adm} = \frac{l}{500} = \frac{50}{500} = 10 \text{ mm}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} M_{jser} = u_x \times q_{jser} \times l^2 = 2,58 \text{ KN.M} \\ M_{gser} = u_x \times q_{gser} \times l^2 = 2,58 \text{ KN.M} \\ M_{pser} = u_x \times q_{pser} \times l^2 = 4,31 \text{ KN.M} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} Y = 2,58 \text{ cm} \\ I = 3844 \text{ cm}^4 \\ I_0 = 29037 \text{ cm}^4 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{sj} = \frac{M_{jser} \times (d-y)}{I} = 105,84 \text{ MPA} \\ \sigma_{sg} = \frac{M_{gser} \times (d-y)}{I} = 105,84 \text{ MPA} \\ \sigma_{sp} = \frac{M_{pser} \times (d-y)}{I} = 176,41 \text{ MPA} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \lambda_i = \frac{0,05 \times b \times ft_{28}}{(2b + 3b_0) \times \rho} = 13,58 \\ \lambda_v = \frac{2}{5} \lambda_i = 5,43 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu_j = 1 - \frac{1.75 \times ft_{28}}{4 \times \rho \times \sigma_{sj} + ft_{28}} = 0 \\ \mu_g = 1 - \frac{1.75 \times ft_{28}}{4 \times \rho \times \sigma_{sg} + ft_{28}} = 0 \\ \mu_p = 1 - \frac{1.75 \times ft_{28}}{4 \times \rho \times \sigma_{sp} + ft_{28}} = 0 \end{array} \right.$$

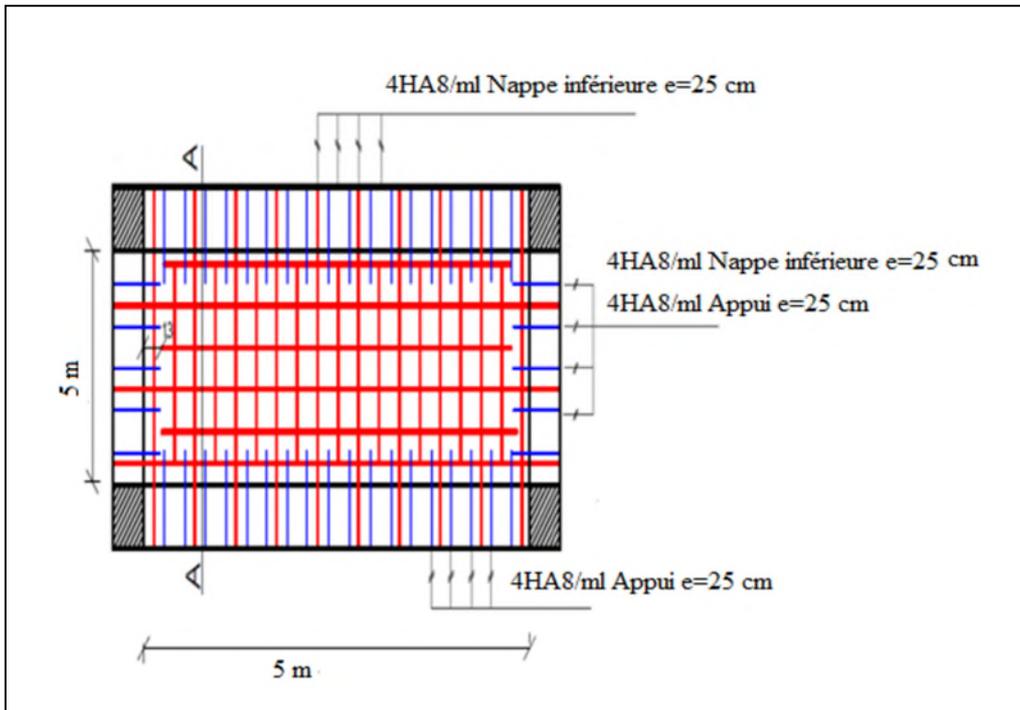
$$\left\{ \begin{array}{l} I_{fij} = \frac{1.1 \times I_0}{1 + \lambda_i \times \mu_j} = 31941 \text{ cm}^4 \\ I_{fig} = \frac{1.1 \times I_0}{1 + \lambda_i \times \mu_g} = 31941 \text{ cm}^4 \\ f_{ij} = \frac{M_j^{ser} \times l^2}{10 \times E_i \times I_{fij}} = 0,623 \text{ mm} \\ f_{ig} = \frac{M_g^{ser} \times l^2}{10 \times E_i \times I_{fig}} = 0,623 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{fip} = \frac{1.1 \times I_0}{1 + \lambda_i \times \mu_p} = 31941 \text{ cm}^4 \\ I_{fvg} = \frac{1.1 \times I_0}{1 + \lambda_v \times \mu_g} = 31941 \text{ cm}^4 \\ f_{ip} = \frac{M_p^{ser} \times l^2}{10 \times E_i \times I_{fip}} = 1,04 \text{ mm} \\ f_{vg} = \frac{M_g^{ser} \times l^2}{10 \times E_v \times I_{fvg}} = 1,87 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$\Delta ft = f_{gv} - f_{ji} + f_{pi} - f_{gi} = 1,66 \text{ mm}$

$\Delta ft = 1,66 \text{ mm} < 10 \text{ mm}$  .....la flèche est vérifiée.

**Schémas de ferrailage de la dalle pleine (D4)**



**Figure II-21** : schémas de ferrailage du panneau (D4)

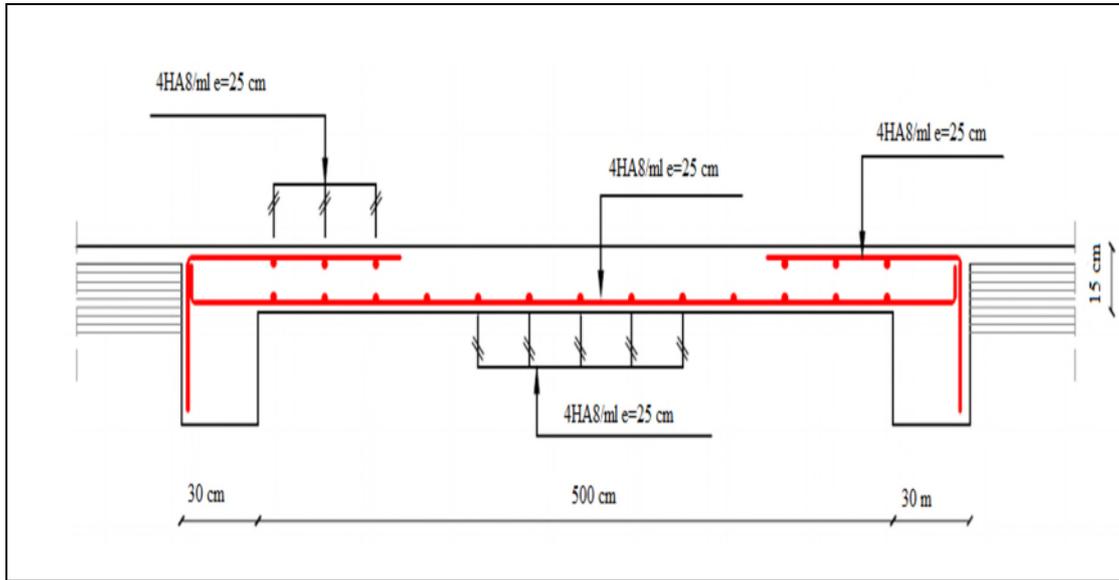


Figure II-22 : coupe A-A du panneau (D4)

b- Dalles (D1, D2, D3)

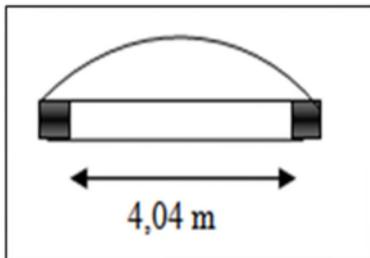


Figure II-23 : dalle sur un seul appui D1

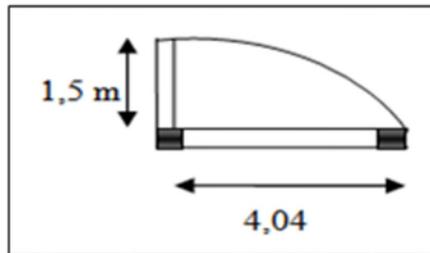


Figure II-24 : dalle sur deux appuis D2

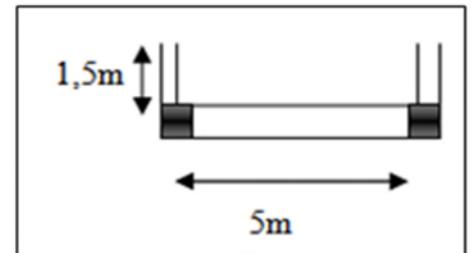


Figure II-25: dalle sur trois appuis D3

Tableau II-34 : donnée des dalles pleines D1, D2, D3

|           | $L_x$ | $L_y$ | $\rho$ | G    | Q   | $\gamma_{mur}$ | $P_{mur}$ |
|-----------|-------|-------|--------|------|-----|----------------|-----------|
| <b>D1</b> | 1,5   | 4,04  | 0,37   | 5,49 | 3,5 | 2,8            | 2,15      |
| <b>D2</b> | 1,5   | 4,04  | 0,37   | 5,49 | 3,5 | /              | /         |
| <b>D3</b> | 1,5   | 5     | 0,3    | 6,24 | 3,5 | 2,8            | 2,15      |

**Remarque :** Le calcul de la dalle est assimilé à celui d'une console, soumise à la flexion simple supportant à son extrémité une charge concentrée, qui représente la charge du mur garde-corps.

**Evaluation des charges**

**Calcul des sollicitations**

**Tableau II-35** : calcul des sollicitations (D1, D2, D3)

|           | $q_u$ | $q_s$ | $q_u^{mur}$ | $q_s^{mur}$ | $M_u$  | $M_s$  | $V_u$  |
|-----------|-------|-------|-------------|-------------|--------|--------|--------|
| <b>D1</b> | 12,66 | 8,99  | 2,90        | 2,15        | -18,59 | -13,33 | 21,89  |
| <b>D2</b> | 12,66 | 8,99  | /           | /           | -14,24 | -10,11 | 18,99  |
| <b>D3</b> | 13,67 | 9,74  | 2,90        | 2,15        | -19,73 | -14,18 | 23,405 |

**Calcul du ferrailage à L'ELU**

**Tableau II-36** : ferrailage des panneaux (D1, D2, D3)

|           | Position / Sens | M (KN.M) | $\mu_{bu}$ | A      | Z(m)  | Acal (cm <sup>2</sup> /ml) | A min (cm <sup>2</sup> /ml) | <b>Achoisit</b> (cm <sup>2</sup> /ml) | St (cm) |
|-----------|-----------------|----------|------------|--------|-------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---------|
| <b>D1</b> | N.sup (x-x)     | 18,59    | 0,161      | 0,211  | 0,082 | 6,51                       | 1,08                        | 6HA12=6,79                            | 15      |
| <b>D2</b> | N.sup (x-x)     | 14,24    | 0,1238     | 0,1657 | 0,084 | 4,87                       | 1,086                       | 5HA12=5,65                            | 20      |
| <b>D3</b> | N.sup (x-x)     | 19,73    | 0,096      | 0,127  | 0,113 | 4,97                       | 1,449                       | 5HA12=5,65                            | 20      |

**Les armateurs de répartition**

**Tableau II-37** : Les armateurs de répartition des dalles D1, D2, D3

|           | $A_t^x$ | $A_{rép}$ | Choix (cm <sup>2</sup> ) | Espacement |
|-----------|---------|-----------|--------------------------|------------|
| <b>D1</b> | 6,79    | 2,26      | 5HA8=2,51                | 15         |
| <b>D2</b> | 5,65    | 1,88      | 5HA8=2,51                | 20         |
| <b>D3</b> | 5,65    | 1,88      | 5HA8=2,51                | 20         |

**Vérification à l'ELU :**

**Vérification de l'effort tranchant**

**Tableau II-38** : vérification de l'effort tranchant dans les panneaux (D1, D2, D3)

| types     | Sens | $V_u$ (KN) | $\tau_u \leq \bar{\tau}_u$ (MPa) |                | Observations |
|-----------|------|------------|----------------------------------|----------------|--------------|
|           |      |            | $\tau_u$                         | $\bar{\tau}_u$ |              |
| <b>D1</b> | x-x  | 21,89      | 0,243                            | 1,17           | Vérifier     |
| <b>D2</b> | x-x  | 18,99      | 0,211                            | 1,17           | Vérifier     |
| <b>D3</b> | x-x  | 23,405     | 0,195                            | 1,17           | Vérifier     |

**Vérifications à l'ELS**

**Vérification des contraintes**

**Tableau II-39:** Vérification des contraintes

|           | Position/<br>Sens | M <sub>s</sub><br>(KN.m) | Y<br>(cm) | I<br>(cm <sup>4</sup> ) | $\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | Obs      | $\sigma_{st} \leq \overline{\sigma}_{st}$<br>(MPa) | Obs |
|-----------|-------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|--|----------|--|-----|
| <b>D1</b> | N.sup<br>(x-x)    | 13,33                    | 3,38      | 4504,02                 | 10,03<15   | Vérifier | 249,49>201,63                                      | N.V |
| <b>D2</b> | N.sup<br>(x-x)    | 10,11                    | 3,15      | 3942,19                 | 8,07<15  | Vérifier | 225,04>201,63                                      | N.V |
| <b>D3</b> | N.sup<br>(x-x)    | 14,18                    | 3,74      | 7526,07                 | 7,04<15  | Vérifier | 233,44>201,63                                      | N.V |

**Remarque :** Les contraintes de compression dans l'acier sont pas vérifiées, donc le ferrailage sera recalculer à l'ELS.

**Tableau II-40 :** vérification des contraintes à l'ELS (recalculer)

|           | Position     | M <sub>s</sub><br>(KN.m) | $\beta$  | $\alpha$ | A <sub>cal</sub><br>(cm <sup>2</sup> ) | A <sub>adop</sub><br>(cm <sup>2</sup> ) |
|-----------|--------------|--------------------------|----------|----------|--|---|
| <b>D1</b> | N.supérieure | 13,33                    | 0,008161 | 0.606    | 9,20                                   | 6HA14=9,24                              |
| <b>D2</b> | N.supérieure | 10,11                    | 0,00619  | 0,488    | 6,65                                   | 6HA12=6,79                              |
| <b>D3</b> | N.supérieure | 14,18                    | 0,004883 | 0.488    | 6,65                                   | 6HA12=6,79                              |

**Tableau II-41 :** vérification des contraintes à l'ELS (recalculer)

|           | Position/<br>Sens | M <sub>s</sub><br>(KN.m) | Y<br>(cm) | I<br>(cm <sup>4</sup> ) | $\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | Obs   | $\sigma_{st} \leq \overline{\sigma}_{st}$<br>(MPa) | Obs   |
|-----------|-------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|--|-------|--|-------|
| <b>D1</b> | N.sup<br>(x-x)    | 13,33                    | 3,79      | 5576,83                 | 10,03 < 15   | Vérif | 186,79< 201,63                                     | vérif |
| <b>D2</b> | N.sup<br>(x-x)    | 10,11                    | 3,38      | 40504,02                | 7,58< 15   | Vérif | 189,22< 201,63                                     | Vérif |
| <b>D3</b> | N.sup<br>(x-x)    | 14,18                    | 4,02      | 8651,34                 | 6,58 < 15  | Vérif | 196,19< 201,63                                     | vérif |

**Les armateurs de répartition**

**Tableau II-42:** Les armateurs de répartition des dalles D1, D2, D3

|           | $A_s^x$ | $A_{rép}$ | Choix ( $cm^2$ ) | Espacement |
|-----------|---------|-----------|------------------|------------|
| <b>D1</b> | 9,24    | 3,08      | 4HA10=3,04       | 15         |
| <b>D2</b> | 6,79    | 2,26      | 5HA8=2,51        | 20         |
| <b>D3</b> | 5,65    | 1,88      | 5HA8=2,51        | 20         |

**Etats limites de déformation**

**Sens x : (dalle D1)**

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h_t}{l_x} > \max \left[ \frac{3}{80} ; \frac{13,33}{20 \times 13,33} \right] \gg 0,08 > 0,05 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée} \\ \frac{A_s}{b \times d} > \frac{2}{f_e} \gg 0,0102 > 5 \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{condition non vérifiée} \\ L_x = 1,5m < 8m \dots\dots\dots \text{condition vérifiée} \end{array} \right.$$

**Sens x : (dalle D2)**

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h_t}{l_x} > \max \left[ \frac{3}{80} ; \frac{10,11}{20 \times 10,11} \right] \gg 0,08 > 0,05 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée} \\ \frac{A_s}{b \times d} > \frac{2}{f_e} \gg 7,5 \times 10^{-3} > 5 \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{condition non vérifiée} \\ L_x = 1,5m < 8m \dots\dots\dots \text{condition vérifiée} \end{array} \right.$$

**Sens x : (dalle D3)**

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h_t}{l_x} > \max \left[ \frac{3}{80} ; \frac{14,18}{20 \times 14,18} \right] \gg 0,1 > 0,05 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée} \\ \frac{A_s}{b \times d} > \frac{2}{f_e} \gg 7,54 \times 10^{-3} > 5 \times 10^{-3} \dots\dots\dots \text{condition non vérifiée} \\ L_x = 1,5m < 8m \dots\dots\dots \text{condition vérifiée} \end{array} \right.$$

Les 2<sup>ème</sup> conditions n'est pas vérifiées, donc les vérifications de la flèche est nécessaire selon le sens x :

**Tableau II-43 :** vérification de la flèche dans les dalles pleines

|           | $f_{ji}$ (mm) | $f_{gi}$ (mm) | $f_{pi}$ (mm) | $f_{vg}$ (mm) | $\Delta f_{tot}$ (mm) | $f_{adm}$ (mm) | observation |
|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------|----------------|-------------|
| <b>D1</b> | 0,402         | 1,93          | 3,05          | 4,025         | 4,745                 | 6              | vérifiée    |
| <b>D2</b> | 0,73          | 1,24          | 2,57          | 2,63          | 3,23                  | 6              | vérifiée    |
| <b>D3</b> | 0,305         | 0,562         | 1,28          | 1,33          | 1,74                  | 6              | vérifiée    |

Schémas de ferrailage de la dalle pleine (D3)

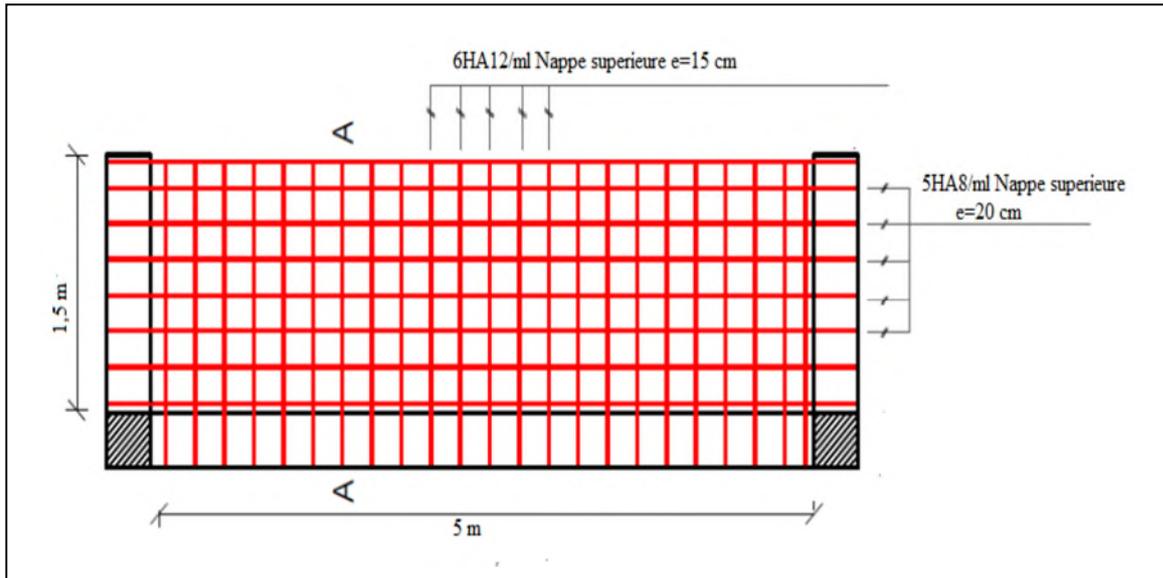


Figure II-26 : schémas de ferrailage du panneau (D3)

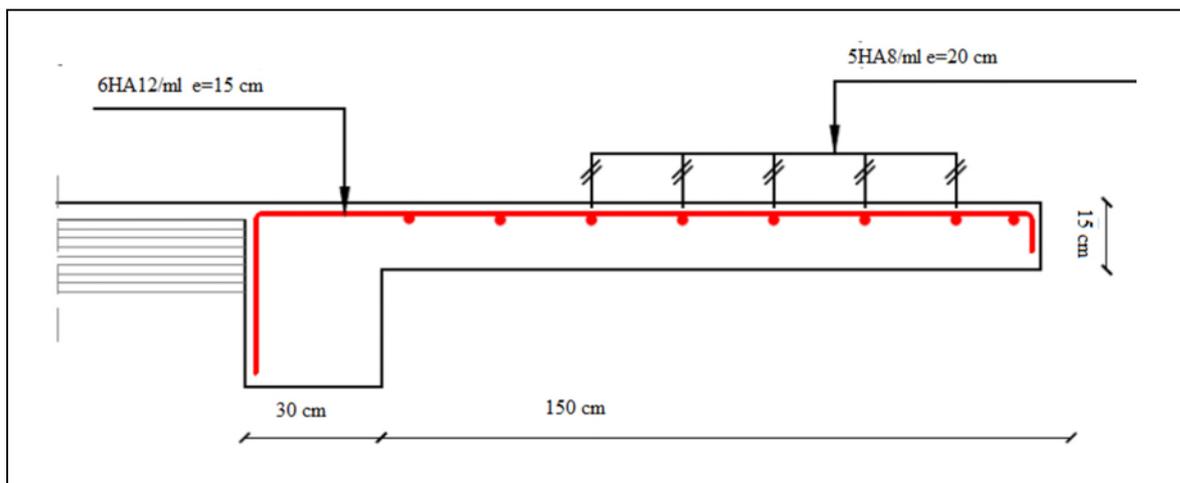


Figure II-27: coupe A-A du panneau (D3)

II-4 : Escaliers

II-4-1 : Etude des escaliers

La volée :  $G=8,22 \text{ KN/m}^2$        $Q=2,5 \text{ KN/m}^2$

le palier :  $G=5,36 \text{ KN/m}^2$        $Q=2,5 \text{ KN/m}^2$

Les combinaisons de charge

ELU :  $q_u = 1,35G + 1,5Q$       ELS :  $q_s = G + Q$

La volée :  $q_u = 1,35(8,22) + 1,5(2,5) = 14,847 \text{ KN/M}$

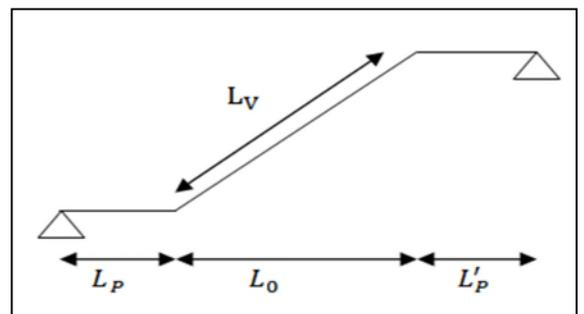
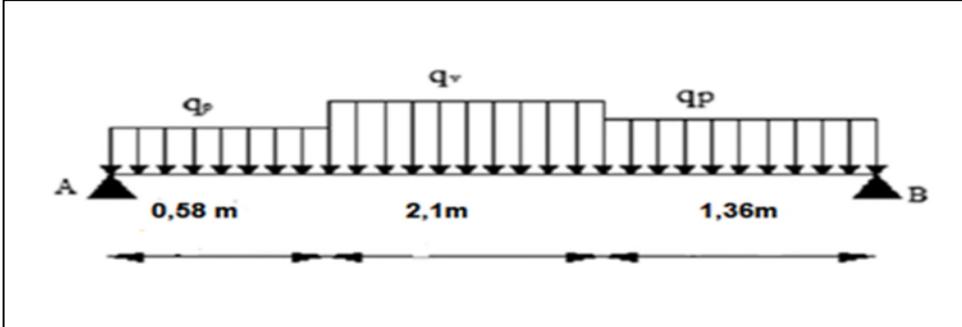


Figure II-28 : schéma d'escalier

$$q_s = 8,22 + 2,5 = 10,72 \text{ KN/M}$$

**Le palier :**  $q_u = 1,35(5,36) + 1,5(2,5) = 10,986 \text{ KN/M}$

$$q_s = 5,36 + 2,5 = 7,86 \text{ KN/M}$$



**Figure II-29:** Schéma statique de l'escalier

**Calcul des réactions**                      Après le calcul RDM on trouve :

**AL'ELU:**  $R_A = 27,02 \text{ KN}$      $R_B = 25,46 \text{ KN}$      $V_{max} = 27,02 \text{ KN}$      $M_{tx} = -28,20 \text{ KN.m}$

**AL'ELS:**  $R_A = 19,46 \text{ KN}$      $R_B = 18,30 \text{ KN}$      $V_{max} = 19,46 \text{ KN}$      $M_{tx} = -20,32 \text{ KN.m}$

**Moment en travée et appui**

**ELU :**  $M_t = 0,85 (28,20) = 23,97 \text{ KN.M}$                       **ELS :**  $M_t = 0,85 (20,32) = 17,272 \text{ KN.M}$

$M_a = 0,5 (28,20) = 14,10 \text{ KN.M}$                                        $M_a = 0,5 (20,32) = 10,16 \text{ KN.M}$

**Ferraillage à L'ELU**

Les résultats de ferraillage sont présentés dans le tableau

**Tableau II-44:** ferraillage l'escalier à l'ELU

|        | M(KN.M) | $\mu_{bu}$ | $\alpha$ | Z     | Acal<br>( $\text{cm}^2/\text{ml}$ ) | A min<br>( $\text{cm}^2/\text{ml}$ ) | <b>Achoisit</b><br>( $\text{cm}^2/\text{ml}$ ) | St<br>(cm) |
|--------|---------|------------|----------|-------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|------------|
| travée | 23,97   | 0,086      | 0,112    | 0,133 | 5,15                                | 1,69                                 | 5HA12=5,65                                     | 20         |
| Appui  | 14,10   | 0,050      | 0,060    | 0,136 | 2,97                                | 1,69                                 | 5HA10=3,93                                     | 20         |

**Espacement des barres**

**a)-Armatures principales**

**En travée :**  $S_t \leq \min (3e ; 33) \text{cm} \gg S_t = 20 \text{ cm.}$

**En appui :**  $S_t \leq \min (3e ; 33) \text{cm} \gg S_t = 20 \text{ cm.}$

**On adopte :** en travée : 5HA12=5,65  $\text{cm}^2$ .

En appui :  $5HA10=3,93 \text{ cm}^2$ .

**b)- armateur secondaire**

**En travée :**  $A_r = \frac{A_t}{4} = \frac{5,65}{4} = 1,41 \text{ cm}^2$ .      On opte 4HA8=  $2,01 \text{ cm}^2$

**En appui :**  $A_r = \frac{A_a}{4} = \frac{3,93}{4} = 0,982 \text{ cm}^2$ .      On opte 4HA8=  $2,01 \text{ cm}^2$

**Vérification à L'ELU**

**Vérification de l'effort tranchant**

Les résultats de cisaillement sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau II-45 : Vérification de l'effort**

| Type     | $V_u(KN)$ | $\tau_u \leq \bar{\tau}_u$ (MPa) |                | Observations |
|----------|-----------|----------------------------------|----------------|--------------|
|          |           | $\tau_u$                         | $\bar{\tau}_u$ |              |
| Escalier | 27,02     | 0,193                            | 1,166          | Vérifiée     |

**Vérification des armatures longitudinales au cisaillement :**

$$A > (v + \frac{M_U}{0,9 \times d}) \times \frac{\gamma_s}{f_e} \gg 5,65 \text{ cm}^2 > -4,69 \text{ cm}^2.$$

**Vérification à L'ELS:**

Les résultats des contraintes sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau II-46 : Vérifications des contraintes à l'ELS**

| Localisation | $M_s$<br>(KN.m) | Y<br>(cm) | I<br>(cm <sup>4</sup> ) | $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | Observation |
|--------------|-----------------|-----------|-------------------------|---|-------------|
| Travée       | 17,272          | 4,09      | 10603,73                | 6,66<15                                       | Vérifiée    |
| Appui        | 10,16           | 3,51      | 7928,81                 | 4,49<15                                       | Vérifiée    |

**Vérification de l'état limite de déformation :**

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h_t}{l_x} > \max \left[ \frac{3}{80} ; \frac{17,272}{20 \times 20,32} \right] \gg 0,039 > 0,085 \dots\dots\dots \text{condition non vérifiée.} \\ A_s > \frac{4,2 \times b \times d}{f_e} \gg 0,000565 > 0,00147 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.} \\ L < 8 m \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.} \end{array} \right.$$

Alors la vérification de la flèche est nécessaire.

**Vérification de la limite de déformation**

**Tableau II-47 : vérification de la flèche de l'escalier**

## Chapitre II : pré dimensionnement et calcul des éléments secondaires

| Sens                  | x-x             |
|-----------------------|-----------------|
| L(m)                  | 4,04            |
| $q_j^{ser}$ (KN/M)    | 4,80            |
| $q_g^{ser}$ (KN/M)    | 8,22            |
| $q_p^{ser}$ (KN/M)    | 10,72           |
| $M_j^{ser}$ KN.M      | 7,95            |
| $M_g^{ser}$ KN.M      | 12,94           |
| $M_p^{ser}$ KN.M      | 17,27           |
| I ( $cm^4$ )          | 106037          |
| Y (m)                 | 4,09            |
| $I_0$ ( $cm^4$ )      | 2163843         |
| $\lambda_i$           | 5,203           |
| $\lambda_v$           | 2,081           |
| $\sigma_{st}^j$ (MPa) | 111,43          |
| $\sigma_{st}^g$ (MPa) | 181,28          |
| $\sigma_{st}^p$ (MPa) | 241,97          |
| $\mu_j$               | 0,057           |
| $\mu_g$               | 0,268           |
| $\mu_p$               | 0,388           |
| $I_f^{ji}$ ( $cm^4$ ) | 183276          |
| $I_f^{gi}$ ( $cm^4$ ) | 99212           |
| $I_f^{pi}$ ( $cm^4$ ) | 78825           |
| $I_f^{vg}$ ( $cm^4$ ) | 152613          |
| $f_{ji}$ (mm)         | 0,218           |
| $f_{gi}$ (mm)         | 0,655           |
| $f_{pi}$ (mm)         | 1,101           |
| $f_{vg}$ (mm)         | 1,279           |
| $\Delta f_{tot}$ (mm) | 1,507           |
| $f_{adm}$ (mm)        | 8,08            |
| <b>Observation</b>    | <b>Vérifiée</b> |

Schémas de ferrailage de l'escalier

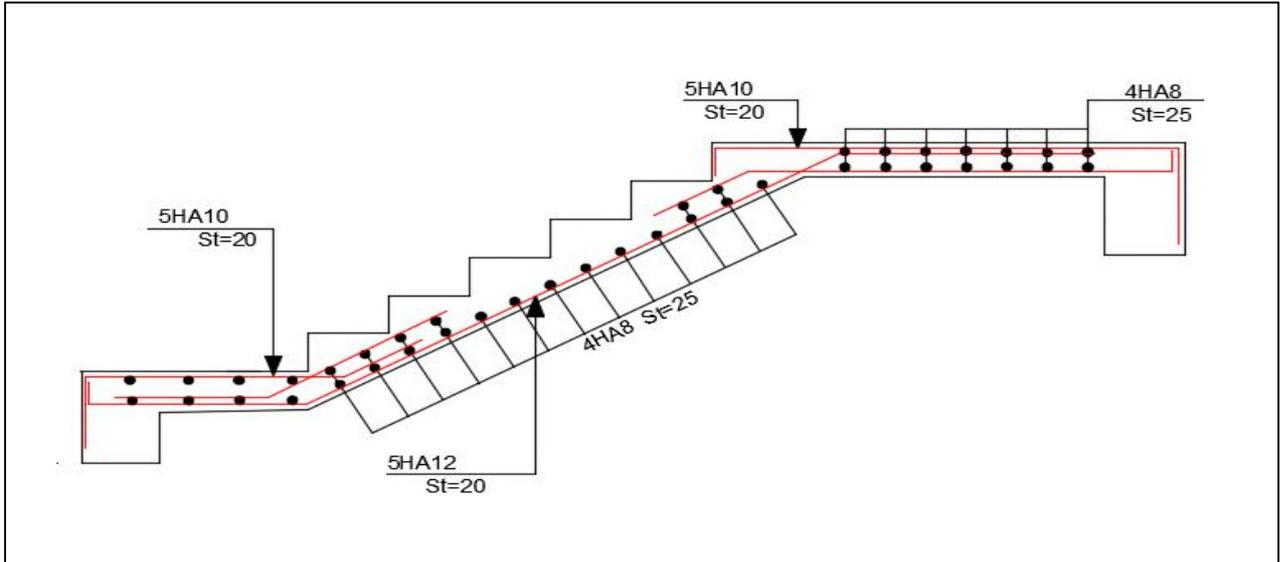


Figure II-30: schémas de ferrailage de l'escalier

II-4-2 : Etude de la poutre palière

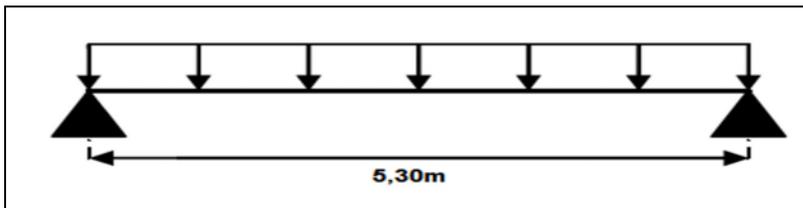


Figure II-31: Schéma statique de la poutre palière

II-4-2-1 : Dimensionnement

D'après la condition de flèche définie par le **BAEL91** :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10} \text{ avec } L = 5,30 \text{ m} \quad \gg \quad 35,33 \text{ cm} \leq h \leq 53$$

$$\begin{cases} h = 40\text{cm} \\ b = 30\text{cm} \end{cases}$$

Vérification des exigences du **RPA99V2003**

$$\begin{cases} h = 40\text{cm} \geq 30\text{cm} \\ b = 30 \geq 30\text{cm} \\ \frac{h}{b} = 1,33 < 4 \end{cases}$$

II-4-2-2 : Calcul de la poutre palière

L'étude de la poutre palière se fera en flexion simple et à la torsion.

### II-4-2-2-1 : Calcul à la flexion simple

#### Calcul des charges

La poutre palière est soumise à :

Son poids propre :  $g_0 = 25 \times 0,4 \times 0,3 = 3 \text{ KN/M}$

Poids du mur :  $P_{mur} = 2,8 \times \left( \frac{2,45}{2} - 0,40 \right) = 2,31 \text{ KN/M}$ .

Charge transmise de la paille :  $ELU : R_b^u = 25,46 \text{ KN}$

$ELS : R_b^s = 18,30 \text{ KN}$

Moment de torsion :  $M_{tor} = M_{a \text{ escalier}} \times \frac{l}{2}$

#### Calcul des sollicitations

$$\left\{ \begin{array}{l} ELU : q_u = 1,35 (g_0 + P_{mur}) + R_b^u = 32,63 \text{ KN/m.} \\ ELS : q_s = g_0 + P_{mur} + R_b^s = 23,61 \text{ KN/m.} \end{array} \right.$$

#### Les moments

##### Travée

$$\left\{ \begin{array}{l} ELU : M_u = \frac{q_u \times l^2}{24} + \frac{32,63 \times 5,30^2}{24} = 38,19 \text{ KN.m} \\ ELS : M_s = \frac{q_s \times l^2}{24} = \frac{23,61 \times 5,3^2}{24} = 27,63 \text{ KN.m} \end{array} \right.$$

##### Appui:

$$\left\{ \begin{array}{l} ELU : M_u = - \frac{q_u \times l^2}{12} = - \frac{32,63 \times 5,30^2}{12} = -76,38 \text{ KN.m} \\ ELS : M_s = - \frac{q_s \times l^2}{12} = \frac{23,61 \times 5,3^2}{12} = -55,26 \text{ KN.m} \end{array} \right.$$

Effort tranchant :  $V_u = \frac{q_u \times l}{2} \Rightarrow V_u = 86,46 \text{ KN}$ .

#### Ferraillage longitudinal à L'ELU

Les résultats de ferraillage longitudinal sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau II-48:** ferrailage de la poutre palière en flexion simple

| Position | M(KN/m) | $\mu_{bu}$ | $\alpha$ | Z(m)  | $A_{cal}$ | $A_{min}(cm^2)$ | $A_{cal} > A_{min}$ |
|----------|---------|------------|----------|-------|-----------|-----------------|---------------------|
| Travée   | 38,19   | 0,062      | 0,080    | 0,367 | 2,98      | 1,37            | Vérifiée            |
| Appui    | -76,37  | 0,124      | 0,166    | 0,354 | 6,18      | 1,37            | Vérifiée            |

**Vérification de la contrainte de cisaillement**

$$\tau_u = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{86,46 \times 10^{-3}}{0,30 \times 0,38} = 0,758 \text{ MPA} < \bar{\tau}_u = \frac{0,2 f_{c28}}{\gamma_b} = 3,33 \text{ MPA}$$

**Armatures transversales**

On fixe  $S_t = 15 \text{ cm}$  en travée et  $S_t = 10 \text{ cm}$  en appuis, et on calcul  $A_{trans}$  :

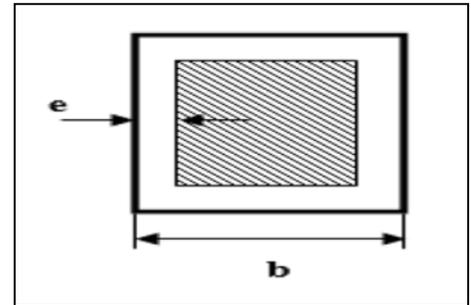
$$\left\{ \begin{array}{l} A_{trans} \geq \frac{0,4 \times b \times S_t}{f_e} = 0,45 \text{ cm}^2 \\ A_{trans} \geq \frac{b \times S_t (\tau_u - 0,3 f_{t28})}{0,9 \times f_e} = 0,16 \text{ cm}^2 \end{array} \right.$$

$A_{trans} = \max(0,45; 0,16)$ , donc on prend  $A_{trans} = 0,45 \text{ cm}^2$

**II-4-2-2-2 : Calcul à la torsion**

**Moment de torsion :**  $M_{tor} = M_{a \text{ escalier}} \times \frac{l}{2} = -37,36 \text{ KN.m}$

$$\left\{ \begin{array}{l} e = \frac{b}{6} = 5 \text{ cm} \\ \Omega = (b - e) \times (h - e) = 875 \text{ cm}^2 \\ U = 2 \times [(b-5) + (h-5)] = 120 \text{ cm} \end{array} \right.$$



**Figure II-32:** Schéma statique de la poutre palière dans le calcul de torsion

**Armatures longitudinales**

$$A_l^{tor} = \frac{M_{tor} \times U \times \gamma_s}{2 \times \Omega \times f_e} = \frac{37,36 \times 10^{-3} \times 1,2 \times 1,15}{2 \times 0,0875 \times 400} = 7,36 \text{ cm}^2$$

**Armatures transversales**

On prend :  $S_t = 15 \text{ cm}$  en travée et  $S_t = 10 \text{ cm}$  en appui

**En travée :**  $A_{tr}^{tor} = \frac{M_t \times S_t \times \gamma_s}{2 \times \Omega \times f_e} = \frac{37,36 \times 10^{-3} \times 0,15 \times 1,15}{2 \times 0,0875 \times 400} = 0,92 \text{ cm}^2$

**En appui :**  $A_{tr}^{tor} = \frac{M_t \times S_t \times \gamma_s}{2 \times \Omega \times f_e} = \frac{37,36 \times 10^{-3} \times 0,10 \times 1,15}{2 \times 0,0875 \times 400} = 0,613 \text{ cm}^2$

**Vérification de la contrainte de cisaillement**

$$\tau_{totale}^{tor} = \frac{M_{tor}}{2 \times \Omega \times e} = \frac{37,36 \times 10^{-3}}{2 \times 0,0875 \times 0,05} = 4,26 \text{ MPA}$$

**On doit vérifier que  $\tau_{totale}^{tor} \leq \bar{\tau}$  :**

$$\tau_{totale}^{tor} \sqrt{\tau^{fs} + \tau^{tor}} = \sqrt{0,758^2 + 4,26^2} = 4,26 \text{ MPA} > \bar{\tau} = 3,33 \text{ MPA}$$

**Il ya risque du rupture par cisaillement.**

Solution : on augment la section de la poutre palière (35×50)

$$g_0 = 25 \times 0,35 \times 0,50 = 4,375 \text{ KN/M}$$

**ELU :**  $q_u = 1,35 (g_0 + P_{mur}) + R_b^u = 34,48 \text{ KN/m.}$

**ELS :**  $q_s = g_0 + P_{mur} + R_b^s = 24,98 \text{ KN/m.}$

**Tableau II-49 :** moments en travée et en appuis

|        | $M_u \text{ (KN.m)}$ | $M_s \text{ (KN.m)}$ |
|--------|----------------------|----------------------|
| Travée | 40,35                | 29,23                |
| Appui  | -80,71               | -58,47               |

**Ferrailage longitudinal à L'ELU**

Les résultats de ferrailage longitudinal sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau II-50 :** ferrailage de la poutre palière en flexion simple

| Position | M(KN/m) | $\mu_{bu}$ | $\alpha$ | Z(m)  | $A_{cal}$ | $A_{min} \text{ (cm}^2\text{)}$ | $A_{cal} > A_{min}$ |
|----------|---------|------------|----------|-------|-----------|---------------------------------|---------------------|
| Travée   | 40,35   | 0,056      | 0,072    | 0,368 | 3,14      | 1,37                            | Vérifiée            |
| Appui    | -80,71  | 0,112      | 0,149    | 0,557 | 6,49      | 1,37                            | Vérifiée            |

**Armatures transversales**

$$A_{trans} \geq \frac{0,4 \times b \times s_t}{f_e} = 0,45 \text{ cm}^2$$

$$A_{trans} \geq \frac{0,35 \times S_t (\tau_u - 0,3 f_{t28})}{0,9 \times f_e} = 0,18 \text{ cm}^2$$

**Calcul à la torsion**

**Tableau II-51 : calcul à la torsion**

| $M_{tor}(KN.m)$ | e (cm) | $\Omega (cm^2)$ | U (cm) |
|-----------------|--------|-----------------|--------|
| 37,36           | 5,83   | 1350            | 150    |

**Armatures longitudinales**

$$A_l^{tor} = \frac{M_{tor} \times U \times \gamma_s}{2 \times \Omega \times f_e} = \frac{37,36 \times 10^{-3} \times 1,5 \times 1,15}{2 \times 0,1350 \times 400} = 5,96 \text{ cm}^2$$

**Armatures transversales**

**On prend :** St =15cm en travée et St =10cm en appui

**En travée :**  $A_{tr}^{tor} = \frac{M_t \times s_t \times \gamma_s}{2 \times \Omega \times f_e} = \frac{37,36 \times 10^{-3} \times 0,15 \times 1,15}{2 \times 0,1350 \times 400} = 0,596 \text{ cm}^2$

**En appui :**  $A_{tr}^{tor} = \frac{M_t \times s_t \times \gamma_s}{2 \times \Omega \times f_e} = \frac{37,36 \times 10^{-3} \times 0,10 \times 1,15}{2 \times 0,1350 \times 400} = 0,397 \text{ cm}^2$

**Vérification de la contrainte de cisaillement**

$$\tau_{totale}^{tor} = \frac{M_{tor}}{2 \times \Omega \times e} = \frac{37,36 \times 10^{-3}}{2 \times 0,1350 \times 0,05} = 2,76 \text{ MPA}$$

**On doit vérifier que  $\tau_{totale}^{tor} \leq \bar{\tau}$  :**

$$\tau_{totale}^{tor} \sqrt{\tau^{fs} + \tau^{tor}} = \sqrt{0,758^2 + 2,76^2} = 2,86 \text{ MPA} < \bar{\tau} = 3,33 \text{ MPA}$$

Pas de risque de rupture par cisaillement.

**Ferraillage globale**

**Armatures longitudinales**

**En travée :**  $A_{st} = F_{trav}^{F.S} + \frac{A_l^{trans}}{2} = 3,14 + \frac{5,96}{2} = 6,12 \text{ cm}^2 \gg 4HA14 = 6,16 \text{ cm}^2$

**En appui :**  $A_{sa} = F_{app}^{F.S} + \frac{A_l^{tor}}{2} = 6,49 + \frac{5,96}{2} = 9,47 \text{ cm}^2 \gg 4HA14 + 2HA16 = 10,18 \text{ cm}^2$

**Armature transversale**

$$A_{trans} = A_{tras}^{F.S} + A_{tran}^{tor} = 0,45 + 0,596 = 1,046 \text{ cm}^2$$

Choix : 1 cadre Ø8 + 1 étrier Ø8 = 2,01 cm<sup>2</sup>

**Vérification à L'ELS**

**Vérification des contraintes**

Les résultats des contraintes sont présentés dans le tableau suivant :

**Tableau II-52 : Vérifications des contraintes à l'ELS**

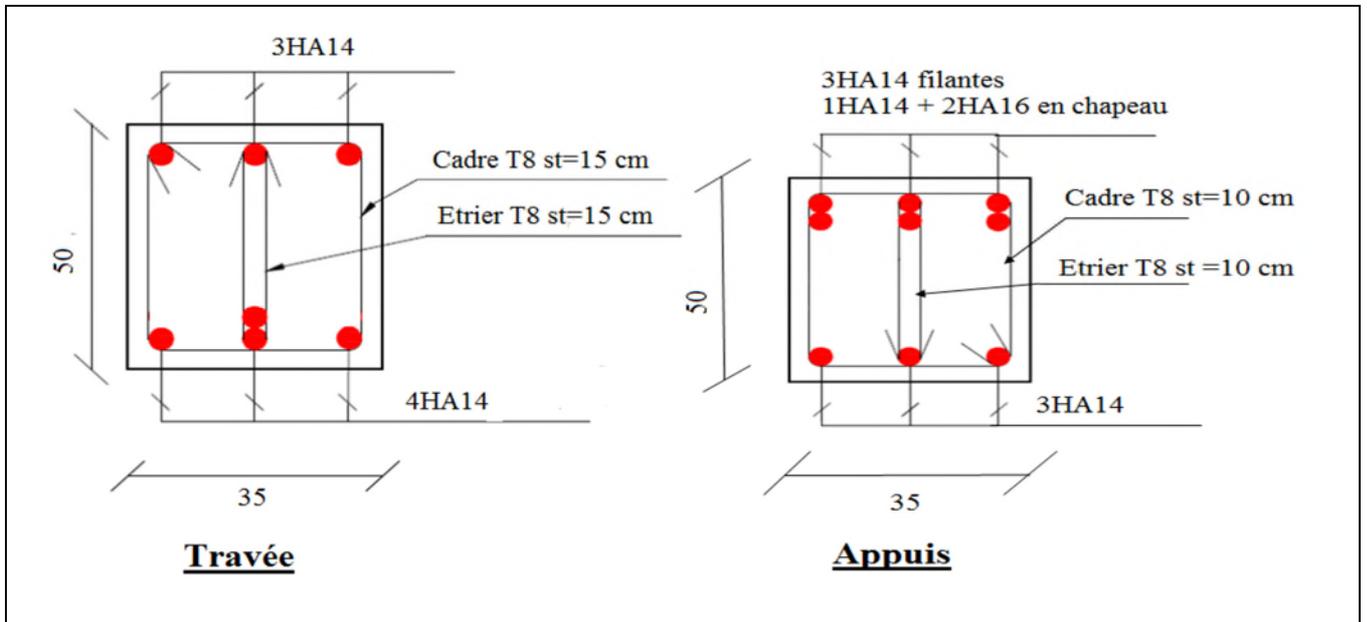
| Position | M <sub>s</sub><br>(KN.m) | Y<br>(cm) | I<br>(cm <sup>4</sup> ) | $\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | Obs      |
|----------|--------------------------|-----------|-------------------------|--|----------|
| Travée   | 27,63                    | 8,53      | 164636,54               | 1,43 < 15  | Vérifiée |
| Appui    | -55,26                   | 10,67     | 253284,12               | 2,32 < 15  | vérifiée |

**Vérification de la flèche**

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{l} \geq \max \left[ \frac{1}{16} ; \frac{M_T}{10M_0} \right] \gg 0,094 > 0,06 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.} \\ \frac{A_s}{b \times d} > \frac{4,2}{f_e} \gg 0,0035 > 0,0105 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.} \\ L = 5,30 \text{ m} < 8 \text{ m} \dots\dots\dots \text{condition vérifiée.} \end{array} \right.$$

La vérification de la flèche n'est pas nécessaire.

**Schémas de ferrailage**



**Figure II-33 : schémas de ferrailage de la poutre palière**

**II-4-3 : Etude de la poutre de chaînage**

**II-4-3-1 : Dimensionnement**

D'après le **RPA99 (Art 9.3.3)**, la dimension minimale de la poutre de chaînage doit être supérieure ou égale à 15 cm ou à 2/3 de l'épaisseur de l'élément supporté.

Selon la condition de la flèche : Le chaînage est conçu pour reprendre son poids propre ainsi que le poids des cloisons qu'il supporte. Il est calculé (comme une poutre simplement appuyée) en flexion simple, avec Vérification de l'effort tranchant au niveau des appuis.

### II-4-3-2 : condition de la flèche

$$\frac{L_{max}}{15} \leq h \leq \frac{L_{max}}{10} \qquad 33,33 \text{ cm} \leq h \leq 50 \text{ cm}$$

Selon (**Art. 9.3.3 du RP A99/Version 2003**)

$$\left\{ \begin{array}{l} h \geq 15 \text{ cm.} \\ h \geq \frac{2}{3} \times 30 = 20 \text{ cm.} \end{array} \right. \qquad \gg \text{ Soit : } h=35 \text{ cm, } b=25 \text{ cm}$$

### Exigences du RPA 99/2003

$$h \geq 30 \text{ cm} \qquad b \geq 20 \text{ cm} \qquad h/b < 4$$

Donc les dimensions des poutres de chaînage sont de (25×35).

### II-4-3-3 : Calcul des sollicitations

La poutre qui nous donne des sollicitations plus défavorable est la poutre de travée L=5m.

$$G_{pc} = 25 \times 0,25 \times 0,35 = 2,1875 \text{ KN/ml} \qquad G_{mur} = 2,80 \times (2,8 - 0,24) = 7,168 \text{ KN/ml}$$

**ELU :**

$$q_u = 1,35(G_{pc} + G_{mur}) = 12,63 \text{ KN/ml}$$

$$M_u = q_u \times L^2 / 8 = 39,46 \text{ KN.M}$$

$$V_u = q_u \times L / 2 = 32,57 \text{ KN}$$

**ELS:**

$$q_s = G_{mur} + G_{pc} = 9,35 \text{ KN/ml}$$

$$M_s = q_s \times L^2 / 8 = 29,22 \text{ KN.M}$$

### Correction des moments

$$M_t^u = 0,75 M_u = 29,59 \text{ KN.M}$$

$$M_a^u = -0,5 M_u = -19,73 \text{ KN.M}$$

$$M_t^s = 0,75 M_s = 21,91 \text{ KN.M}$$

$$M_a^s = -0,5 M_s = -14,61 \text{ KN.M}$$

- **Ferrailage : d= 33cm**

**Tableau II-53 : ferrailage de la poutre de chaînage à l'ELU**

|               | <i>Ferrailage de la poutre de chaînage</i> |            |       |       |                     |                     |                 |
|---------------|--|------------|-------|-------|---------------------|---------------------|-----------------|
|               | $M_u$<br>KN.M                              | $\mu_{bu}$ | A     | Z     | $A_{calculé}(cm^2)$ | $A_{choisie}(cm^2)$ | $A_{min}(cm^2)$ |
| <b>Travée</b> | 29,59                                      | 0,076      | 0,099 | 0,316 | 2,68                | 4HA10=3,14          | 0,996           |
| <b>Appuis</b> | 19,73                                      | 0,051      | 0,065 | 0,321 | 1,76                | 3HA10=2,36          | 0,996           |

**Vérification de l'effort tranchant**

$$\tau_u = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{32,57 \times 10^3}{0,25 \times 0,33} = 0,394 \text{ MPA} ; \bar{\tau}_u = \min \left( 0,2 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b} ; 5 \text{MPA} \right) = 3,33 \text{ MPA}$$

$\tau_u < \bar{\tau}_u \Rightarrow$  **Pas de risque de rupture par cisaillement.**

**Calcul de l'espacement**

$$\emptyset_t \leq \min \left( \frac{h}{35} ; \frac{b}{10} ; \emptyset_l \right) \gg \emptyset_t \leq 10 \text{mm} = 1 \text{cm} .$$

$$A_t = 1 \text{ cadre } \emptyset_8 + 1 \text{ étrier } \emptyset_8 = 2,01 \text{ cm}^2 .$$

$$1- s_t \leq \frac{A_t \times f_e}{0,4 \times b} = \frac{3,14 \times 400}{0,4 \times 25} = 125,6 \text{ cm}$$

$$2- s_t \leq \min (0,9d; 40 \text{ cm}) = 29,7 \text{ cm} . \quad \gg \quad s_t = \mathbf{25 \text{ cm}} .$$

**Vérification des contraintes**

**Tableau II-54 : vérification des contraintes à l'ELS dans la poutre de chaînage**

|               | <i>Vérification des contraintes dans la poutre de chaînage</i> |      |                        |                  |                        |             |
|---------------|--|------|------------------------|------------------|------------------------|-------------|
|               | $M_s$<br>KN.M  | Y(m) | $I(m^4)$               | $\sigma_b$ (MPA) | $\bar{\sigma}_b$ (MPA) | Observation |
| <b>Travée</b> | 21,91  | 9,42 | $3,325 \times 10^{-4}$ | 6,22             | 15                     | Vérifiée    |
| <b>appuis</b> | 14,61  | 9,27 | $2,657 \times 10^{-4}$ | 5,09             | 15                     | Vérifiée    |

**Vérification de la flèche**

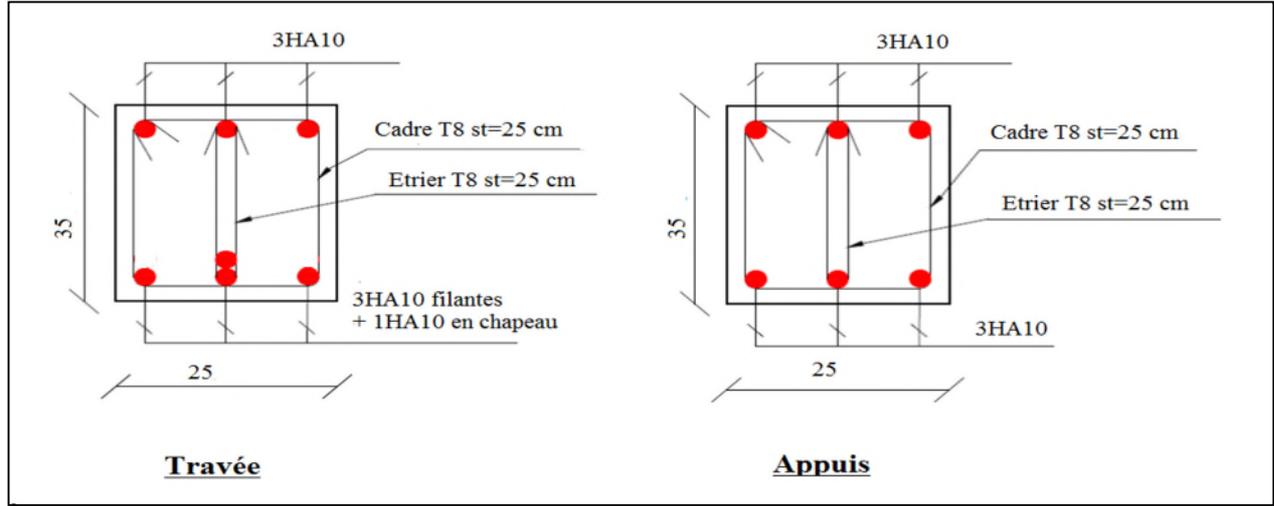
$$\frac{h}{l} = \frac{35}{500} = 0,07 \geq \max \left[ \frac{1}{16} ; \frac{M_t}{20 \times M_0} \right] = 0,0625 \dots\dots\dots \text{condition vérifiée}$$

$$\frac{A_s}{b \times d} \leq \frac{4,2}{f_e} \qquad 3,398 \times 10^{-3} \leq 0,0105 \dots\dots \text{Condition Vérifiée}$$

L=5m < 8m .....condition vérifiée

Donc la condition de la flèche n'est pas nécessaire.

**Schémas de ferrailage**



**Figure II-34** : schémas de ferrailage de la poutre de chaînage

**II-5 : Etude de l'acrotère**

**II-5-1 : Hypothèses de calculs**

- L'acrotère est sollicité en flexion composée.
- Le calcul se fera pour une bande de 1 mètre linéaire.
- La fissuration est considérée nuisible.

**II-5-2 : Evaluation des charges et surcharges de l'acrotère**

L'acrotère est soumis à deux types de charges :

- Charges en situation courante.
- Charge en situation accidentelle.

**Charges en situation courante**

Les charges revenant à l'acrotère sont résumées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II-55** : Charges revenant à l'acrotère

| Désignation | h (m) | Surface m <sup>2</sup> | Poids (KN /ml)  |              | Poids propre totale G (KN/ml) | Surcharge d'exploitation Q (KN/ml) |
|-------------|-------|------------------------|-----------------|--------------|-------------------------------|------------------------------------|
|             |       |                        | Acrotère e=10cm | Enduit e=3cm |                               |                                    |
| Acrotère    | 0,6   | 0,0685                 | 1,71            | 0,396        | 2,106                         | 1                                  |

**Charge sismique**

D'après le **RPA99V2003**, l'acrotère est soumis à une force horizontale due au séisme :

$$F_p = 4 \times A \times C_p \times W_p \quad \text{RPA99 (Art 6.2.3)}$$

Avec :  $\begin{cases} A=0,15 \text{ (groupe d'usage 2 ; zone II-a) : coefficient d'accélération de la zone.} \\ C_p = 0,8 \text{ : facteur de la force horizontale.} \\ W_p = 2,106 \text{ KN : poids propre de l'acrotère} \end{cases}$

Donc :  $F_p = 4 \times 0,15 \times 0,8 \times 2,106 \Rightarrow F_p = 1,01 \text{ KN}$

**II-5-3 : Calcul des sollicitations de l'acrotère**

- **Calcul du centre de gravité**

$$\begin{cases} X_G = \frac{\sum A_i \cdot X_i}{\sum A_i} \\ Y_G = \frac{\sum A_i \cdot Y_i}{\sum A_i} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} X_G = 6,2 \text{ cm} \\ Y_G = 33,01 \text{ cm} \end{cases}$$

L'acrotère est soumis à :

$$N_G = 2,106 \text{ KN}$$

$$M_Q = Q \times h \Rightarrow M_Q = 1 \times 0,6 \Rightarrow M_Q = 0,6 \text{ KN.m}$$

$$M_{FP} = F_p \times Y_G \Rightarrow M_{FP} = 1,01 \times 0,3301 \Rightarrow M_{FP} = 0,333 \text{ KN.m}$$

Les sollicitations revenant à l'acrotère sont résumées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau II-56 : Combinaisons d'actions de l'acrotère**

| combinaisons          | ELU accidentel | ELU<br>fondamental | ELS   |
|-----------------------|----------------|--------------------|-------|
| <b>sollicitations</b> | G+Q+E          | 1,35G+1,5Q         | G+Q   |
| <b>N (KN)</b>         | 2,106          | 2,843              | 2,106 |
| <b>M (KN.m)</b>       | 0,933          | 0,9                | 0,6   |

- **Calcul de l'excentricité**

$$\begin{cases} e_0 = \frac{M_u}{N_U} = \frac{0,9}{2,843} = 0,316 \text{ m} \\ \frac{h}{6} = \frac{0,1}{6} = 0,0166 \text{ m} \end{cases}$$

$e_0 > \frac{h}{6} \rightarrow$  Le centre de pression se trouve à l'extérieur du noyau central, et  $N_u$  est un effort de compression donc la section est partiellement comprimée.

Le calcul se fera par assimilation à la flexion simple, soumise à un moment  $M_{ua} = N_u \times e$ .

Les éléments soumis à la flexion composée doivent être justifiés vis-à-vis de l'état limite ultime de stabilité de forme (flambement) **BAEL91 (Art 4.4).**

On remplace l'excentricité réelle ( $e_0 = \frac{M_u}{N_U}$ ) par une excentricité totale de calcul :

$$e = e_0 + e_a + e_2$$

Avec :

$e_2$  : Excentricité (dite de premier ordre) de la résultante des contraintes normales, avant l'application des excentricités additionnelles définies ci-après.

$$e_2 = \frac{3 \times l_f^2 \times (2 + \phi \times \alpha)}{10^4 \times h_0}$$

$e_a$  : Excentricité additionnelle traduisant les imperfections géométriques initiales.

$$e_a = \max(2\text{cm} ; h/250)$$

h : Portée de l'élément = 60 cm.

$\phi$  : Rapport de la déformation finale due au fluage à la déformation instantanée sous la charge considérée.

$$\alpha = \frac{M_G}{M_G + M_Q} = 0$$

**RPA99V2003 (Art. A.4.3.5)**

$l_f = 2 \times h = 1,2\text{m}$  : Longueur de flambement.

$$\Rightarrow e_2 = \frac{3 \times 1,2^2 \times 2}{10^4 \times 0,1} = 8,64 \times 10^{-3} \text{ m} \quad \text{Et} \quad e_a = 2\text{cm}$$

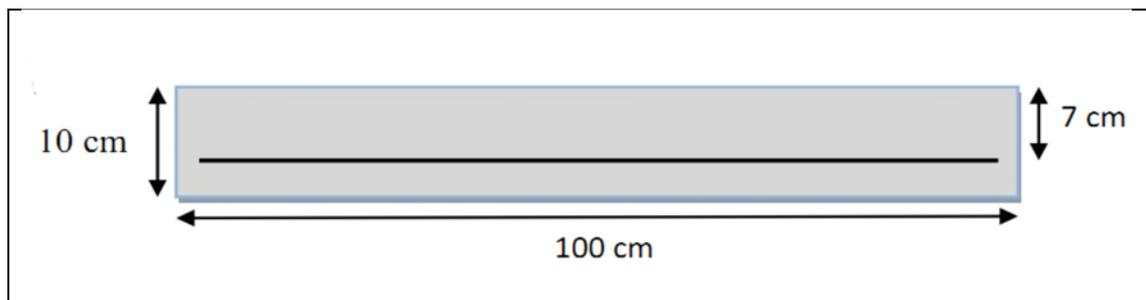
D'où :  $e = 0,316 + 0,02 + 8,64 \times 10^{-3} = 0,344\text{m}$

Les sollicitations de calcul à l'ELU deviennent :

$$\begin{cases} N_u = 2,843 \text{ KN} \\ M_u = N_u \times e = 2,843 \times 0,344 = 0,978 \text{ KN.m} \end{cases}$$

### Ferraillage de l'acrotère

#### Calcul à l'ELU



**Figure II-35** : Section droite de l'acrotère à ferrailer

On calcule les armatures à l'ELU, puis on effectuera la vérification des contraintes à l'ELS. La section est partiellement comprimée et  $e_0$  en dehors du noyau central, donc le calcul se fait par assimilation à la flexion simple avec  $M_{ua}$  :

Les résultats du ferraillage sont résumés dans le tableau ci-dessous

**Tableau II-57**: Ferraillage de l'acrotère

| $M_{ua}$<br>(KN.m) | $\mu_{bu}$ | A       | Z (m)  | $A_1$ ( $\frac{cm^2}{ml}$ ) | $A_s$ ( $\frac{cm^2}{ml}$ ) | $A_{min}$ ( $\frac{cm^2}{ml}$ ) |
|--------------------|------------|---------|--------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 1,0348             | 0,01490    | 0,01877 | 0,0694 | 0,562                       | 0,48                        | 0,845                           |

**Calcul des espacements**

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{La fissuration nuisible} \\ \text{St} \leq \text{Min} (2 \times e; 25) \\ 100/5 = 20 \text{ cm} \end{array} \right. \quad \text{on adopt st}=20\text{cm}$$

**Choix des armatures**

**Sens principal :**  $A_s = 0,845 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow$  soit : 5HA8 = 2,51 cm<sup>2</sup>

**-Armatures de répartition**

$$A_{rep} = \frac{A_s}{3} \Rightarrow \frac{2,51}{3} \Rightarrow A_{rep} = 0,83 \text{ cm}^2$$

**Sens secondaire :**  $A_{rep} = 0,83 \text{ cm}^2/\text{ml} \Rightarrow$  soit : 5HA6 = 1,41 cm<sup>2</sup>/ml

**Vérifications à l'ELU**

**Vérification au cisaillement**

On doit vérifier que :  $\tau_u \leq \frac{0,07 \times f_{c28}}{\gamma_b}$

ELU :  $V_u = 1,5 \times Q = 1,5 \times 1 = 1,5 \text{ KN}$

$$\tau_u = \frac{V_u}{b \times d} = \frac{1,5 \times 10^{-3}}{1 \times 0,07} = 0,0214 \text{ MPa} \Rightarrow \tau_u = 0,0214 < 1,17 \text{ MPa}$$

**Situation accidentelle :**  $V_u = Q + F_p = 1 + 1,01 = 2,01 \text{ KN}$

$$\tau_u = 0,0287 \text{ MPa} < 1,52 \text{ MPa}$$

On remarque que :  $\tau_u \leq \bar{\tau}_u \Rightarrow$  Donc pas de risque de rupture par cisaillement.

**Vérifications à l'ELS**

**Les vérifications à faire dans le cas d'une fissuration préjudiciable sont :**

- 1- La contrainte limite dans le béton.
- 2- La contrainte limite dans les aciers.

**Vérification des contraintes**

$M_{ser} = 0,6 \text{ KN.m} ; N_{ser} = 2,106 \text{ KN} ; d = 0,07 \text{ m}$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{bc} = \frac{N_{ser}}{\mu_t} \times y \\ \sigma_{sc} = 15 N_{ser} \frac{(d-y)}{\mu_t} \end{array} \right. \quad \text{et} \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 \text{ MPa} \\ F.N \Rightarrow \bar{\sigma}_{st} = \min \left( \frac{2}{3} \times f_e; 110 \sqrt{\eta \times f_{t28}} \right) = 201,63 \text{ MPa} \\ \text{avec } \eta = 1,6 \text{ (pour les HA)} \end{array} \right.$$

Calcul de y :

$(y = y_c + C)$

**Position du centre de poussée**

$$C = e_G - \frac{h}{2} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} - \frac{h}{2} = 0,285 - 0,05 = 0,235 \text{ m}$$

D'après la convention de signes du **BAEL** on a N qui est un effort de compression, donc :

$$C = -0,235m.$$

$$\text{Ont a : } y_c^3 + py_c + q = 0 \quad (1)$$

$$\text{avec: } \begin{cases} p = -3C^2 - 90\frac{A}{b}(C - d) + 90\frac{A}{b}(d - C) \\ q = -2C^3 - 90\frac{A}{b}(C - d)^2 - 90\frac{A}{b}(d - C)^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} p = -3C^2 + 90\frac{A}{b}(d - C) \Rightarrow p = -0,1587m^2 \\ q = -2C^3 - 90\frac{A}{b}(d - C)^2 \Rightarrow q = 0,0238m^2 \end{cases}$$

On remplaçant  $q$  et  $p$  dans (1), sa résolution donne :

$$\text{Soit : } \Delta = 4p^3 + 27q^2 = -6,94 \times 10^{-4} < 0$$

Donc il existe 3 racines réelles, on garde celle qui convient à l'intervalle suivant :

$$-C \leq y_c \leq h-C \Leftrightarrow -0.235 \leq y_c \leq -0.135$$

$$\begin{cases} y_{c1} = a \cos\left(\frac{\varnothing}{3}\right) = 0,257 \text{ m} \\ y_{c2} = a \cos\left(\frac{\varnothing}{3} + 120^\circ\right) = -0,458 \text{ m} \\ y_{c3} = a \cos\left(\frac{\varnothing}{3} + 240^\circ\right) = 0,201 \text{ m} \end{cases} \text{ Avec } \begin{cases} a = 2\sqrt{-p/3} = 0,46 \\ \varnothing = \cos^{-1}\left(\frac{3q\sqrt{-3}}{2p}\right) = 167,97^\circ \end{cases}$$

$$\begin{cases} y_1 = 0,257 + 0,235 = 0,492 \text{ m} \\ y_2 = -0,458 + 0,235 = -0,223 \text{ m} \\ y_3 = 0,201 + 0,235 = 0,436 \text{ m} \end{cases}$$

donc : on opte pour  $y_c = -0,458 \Rightarrow y = -0,223m$

$$\mu t = \frac{by^2}{2} - A(d - y) = 2,37 \times 10^{-2} m^3$$

$$d'ou \begin{cases} \sigma_{bc} = \frac{N_{ser}}{\mu_t} \times y = \frac{2,106 \times 10^{-3}}{2,37 \times 10^{-2}} \times 0,223 = 0,019 \text{ Mpa} < 15 \text{ Mpa} \dots\dots\dots \text{ vérifiée.} \\ \sigma_{st} = 15 \frac{N_{ser}}{\mu_t} (d - y) = 15 \frac{2,106 \times 10^{-3}}{2,37 \times 10^{-2}} (0,07 + 0,223) = 0,39 \text{ Mpa} < 201 \text{ Mpa} \dots \text{ vérifiée} \end{cases}$$

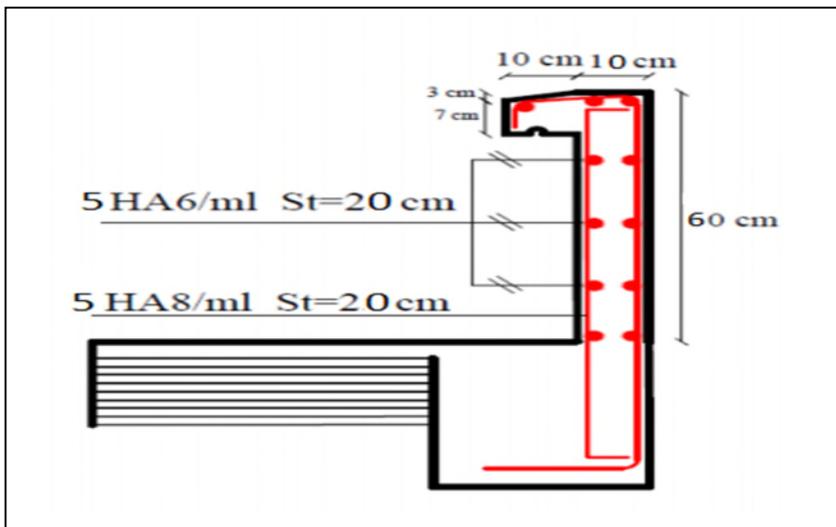


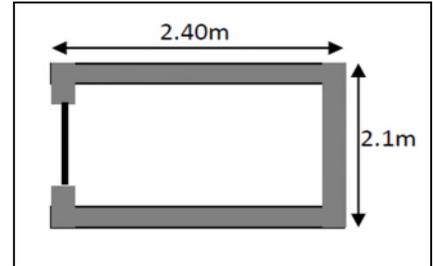
Figure II-36 : schéma statique de l'acrotère

**II-6 : Etude de l'ascenseur**

**Définition**

C'est un appareil au moyen duquel on élève ou on descend des personnes aux différents niveau du bâtiment, il est constitué d'une cabine qui se déplace le long d'une glissière verticale dans la cage d'ascenseur munie d'un dispositif mécanique. Dans notre structure on utilise un ascenseur pour huit (08) personnes dont les caractéristiques sont les suivantes :

- L : longueur de l'ascenseur
- l : largeur de l'ascenseur
- H : hauteur de l'ascenseur
- W : puissance de l'ascenseur
- $F_c$ : charge due à la cuvette = 145KN
- $P_m$ : charge due à l'ascenseur =15KN
- $D_m$ : charge due à la salle machine = 51KN



**Figure II-37 : cage d'ascenseur**

La charge minimale est de 630 Kg

La vitesse  $V=1,6 \text{ m/s}$

Donc  $g = D_m + P_m + P_{personnes} = 72,3 \text{ KN}$ .

**II-6-1 : Etude de la dalle de l'ascenseur**

La dalle du local des machines doit être dimensionnée pour reprendre des charges importantes.

On a  $l_x=2,1\text{m}$  et  $l_y=2,4\text{m}$ , donc la surface  $S=2,1 \times 2,4=5,04 \text{ m}^2$ .

$e \geq \frac{l}{20} = \frac{2,4}{20} = 0,12 \text{ m}$  , soit  $e = 14\text{cm}$ .

**Evaluation des charges et surcharges :**

- |   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| • $G_1 = 25 \times 0,14 = 3,36 \text{ KN/m}^2$                              | pois de la dalle en béton armé       |
| • $G_2 = 20 \times 0,03 = 0,6 \text{ KN/m}^2$                               | pois de mortier de pose de 3cm       |
| • $G_3 = 0,1 \text{ KN/m}^2$  | pois de l'isolant thermique          |
| • $G_4 = 22 \times 0,03 = 0,66 \text{ KN/m}^2$                              | pois de la forme de ponte méta chape |
| • $G_5 = 22 \times 0,02 = 0,44 \text{ KN/m}^2$                              | pois du revêtement dallage colle     |
| • $G' = 5,16 \text{ KN/m}^2$  | somme de $G_1 \dots \dots G_5$       |
| • $G'' = \frac{F_c}{s} = \frac{145}{2,1 \times 2,4} = 28,77 \text{ KN/m}^2$ | pois de la machine.                  |

$G_{totale} = G' + G'' = 28,77 + 5,16 = 33,93 \text{ KN/m}^2$  .

$Q = 1 \text{ KN/m}^2$

**II-6-1-1 : Cas d'une charge répartie**

- **Calcul des sollicitations**

**A l'ELU**

$q_u = 1,35 G_{totale} + 1,5 Q = 47,30 \text{ KN/m}^2$

$\rho = \frac{l_x}{l_y} = 0,87 > 0,4$        $\gg$  La dalle travaille dans les deux sens.

$$\rho = 0,87 \gg$$

$$\begin{cases} \mu_x = 0,0486 \\ \mu_y = 0,7244 \end{cases}$$

Sens x-x  $M_0^x = u_x \times q_u \times l_x^2 = 10,13 \text{ KN.M}$

Sens y-y  $M_0^y = u_y \times M_0^x = 7,33 \text{ KN.M}$

• **Calcul des moments corrigés**

**En travée**

Sens x-x  $M_t^x = 0,75 M_0^x = 7,60 \text{ KN.m}$

Sens y-y  $M_t^y = 0,75 M_0^y = 5,49 \text{ KN.m}$

**En appuis**

Sens x-x  $M_a^x = M_a^y = -0,5 M_0^x = -5,06 \text{ KN.m}$

Sens y-y  $M_a^x = M_a^y = -0,5 M_0^x = -5,06 \text{ KN.m}$

On vérifie que :  $M_t = \frac{M_g + M_d}{2} \geq 1,25 M_0 \gg 12,66 = 12,66$

**CBA93(article E.2)**

$M_g = 0,5 M_0 \quad M_d = 0,5 M_0 \quad M_t = 0,75 M_0$

**condition vérifiée.**

• **Calcul du ferrailage**

**Tableau II-58** : Ferrailage de la dalle pleine au-dessous de l'ascenseur

| Position | Sens | M(KN.M) | $\mu_{bu}$ | A     | Z (m) | Acal ( $\text{cm}^2/\text{ml}$ ) | A min ( $\text{cm}^2/\text{ml}$ ) | <b>Achoisit</b> ( $\text{cm}^2/\text{ml}$ ) | St (cm) |
|----------|------|---------|------------|-------|-------|----------------------------------|-----------------------------------|---|---------|
| Travée   | x-x  | 7,60    | 0,037      | 0,047 | 0,117 | 1,85                             | 1,19                              | 4HA8=2,01                                   | 25      |
|          | y-y  | 5,49    | 0,026      | 0,034 | 0,118 | 1,33                             | 1,12                              | 4HA8=2,01                                   | 25      |
| Appuis   | x-x  | 5,06    | 0,024      | 0,031 | 0,118 | 1,22                             | 1,19                              | 4HA8=2,01                                   | 25      |
|          | y-y  |         |            |       |       |                                  |                                   |   |         |

• **Vérification à l'ELU: Condition de non fragilité**

On Calcul  $A_{min}$  :

$$\begin{cases} h_0 > 12 \text{ cm} \gg A_{min}^x = \rho_0 \times \frac{3-\rho}{2} \times b \times h_0 \\ \rho > 0,4 \gg A_{min}^y = \rho_0 \times b \times h_0 \end{cases}$$

On a des HA  $f_e E400 \gg \rho_0 = 0,0008$

$h_0 = e = 14 \text{ cm}$

$b = 100 \text{ cm}$

$\rho = 0,87$

$$\gg \begin{cases} A_{min}^x = 1,19 \text{ cm}^2/\text{ml} \\ A_{min}^y = 1,12 \text{ cm}^2/\text{ml} \end{cases}$$

On vérifie que :  $A_t^y > \frac{A_t^x}{4} \gg 1,52 \text{ cm}^2 > 0,405 \text{ cm}^2$

**c'est vérifiée.**

On choisit suivant le:

Sens (x-x) en travée :  $A_t^x = 4HA8 = 2,01 \text{ cm}^2$

Sens (x-x) en appui :  $A_t^x = 4HA8 = 2,01 \text{ cm}^2$

Sens (y-y) en travée et en appui :  $A_t^y = 4HA8 = 2,01 \text{ cm}^2$

**Calcul des espacements :**

**Sens x-x :**  $s_t \leq \min(3e; 33) \text{ cm} \gg s_t \leq 33 \text{ cm}$  on adopte :  $s_t = 25 \text{ cm}$

**Sens y-y :**  $s_t \leq \min(4e; 45) \text{ cm} \gg s_t \leq 45 \text{ cm}$  on adopte :  $s_t = 25 \text{ cm}$

• **Vérification de l'effort tranchant**

$\tau_u = \frac{V_{\max}}{b \times d} \leq \bar{\tau}_u = 0,05 f_{c28} = 1,25 \text{ MPA}$ .

$\rho > 0,4 \gg$  flexion simple dans les deux sens.

$V_x = q_u \times \frac{l_x}{3} = 33,11 \text{ KN}$

$V_y = q_u \times \frac{l_y}{2} \times \frac{1}{1+\frac{\rho}{2}} = 34,60 \text{ KN}$

$\tau_u = \frac{34,60 \times 10^{-3}}{1 \times 0,170} = 0,20 \text{ MPA} < 1,25 \text{ MPA}$

**c'est vérifiée.**

• **Vérification à l'ELS**

$q_{ser} = G_{totale} + Q = 33,93 + 1 = 34,93 \text{ KN/m}^2$ .

$\vartheta = 0,2$

Sens x-x  $M_0^x = u_x \times q_{ser} \times l_x^2 = 7,48 \text{ KN.M}$

Sens y-y  $M_0^y = u_y \times M_0^x = 5,41 \text{ KN.M}$

**En travée :** Sens x-x  $M_t^x = 0,75 \times M_0^x = 0,75 \times 7,48 = 5,61 \text{ KN.m}$

Sens y-y  $M_t^y = 0,75 \times M_0^y = 0,75 \times 5,41 = 4,05 \text{ KN.m}$

**Appuis :** Sens x-x  $M_a^x = 0,75 \times M_0^x = -0,5 \times 7,48 = -3,74 \text{ KN.m}$

• **Vérification des contraintes :**

| Localisation  | Mser<br>(KN.m) | Y<br>(cm) | I<br>(cm <sup>4</sup> ) | $\sigma_{bc}$<br>(MPa) | $\bar{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | Observation |
|---------------|----------------|-----------|-------------------------|------------------------|------------------------------|-------------|
| Travées (x-x) | 5,61           | 2,40      | 3239,424                | 4,15                   | 15                           | Vérifiée    |
| Travées (y-y) | 4,05           | 2,40      | 3239,424                | 3                      | 15                           | Vérifiée    |
| Appuis (x-x)  | 3,74           | 2,40      | 3239,424                | 2,77                   | 15                           | Vérifiée    |

• **Vérification de la flèche :**

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{e}{l_x} \geq \max \left( \frac{3}{80}; \frac{M_x^t}{20M_0^x} \right) \gg 0,066 \geq \max (0,037 ; 0,0375) \\ A_t \leq \frac{2bd}{f_e} \gg 2,01 \leq \frac{2 \times 1 \times 0,12}{400} = 6 \end{array} \right.$$

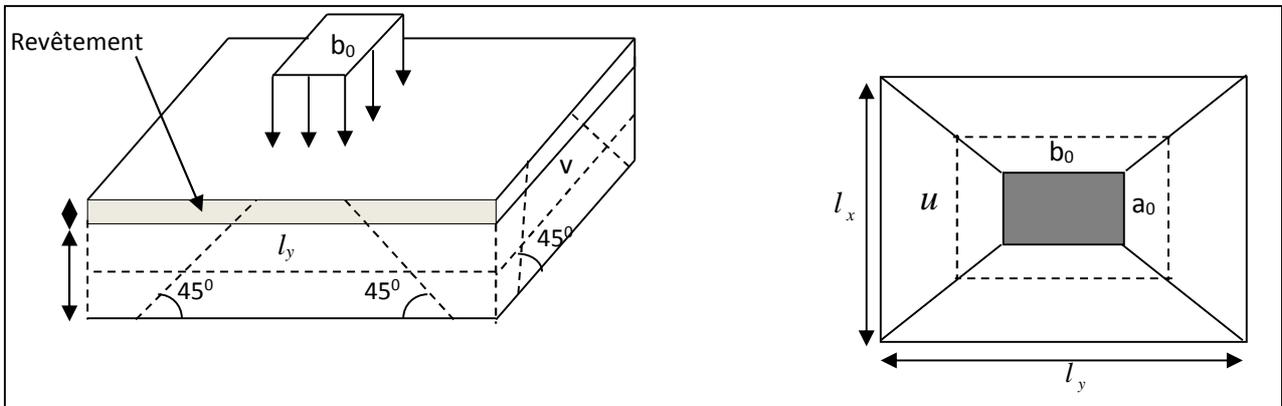
Le calcul de la flèche n'est pas nécessaire.

**II-6-1-2 : Cas d'une charge concentrée**

La charge concentrée  $q$  est appliquée à la surface de la dalle sur une aire  $a_0 \times b_0$ , elle agit uniformément sur une aire  $u \times v$  située sur le plan moyen de la dalle.

$(a_0 \times b_0)$  : Surface sur laquelle s'applique la charge donnée en fonction de la vitesse.

$(u \times v)$  : Surface d'impact



**Figure II-38** : Schéma représentant la surface d'impact

- Avec :
- $h_0=14\text{cm}$  : épaisseur de la dalle
  - $h=4\text{cm}$  : épaisseur de revêtement.
  - $a_0$  et  $U$  sont  $\parallel$  à  $l_x$ .
  - $b_0$  et  $V$  sont  $\parallel$  à  $l_y$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} U = a_0 + h_0 + 2\xi \times h_1 \quad \text{On a un revêtement en béton d'épaisseur } h_1 = 4\text{cm} \quad \xi = 1 . \\ V = b_0 + h_0 + 2\xi \times h_1 \end{array} \right.$$

On a une vitesse  $V=1,6 \text{ m/s} \gg \left\{ \begin{array}{l} a_0 = 150\text{cm} \\ b_0 = 160 \text{ cm} \end{array} \right.$

**Donc**

$$\left\{ \begin{array}{l} U=150+14+2 \times 1 \times 4=172 \text{ cm} \\ V=160+14+2 \times 1 \times 4=182 \text{ cm} \end{array} \right.$$

- **Calcul des sollicitations**

$$\begin{cases} M_x = P_u \times (M_1 + \mu \times M_2) \\ M_y = P_u \times (M_2 + \mu \times M_1) \end{cases} \quad \text{avec :} \quad \begin{cases} \mu = 0 \text{ (ELU)} \\ \mu = 0 \text{ (ELS)} \end{cases}$$

$M_1$  En fonction de  $\frac{u}{l_x}$  et  $\rho$       on a :  $\frac{u}{l_x} = 0,819$  ;  $\rho = 0,87$

$M_2$  En fonction de  $\frac{v}{l_y}$  et  $\rho$       on a :  $\frac{v}{l_y} = 0,758$  ;  $\rho = 0,8$

Les tables BAEL 91 (**Annexe 03**) donnent les coefficients :  $M_1=0,061$  ;  $M_2=0,047$

$P_u = 1,35 g = 1,35 \times 72,3 = 97,60 \text{ KN} .$

$$\begin{cases} M_{x1} = P_u \times M_1 = 97,60 \times 0,061 = 5,95 \text{ KN.m} \\ M_{y1} = P_u \times M_2 = 97,60 \times 0,047 = 4,59 \text{ KN.m} \end{cases}$$

- **Evaluation des moments dus au poids propre de la dalle à l'ELU**

$q_u = 1,35 \times 6,8 + 1,5 \times 1 = 10,68 \text{ KN} .$

$$\begin{cases} M_{x2} = \mu_x \times q_u \times l_x^2 = 2,28 \text{ KN.m} \\ M_{y2} = \mu_y \times M_{x2} = 1,65 \text{ KN.m} \end{cases}$$

- **Superposition des moments**

$$\begin{cases} M_x = M_{x1} + M_{x2} = 5,95 + 2,28 = 8,23 \text{ KN.m} \\ M_y = M_{y1} + M_{y2} = 4,59 + 1,65 = 6,24 \text{ KN.m} \end{cases}$$

- **Les moments réels**

**En travées :**  $M_{tx} = 0,75 \times M_x^0 = 6,17 \text{ KN.m} .$

$M_{ty} = 0,75 \times M_y^0 = 4,68 \text{ KN.m}$

**En appuis :**  $M_a = -0,5 \times M_x^0 = -4,11 \text{ KN.m}$

- **Calcul de ferrailage**

**Tableau II-60** : Ferrailage de la dalle (cas charge concentrée)

| Position | Sens | $M_u$<br>(KN.m <sup>2</sup> ) | $A_{cal}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_{min}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_{adop}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | St<br>(cm) |
|----------|------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------|
| Travée   | X-X  | 6,17                          | 1,50                            | 1,19                            | 4HA8=2,01                        | 25         |
|          | Y-Y  | 4,68                          | 1,13                            | 1,12                            | 4HA8=2,01                        | 25         |
| Appuis   |      | -4,11                         | 0,994                           | 1,19                            | 4HA8=2,01                        | 25         |

- **Vérification à l'ELU**

- ✓ **Vérification au poinçonnement**

$$q_u \leq 0,045 \times U_c \times h \times f_{c28} / \gamma_b$$

Avec :  $U_c$ : Périmètre du rectangle d'impact

$$U_c = 2 \times (U + V) = 2 \times (172 + 182) = 708 \text{ cm}$$

$$97,60 \text{ KN} \leq \frac{0,045 \times 7,08 \times 0,14 \times 25 \times 10^3}{1,5} = 743,4 \text{ KN}$$

Pas de risque de poinçonnement

- ✓ **Vérification de l'effort tranchant :**

Les efforts tranchants sont max au voisinage de la charge (milieu),  $U=V$

$$T_U = T_v = \frac{q_u}{2U + V} = \frac{97,60}{2 \times 1,72 + 1,82} = 18,55 \text{ KN}$$

$$\tau_U = \frac{T_U}{b \times d} = \frac{18,55 \times 10^{-3}}{1 \times 0,12} = 0,154 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau}_U = 0,07 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b} = 0,07 \times \frac{25}{1,5} = 1,17 \text{ MPa}$$

$\tau_U < \bar{\tau}_U \gg$  Pas de risque de rupture par cisaillement.

- **Vérification à l'ELS**

- ✓ **Le moment engendré par le moment de levage**

$$M_1 = 0,061 \text{ KN.m} \quad M_2 = 0,047 \text{ KN.m}$$

$$q_{ser} = g = 72,3 \text{ KN.}$$

$$\begin{cases} M_{x1s} = q_{ser} \times (M_1 + vM_2) = 72,3 \times (0,061 + 0,2 \times 0,047) = 5,08 \text{ KN.m} \\ M_{x2s} = q_{ser} \times (M_2 + vM_1) = 72,3 \times (0,047 + 0,2 \times 0,061) = 4,28 \text{ KN.m} \end{cases}$$

- ✓ **Le moment du au poids propre de la dalle**

$$q_{ser} = G + Q = 5,16 + 1 = 6,16 \text{ KN/m}$$

$$\text{ELS : } \rho = 0,87 \gg \quad \mu_x = 0,0486 \quad \mu_y = 0,7244.$$

Calculs les moments :

$$\begin{cases} M_{x2s} = \mu_x \times q_{ser} \times l_x^2 = 0,0486 \times 6,16 \times 2,1^2 = 1,42 \text{ KN.m} \\ M_{y2s} = \mu_y \times M_{x2s} = 0,7244 \times 1,42 = 1,03 \text{ KN.m} \end{cases}$$

- **Superposition des moments**

- ✓ **Les moments agissent sur la dalle sont**

$$M_{xs} = M_{xs1} + M_{xs2} = 5,08 + 1,42 = 6,5 \text{ KN.m}$$

$$M_{ys} = M_{ys1} + M_{ys2} = 4,28 + 1,03 = 5,31 \text{ KN.m}$$

- ✓ **Calculs les moments réels**

En travée :  $M_{txs} = 0,75 \times M_{xs} = 0,75 \times 6,5 = 4,87 \text{ KN.m}$

$M_{tyS} = 0,75 \times M_{yS} = 0,75 \times 5,3 = 3,98 \text{ KN.m}$

En appuis :  $M_a = -0,5 \times M_x = -0,5 \times 6,5 = -3,25 \text{ KN.m}$

• Vérification des contraintes

Tableau II-61 : vérification des contraintes dans le béton

| Localisation  | Mser (KN.m) | Y (cm) | I (cm <sup>4</sup> ) | $\sigma_{bc}$ (MPa) | $\bar{\sigma}_{bc}$ (MPa) | Observation |
|---------------|-------------|--------|----------------------|---------------------|---------------------------|-------------|
| Travées (x-x) | 4,87        | 2,40   | 3239,424             | 3,60                | 15                        | Vérifiée    |
| Travées (y-y) | 3,98        | 2,40   | 3239,424             | 2,94                | 15                        | Vérifiée    |
| Appuis (x-x)  | 3,25        | 2,40   | 3239,424             | 2,40                | 15                        | Vérifiée    |

Vérification de la flèche

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{e}{l_x} \geq \max\left(\frac{3}{80}; \frac{M_x^t}{20M_0^x}\right) \gg 0,066 \geq \max(0,037; 0,0375) \\ A_t \leq \frac{2bd}{f_e} \gg 2,01 \leq \frac{2 \times 1 \times 0,12}{400} = 6 \end{array} \right.$$

Le calcul de la flèche n'est pas nécessaire.

II-6-2 : schéma de ferrailage

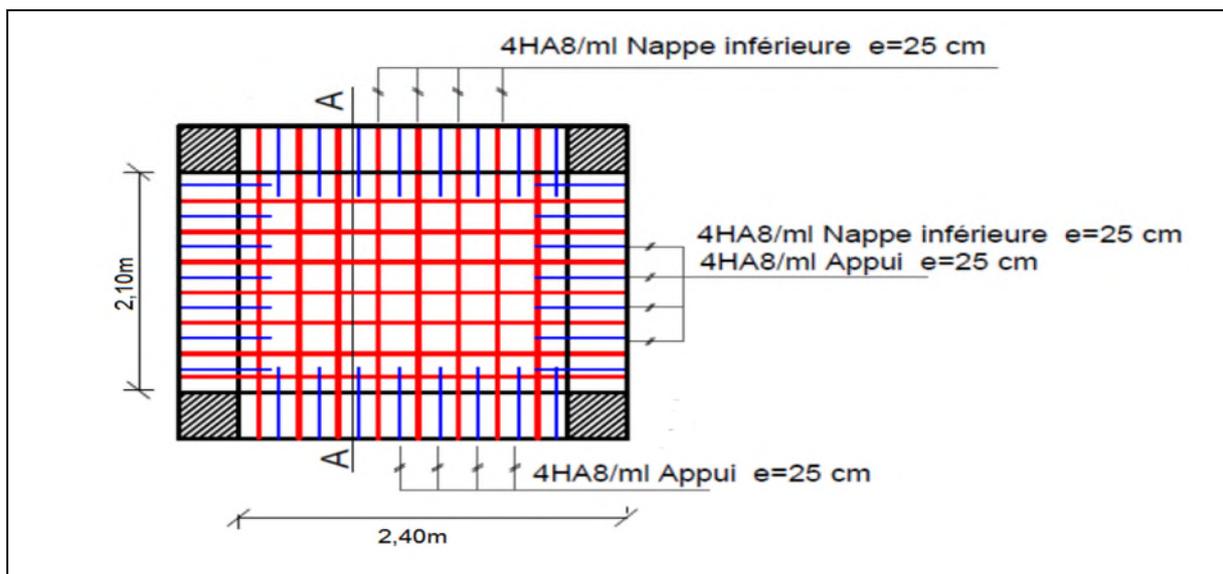


Figure II-39 : schéma de ferrailage des deux dalles d'ascenseurs

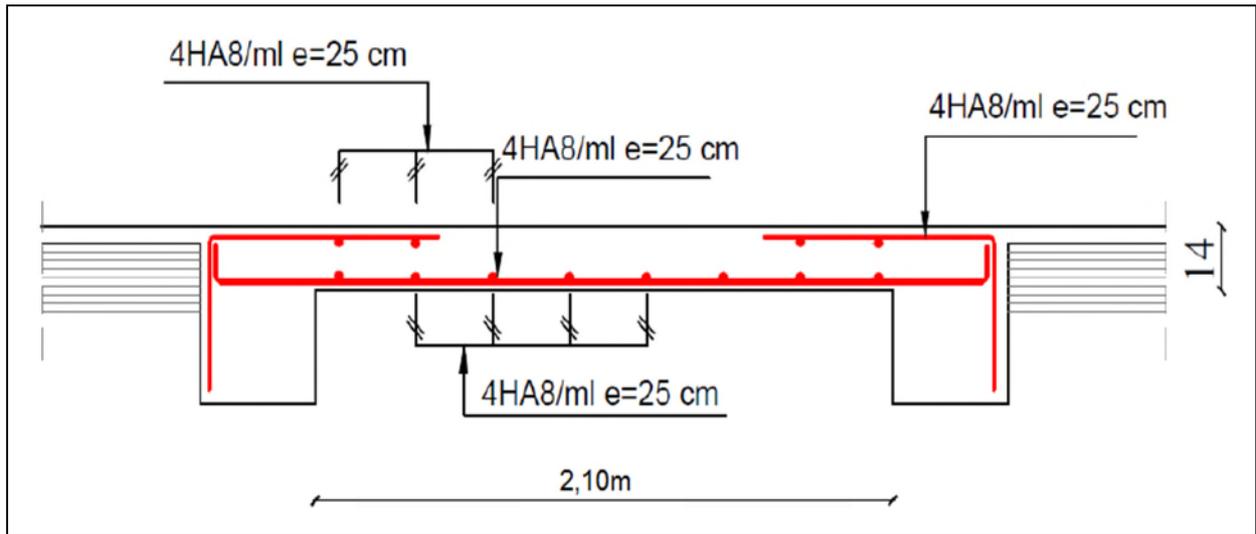


Figure II-40 : coupe A-A des deux dalles d'ascenseurs

# **Chapitre III :**

**Etude sismique de l'ouvrage**

- **Chapitre III : Etude sismique de l'ouvrage**

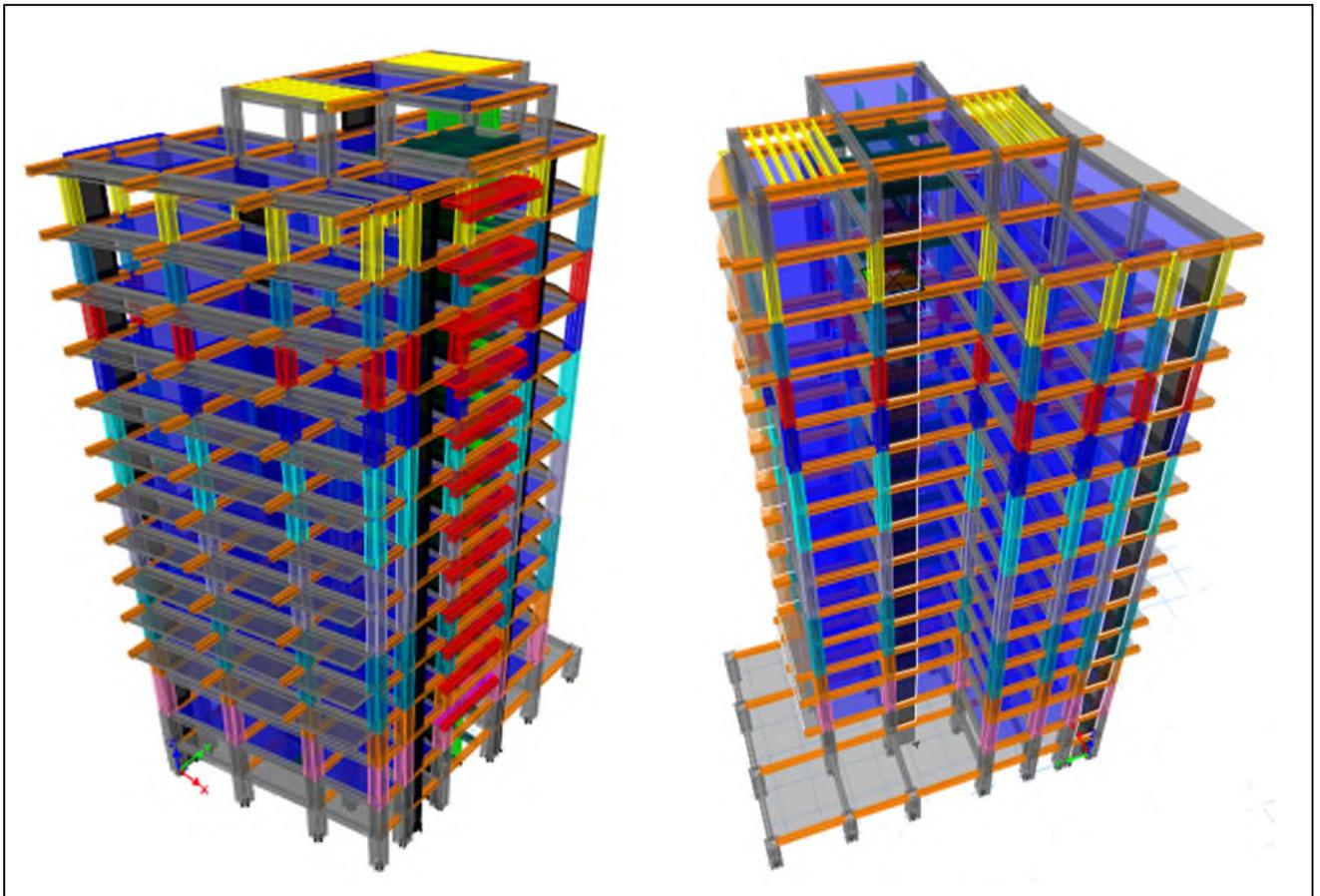
### III-1 : introduction

Le séisme est un phénomène naturel, qui peut induire des dégâts matériels et humains, Face à ce risque, et à l'impossibilité de le prévoir, il est indispensable de prendre au sérieux l'étude sismique afin de construire des structures pouvant résister à de tels phénomènes et de minimiser les conséquences, d'où l'importance de la construction parasismique qui se base généralement sur une étude dynamique.

### III-2 : Modélisation

Parmi les méthodes de modélisation qui existe, on trouve la modélisation en éléments finis, cette méthode consiste à discrétiser la structure en plusieurs éléments, on détermine les inconnues au niveau des nœuds puis à l'aide des fonctions d'interpolation on balaye tout l'élément puis toute la structure ; mais cela prend énormément de temps à la main, c'est pourquoi on se sert du logiciel ETABS 2016 afin de simplifier les calculs.

Ce logiciel (ETABS 2016) permet de déterminer automatiquement les caractéristiques dynamiques d'une structure (rigidité, déplacement, effort, etc.) à partir d'une modélisation en trois dimensions préalable est appropriée.



**figure III-1:** vu en 3D de la modélisation de la structure

### III-3 : Méthodes de calcul des forces sismiques

Le calcul de la force sismique globale à la base d'un bâtiment peut se faire à l'aide de deux principales méthodes (d'après RPA99v2003).

#### a-Méthode statique équivalente

La méthode statique équivalente n'est pas applicable, car le bâtiment étudié présente une irrégularité en plan et en élévation, et la hauteur de bâtiment  $H_{structure} > 23 m$  (RPAV2003) (4.1.2).

#### b- Méthode dynamique

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

La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes nécessite l'intervention d'un personnel qualifié, donc la méthode qui convient pour notre cas est la méthode d'analyse modale spectrale, dont l'utilisation est simplifiée avec le logiciel ETABS2016.

La méthode modale spectrale est, sans doute, la méthode la plus utilisée pour l'analyse sismique des structures. Dans cette méthode, on recherche 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 vont être combinés par la suite suivant la combinaison la plus appropriée pour obtenir la réponse totale de la structure.

### III-4 : Calcul de la force sismique totale par la méthode statique équivalente

D'après **RPA99V2003 (4.1)**, la force sismique totale  $V$ , appliquée à la structure, doit être calculée successivement dans les deux directions horizontales orthogonales selon la formule suivante :  $V_{st} = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W$  : L'effort tranchant statique à la base du bâtiment.

Tel que :

**A: Coefficient d'accélération de zone**                      **RPA99v2003(tableau 4.1)**

{ Groupe d'usage (2)  
Zone sismique (IIa)                      **>> A = 0,15**

**R: Coefficient de comportement de la structure**

Dans le cas de notre projet, on adopte un système de contreventement mixte portiques-voiles avec justification de l'interaction, donc : **R = 5**. **RPA99v2003(tableau 4.3)** .

**D: Facteur d'amplification dynamique moyen.**

$$D = \begin{cases} 2.5\eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0 \text{ s} \text{ RPA99/2003 (Formule 4.2).} \\ 2.5\eta \left(\frac{T_2}{3.0}\right)^{2/3} \left(\frac{3.0}{T}\right)^{5/3} & T \geq 3.0 \text{ s} \end{cases}$$

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0,7 \quad \text{RPA99/2003 (Formule 4.3).}$$

$\xi$  : Le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif, du type de structure et de l'importance des remplissages. (**Tableau 4.2 RPA99/version 2003**).

$$\xi = (10+7)/2 = 8,5\% \quad \text{ce qui donne} \quad \eta = 0,816$$

$$\text{Site ferme (S2) donc:} \quad T_1 = 0,15 \text{ s} \quad T_2 = 0,40 \text{ s}$$

### Calcul de la période fondamentale de la structure

Selon le RPA99/2003(Art 4.2.4) la période peut être de deux manières :

$$1) \quad T = C_T \times H_N^{3/4}. \quad \text{RPA99v2003 (4.6)}$$

$$H_N : \text{ hauteur de la structure} \quad \gg \quad H_N = 42,8 \text{ m.}$$

$C_T$  : coefficient en fonction du système de contreventement, et du type de remplissage, et donnée par le tableau : **RPA99v2003 (tableau 4.6)**  $\gg C_T = 0,05$

$$\text{Donc : } T = 0,05 \times (42,8)^{3/4} = 0,83 \text{ s.}$$

$$2) \quad T = 0,09 \times \frac{H_N}{\sqrt{L}}. \quad \text{RPA99v2003.}$$

$$\text{On a : } \begin{cases} L_x = 16,98 \text{ m} & T_x = 0,93 \text{ s.} \\ L_y = 23,87 \text{ m} & T_y = 0,78 \text{ s.} \end{cases}$$

$$\text{Donc : } \begin{cases} T_x = \min(0,93 \text{ s} ; 0,83 \text{ s}) \gg T_x = 0,83 \text{ s.} \\ T_y = \min(0,78 \text{ s} ; 0,83 \text{ s}) \gg T_y = 0,78 \text{ s} \end{cases}$$

$$\text{Ce qui donne : } T_2 \leq (T_x; T_y) \leq 3 \text{ s} \gg D = 2,5 \eta \left(\frac{T_2}{T}\right)$$

$$\text{Donc : } D_x = 1,25 \quad D_y = 1,30$$

**Q: Facteur de qualité**

Sa valeur est déterminée par la formule suivante :  $Q = 1 + \sum_1^6 P_q$  **RPA99v2003 (4.4)**

**Avec :**  $P_q$  : est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité (q) est observé ou non.

Les valeurs à retenir sont dans le tableau IV.1.

**Tableau III-1:** Valeurs des pénalités  $P_q$

| N° | « Critère q »   | Observation |        | Pénalités |        |
|----|---|-------------|--------|-----------|--------|
|    |   | Sens X      | Sens-Y | Sens X    | Sens-Y |
| 1  | Conditions minimales sur les files de contreventement | Non         | Non    | 0,05      | 0,05   |
| 2  | Redondance en plan                                    | Non         | Non    | 0,05      | 0,05   |
| 3  | Régularité en plan                                    | Non         | Non    | 0,05      | 0,05   |
| 4  | Régularité en élévation                               | Non         | Non    | 0,05      | 0,05   |
| 5  | Contrôle de qualité des matériaux                     | Oui         | Oui    | 0         | 0      |
| 6  | Contrôles d'exécution                                 | Oui         | Oui    | 0         | 0      |
|    |   | $\sum P_q$  |        | 0,02      | 0,02   |

Donc :  $Q_x = 1,20$        $Q_y = 1,20$

**W: Poids total de la structure**

$$W = \sum_{i=1}^n W_i \quad \text{Avec } W_i = W_{Gi} + \beta \times W_{Qi} \quad \text{RPA99/2003 (Formule 4.5)}$$

$W_{Gi}$  : Poids dû aux charges permanentes et à celles des équipements fixes éventuels, solidaires à la structure.

$W_{Qi}$  : Charges d'exploitation.

$\beta$  : Coefficient de pondération, il est fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation. **RPA99/2003 (Formule 4.5)**

$$\beta = 0,2(\text{habitation}) \quad \beta = 0,6(\text{parking}) \quad \beta = 0,6(\text{commerce})$$

D'après le logiciel **ETABS2016** du poids total de la structure trouvée est  $W = 42440,0678$  KN

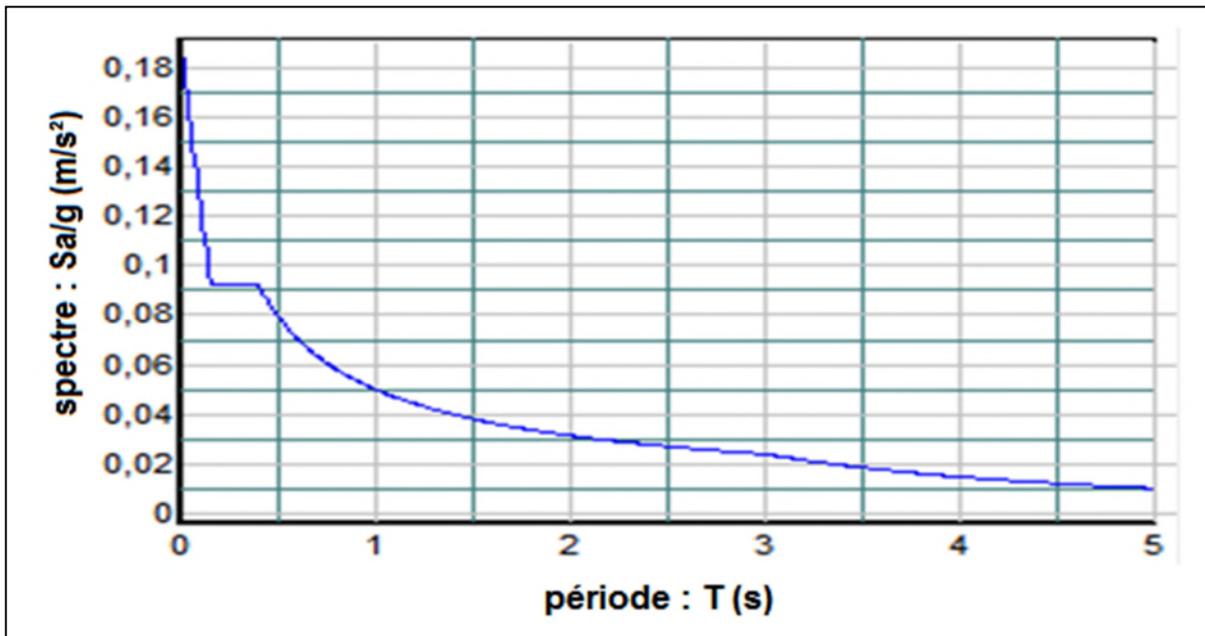
$$\text{Donc : } \begin{cases} V_{st}^x = \frac{A \times D_x \times Q_x}{R} \times W = \frac{0,15 \times 1,25 \times 1,20}{5} \times 42440,0678 = 1909,80 \text{ KN} \\ V_{st}^y = \frac{A \times D_y \times Q_y}{R} \times W = \frac{0,15 \times 1,30 \times 1,20}{5} \times 42440,0678 = 1986,19 \text{ KN} \end{cases}$$

**Spectre de réponse de calcul**

Le spectre réglementaire de calcul est donné par l'expression suivante :

$$\frac{S_a}{g} = \begin{cases} 1.25 \times A \times \left( 1 + \frac{T}{T_1} \left( 2.5\eta \frac{Q}{R} - 1 \right) \right) & 0 \leq T \leq T_1 \\ 2.5 \times \eta \times (1.25A) \times \left( \frac{Q}{R} \right) & T_1 \leq T \leq T_2 \\ 2.5 \times \eta \times (1.25A) \times \left( \frac{Q}{R} \right) \times \left( \frac{T_2}{T} \right)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3.0 \text{ s} \\ 2.5 \times \eta \times (1.25A) \times \left( \frac{T_2}{3} \right)^{2/3} \times \left( \frac{3}{T} \right)^{5/3} \times \left( \frac{Q}{R} \right) & T > 3.0 \text{ s} \end{cases}$$

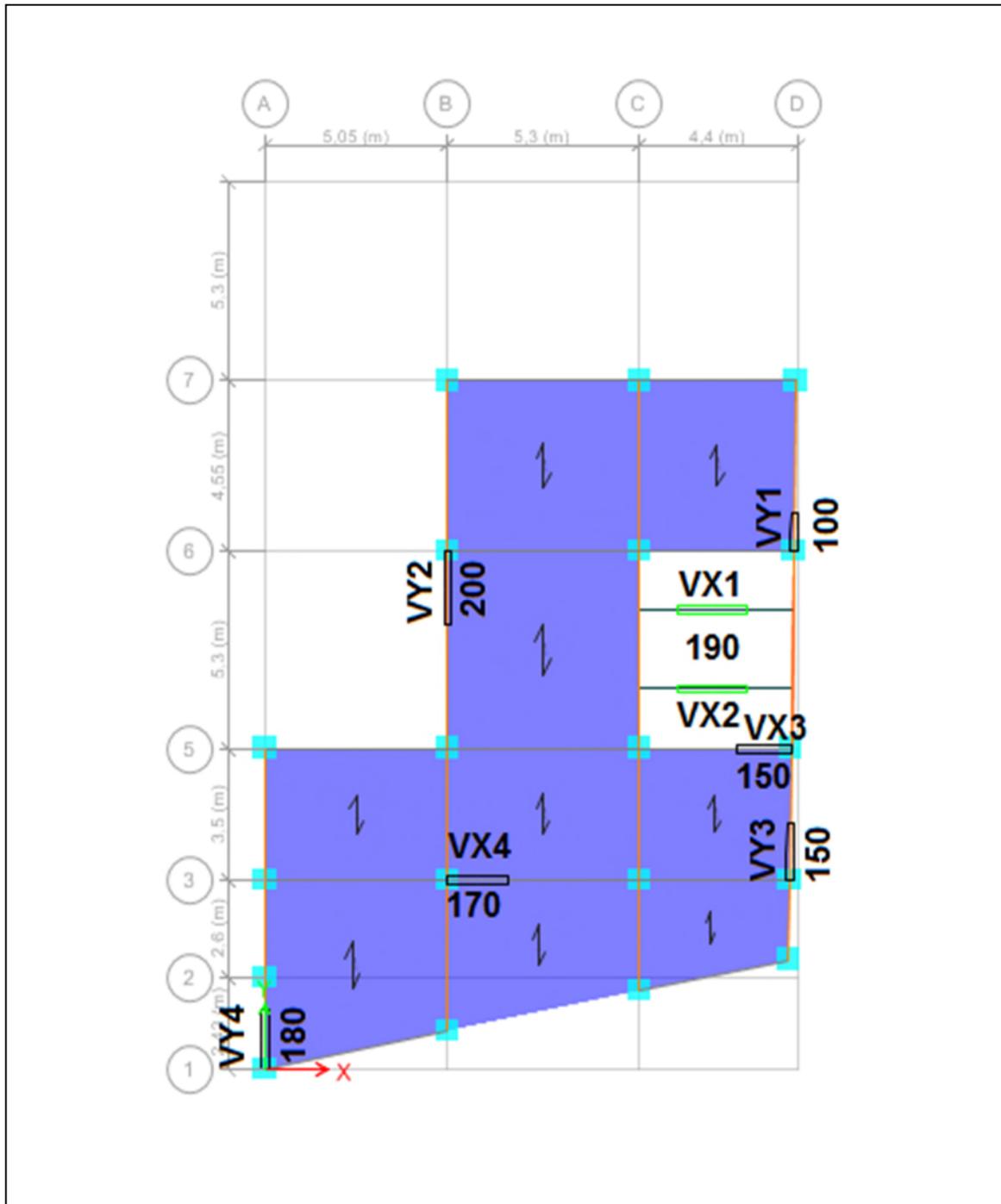
Caractéristique du spectre :



**Figure III-2** : Spectre de réponse donné par le logiciel RPA

**III-5 : dispositions des voiles de contreventement :**

Après la modélisation de notre structure en utilisant logiciel ETABS 2016, nous avons obtenu les résultats suivante :



**Figure III-3 :** plan de disposition des voiles de contreventement

**III-6 : Vérification et interprétation des résultats de l'analyse dynamique**

- **Modes de vibration et taux de participation des masses modales**

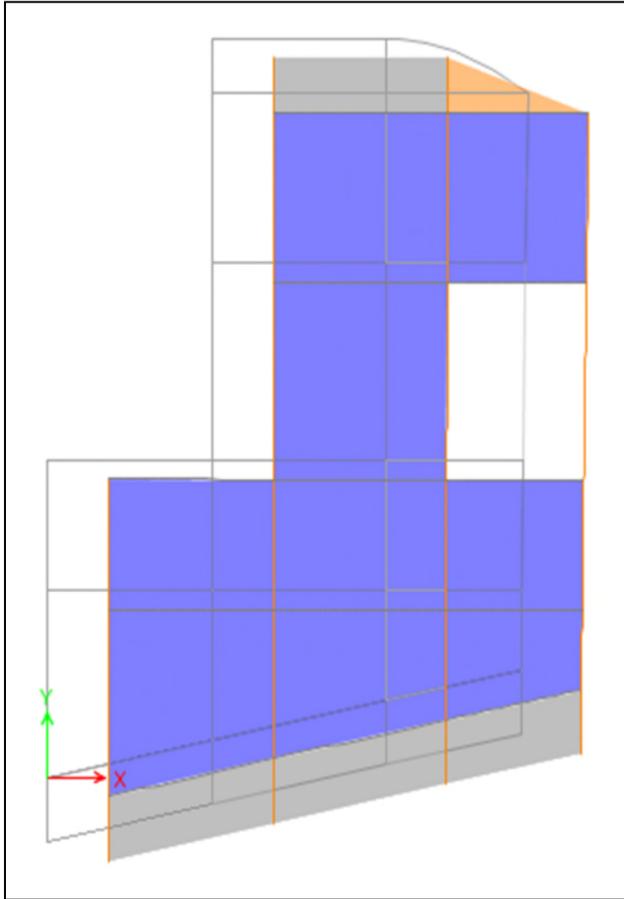
Le **RPA99/2003(art 4.3.4)** exige que la somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90 % au moins de la masse totale de la structure.

**Tableau III-2** Périodes et taux de participation  
massique de la structure

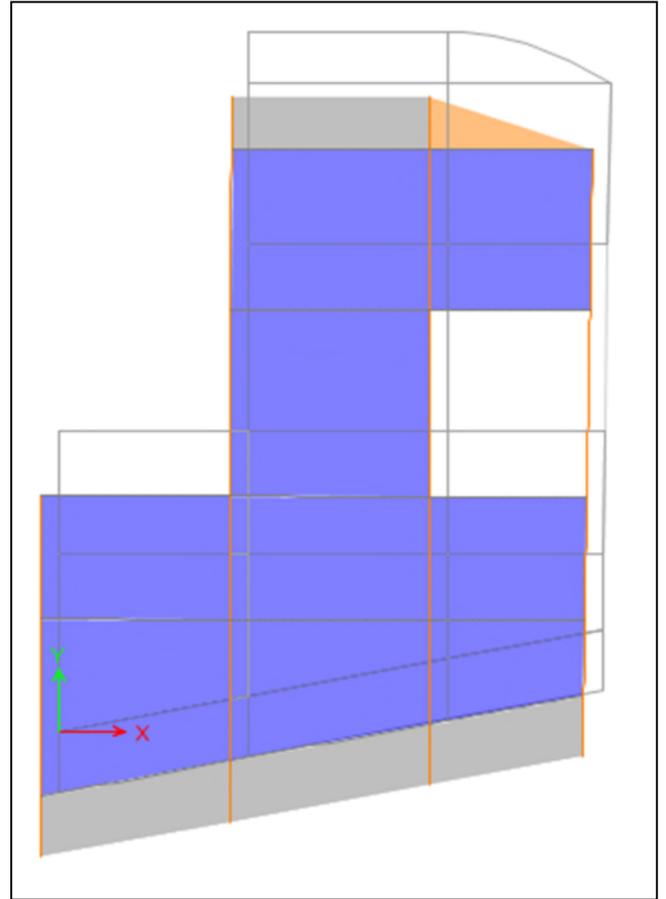
| Modes | Période (s) | (%) de la Masse modale |                | (%) Cumulé de la masse modale |                |
|-------|-------------|------------------------|----------------|-------------------------------|----------------|
|       |             | Suivant X (UX)         | Suivant Y (UY) | Suivant X (UX)                | Suivant Y (UY) |
| 1     | 0,986       | 0,692                  | 0,0506         | 0,692                         | 0,0506         |
| 2     | 0,904       | 0,0536                 | 0,6901         | 0,7456                        | 0,7407         |
| 3     | 0,564       | 0,0001                 | 0,0001         | 0,7457                        | 0,7408         |
| 4     | 0,31        | 0,1132                 | 0,0067         | 0,8589                        | 0,7475         |
| 5     | 0,285       | 0,005                  | 0,117          | 0,8638                        | 0,8645         |
| 6     | 0,196       | 0,00001249             | 0,0002         | 0,8638                        | 0,8647         |
| 7     | 0,163       | 0,0412                 | 0,0012         | 0,905                         | 0,8658         |
| 8     | 0,152       | 0,0008                 | 0,0423         | 0,9058                        | 0,9081         |
| 9     | 0,114       | 0,0001                 | 0,0006         | 0,906                         | 0,9087         |
| 10    | 0,107       | 0,0231                 | 0,0004         | 0,9291                        | 0,9091         |
| 11    | 0,1         | 0,0003                 | 0,0224         | 0,9294                        | 0,9315         |
| 12    | 0,091       | 0,000002734            | 0,000002611    | 0,9294                        | 0,9315         |

**Analyse des résultats :**

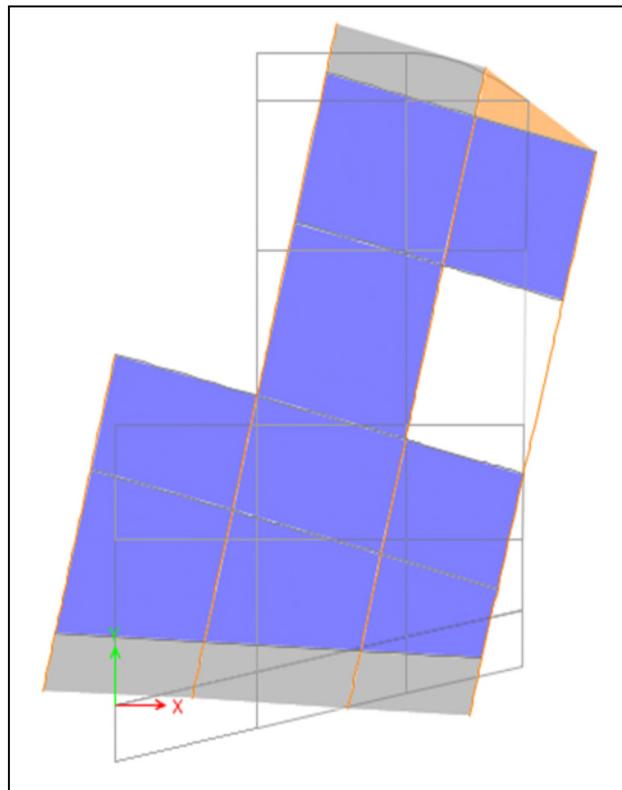
- La participation modale du premier mode suivant la direction X est prépondérante avec un taux de 69,2%, ce qui conduit à un mode de translation selon cette direction.
- Le deuxième mode est un mode de translation selon la direction Y avec un taux de participation massique de 69,01% selon cette direction.
- La condition du RPA99v2003 (Art. 4.3.4) relative aux nombre de modes à retenir est satisfaite à partir du 7ème mode dans la direction X, et à partir du 8ème mode dans la direction Y.
- Les trois premiers modes de vibration sont montrés sur les figures ci-dessous :



**Figure III-4** : 1er Mode de vibration - Translation suivant l'axe X



**Figure III-5** : 2ème Mode de vibration - Translation suivant l'axe Y-



**Figure III-6** : 3ème Mode de vibration - Rotation autour de l'axe Z-

**III-7 : Vérification des résultats obtenus vis-à-vis des exigences du RPA99/2003**

**III-7-1 : Vérification de la résultante de la force sismique à la base**

Le RPA99/2003 exige de vérifier la relation suivante  $V_{dyn} \geq 0,8 V_{st}$

**Tableau III-3 : Vérification de la résultante des forces sismiques à la base**

| Force sismique à la base | $V_{dyn}$ | $0,8V_{st}$ | Observation |
|--------------------------|-----------|-------------|-------------|
| Suivant X-X              | 1654,5112 | 1527,84     | Vérifiée    |
| Suivant Y-Y              | 1720,059  | 1588,952    | Vérifiée    |

**III-7-2 : Vérification vis-à-vis de la période**

$1,3T_{empirique} \geq T_{numérique}$

**Tableau III-4 : vérification de la période**

| Sens   | $1,3T_{empirique}$ | $T_{numérique}$ | Observation |
|--------|--------------------|-----------------|-------------|
| Sens-X | 1,079              | 0,986           | Vérifiée    |
| Sens-Y | 1,014              | 0,904           | Vérifiée    |

**III-7-3 : Justification de l'interaction voile-portique**

Le RPA99/2003 (Art3.4.a) exige pour les systèmes mixtes ce qui suit :

✓ **Sous charges verticales**

Les voiles doivent reprendre au moins 20% des sollicitations.

Les portiques doivent reprendre au plus 80% des sollicitations.

✓ **Sous charges horizontales**

Les voiles doivent reprendre au plus 75% des sollicitations.

Les portiques doivent reprendre au moins 25% des sollicitations.

**Tableau III-5 : Vérification de l'interaction voiles-portiques sous charges verticales**

| Niveaux | Charges verticales (KN) |          | (%) des charges verticales |            |
|---------|-------------------------|----------|----------------------------|------------|
|         | Portiques               | Voiles   | Portiques                  | Voiles     |
| E-sol   | 36377,4172              | 8970,354 | 80,2187544                 | 19,7812456 |

**Tableau III-6 : Vérification de l'interaction voiles-  
portiques sous charges horizontales sens x**

| Niveaux          | Interaction selon X-X |          |                              |            |
|------------------|-----------------------|----------|------------------------------|------------|
|                  | Charges horizontales  |          | (%) des charges horizontales |            |
|                  | Portiques             | Voiles   | Portiques                    | Voiles     |
| <b>E-sol</b>     | 1137,1882             | 758,9192 | 59,9748833                   | 40,0251167 |
| <b>RDC</b>       | 1121,6719             | 750,5996 | 59,9096819                   | 40,0903181 |
| <b>soupenete</b> | 853,4741              | 598,4742 | 58,781301                    | 41,218699  |
| <b>1</b>         | 973,756               | 442,9217 | 68,7351823                   | 31,2648177 |
| <b>2</b>         | 899,9229              | 466,6623 | 65,8519425                   | 34,1480575 |
| <b>3</b>         | 892,5831              | 424,8268 | 67,7528763                   | 32,2471237 |
| <b>4</b>         | 793,0845              | 438,4305 | 64,3990938                   | 35,6009062 |
| <b>5</b>         | 766,2703              | 377,9011 | 66,9716355                   | 33,0283645 |
| <b>6</b>         | 678,1343              | 365,3534 | 64,9872826                   | 35,0127174 |
| <b>7</b>         | 632,355               | 302,994  | 67,6063159                   | 32,3936841 |
| <b>8</b>         | 517,6522              | 287,9729 | 64,2547259                   | 35,7452741 |
| <b>9</b>         | 442,1004              | 223,62   | 66,4093214                   | 33,5906786 |
| <b>10</b>        | 317,6073              | 181,4515 | 63,6412583                   | 36,3587417 |
| <b>terrasse</b>  | 271,749               | 60,6637  | 81,7504867                   | 18,2495133 |
| <b>toiture</b>   | 82,511                | 17,3202  | 82,6505141                   | 17,3494859 |

**Tableau III-7 : Vérification de l'interaction voiles-portiques  
sous charges horizontales sent y**

| Niveaux          | Interaction selon Y-Y |          |                              |            |
|------------------|-----------------------|----------|------------------------------|------------|
|                  | Charges horizontales  |          | (%) des charges horizontales |            |
|                  | Portiques             | Voiles   | Portiques                    | Voiles     |
| <b>E-sol</b>     | 1147,6292             | 820,8153 | 58,3013237                   | 41,6986763 |
| <b>RDC</b>       | 1217,6072             | 735,4081 | 62,3449903                   | 37,6550097 |
| <b>soupenete</b> | 1036,7534             | 714,3207 | 59,206712                    | 40,793288  |
| <b>1</b>         | 1196,4435             | 490,4273 | 70,9268013                   | 29,0731987 |
| <b>2</b>         | 1068,7017             | 532,6212 | 66,7386759                   | 33,2613241 |
| <b>3</b>         | 1052,4781             | 469,8988 | 69,1338722                   | 30,8661278 |
| <b>4</b>         | 953,5227              | 462,8098 | 67,3233651                   | 32,6766349 |
| <b>5</b>         | 907,8963              | 396,9948 | 69,5764037                   | 30,4235963 |
| <b>6</b>         | 767,6611              | 416,1054 | 64,8490306                   | 35,1509694 |
| <b>7</b>         | 708,4492              | 345,1157 | 67,2430526                   | 32,7569474 |
| <b>8</b>         | 599,3672              | 304,6499 | 66,3004273                   | 33,6995727 |
| <b>9</b>         | 463,2407              | 273,4881 | 62,8780496                   | 37,1219504 |
| <b>10</b>        | 355,4335              | 191,6933 | 64,9636428                   | 35,0363572 |
| <b>terrasse</b>  | 255,0257              | 85,3465  | 74,9255374                   | 25,0744626 |
| <b>toiture</b>   | 67,4868               | 29,3421  | 69,6969603                   | 30,3030397 |

Pour satisfaire la vérification de l'interaction voiles-portiques, on a augmenté les sections des poteaux comme suit :

**Tableau III-8 : les sections des poteaux**

| ES1-2 | RDC   | soupe<br>nte | 01-02 | 03-04 | 05-06 | 07    | 08    | 09    | 10    | Terrass<br>e |
|-------|-------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 75×75 | 70×75 | 70×70        | 65×70 | 65×65 | 60×65 | 60×60 | 55×60 | 55×55 | 50×55 | 50×50        |

**III-7-4 : Vérification de l'effort normale réduit**

L'effort normal réduit doit être vérifié, afin d'éviter ou de limiter le risque de rupture fragile sous sollicitations d'ensemble dues au séisme.

La formule utilisée est la suivante  $\sigma = \frac{N^{sismique}}{B \times f_{c28}} \leq 0.3 \rightarrow \frac{N}{B} \leq 0.3 f_{c28}$ .

**Tableau III-9 : vérification de l'effort normal réduit**

| Niveaux  | B (m <sup>2</sup> ) | N (KN)    | $\sigma$   | Observation |
|----------|---------------------|-----------|------------|-------------|
| E-sol    | 0,5625              | 3466,2785 | 0,24649092 | Vérifiée    |
| RDC      | 0,5625              | 3174,1375 | 0,22571644 | Vérifiée    |
| Soupent  | 0,525               | 2787,0564 | 0,21234715 | Vérifiée    |
| Etage 1  | 0,49                | 2479,288  | 0,20239086 | Vérifiée    |
| Etage 2  | 0,455               | 2206,4732 | 0,19397567 | Vérifiée    |
| Etage 3  | 0,455               | 1969,1306 | 0,17311038 | Vérifiée    |
| Etage 4  | 0,4225              | 1729,4884 | 0,16373855 | Vérifiée    |
| Etage 5  | 0,4225              | 1506,7654 | 0,14265235 | Vérifiée    |
| Etage 6  | 0,39                | 1289,1442 | 0,13221992 | Vérifiée    |
| Etage 7  | 0,39                | 1089,4864 | 0,11174219 | Vérifiée    |
| Etage 8  | 0,36                | 896,4714  | 0,09960793 | Vérifiée    |
| Etage 9  | 0,33                | 718,5579  | 0,08709793 | Vérifiée    |
| Etage 10 | 0,3025              | 547,5668  | 0,07240553 | Vérifiée    |
| Terrasse | 0,275               | 363,6801  | 0,05289892 | Vérifiée    |
| toiture  | 0,25                | 154,3472  | 0,02469555 | Vérifiée    |

**III-7-5 : Vérification vis-à-vis les déformations**

Selon le RPA99/2003 (Art 5.10), les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages qui lui sont adjacents, ne doivent pas dépasser 1.0% de la hauteur de l'étage.

Le déplacement relatif au niveau "k" par rapport au niveau "k-1" est égale à :

$\Delta_K = \delta_K - \delta_{K-1}$                       **RPAv2003 (art 4.4.3)**

Avec:  $\delta_K = R \times \delta_{eK}$       **RPAv2003 (art 4.4.3)**

$\delta_{eK}$ : Déplacement dû aux forces sismiques  $F_i$  (y compris l'effet de torsion)

**R** : coefficient de comportement dynamique (R=5)

**Tableau III-10 : Vérifications des déplacements**

| niveaux         | $h_K$<br>(mm) | Sens-x                |                    |                        |                    |                             | Sens-y                |                    |                        |                    |                             |
|-----------------|---------------|-----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|-----------------------------|
|                 |               | $\delta_{eK}$<br>(mm) | $\delta_K$<br>(mm) | $\delta_{K-1}$<br>(mm) | $\Delta_K$<br>(mm) | $\Delta_K/h_K$<br>$10^{-2}$ | $\delta_{eK}$<br>(mm) | $\delta_K$<br>(mm) | $\delta_{K-1}$<br>(mm) | $\Delta_K$<br>(mm) | $\Delta_K/h_K$<br>$10^{-2}$ |
| <b>E-sol2</b>   | 2850          | 0,646                 | 3,23               | 0                      | 3,23               | 0,1133                      | 0,597                 | 2,985              | 0                      | 2,985              | 0,104                       |
| <b>RDC</b>      | 2850          | 1,902                 | 9,51               | 3,23                   | 6,28               | 0,220                       | 1,714                 | 8,57               | 2,985                  | 5,585              | 0,195                       |
| <b>Soup</b>     | 3500          | 3,650                 | 18,25              | 9,51                   | 8,74               | 0,249                       | 3,223                 | 16,11              | 8,57                   | 7,545              | 0,215                       |
| <b>01</b>       | 2800          | 5,103                 | 25,51              | 18,25                  | 7,26               | 0,259                       | 4,442                 | 22,21              | 16,11                  | 6,095              | 0,217                       |
| <b>02</b>       | 2800          | 6,516                 | 32,58              | 25,51                  | 7,06               | 0,252                       | 5,683                 | 28,41              | 22,21                  | 6,205              | 0,221                       |
| <b>03</b>       | 2800          | 7,891                 | 39,45              | 32,58                  | 6,87               | 0,245                       | 6,917                 | 34,58              | 28,41                  | 6,170              | 0,220                       |
| <b>04</b>       | 2800          | 9,230                 | 46,15              | 39,45                  | 6,69               | 0,239                       | 8,130                 | 40,65              | 34,58                  | 6,065              | 0,216                       |
| <b>05</b>       | 2800          | 10,50                 | 52,52              | 46,15                  | 6,37               | 0,227                       | 9,298                 | 46,49              | 40,65                  | 5,840              | 0,208                       |
| <b>06</b>       | 2800          | 11,70                 | 58,52              | 52,52                  | 6                  | 0,214                       | 10,41                 | 52,09              | 46,49                  | 5,605              | 0,200                       |
| <b>07</b>       | 2800          | 12,81                 | 64,06              | 58,52                  | 5,81               | 0,207                       | 11,46                 | 57,31              | 52,09                  | 5,215              | 0,186                       |
| <b>08</b>       | 2800          | 13,82                 | 69,12              | 64,06                  | 5,06               | 0,180                       | 12,42                 | 62,10              | 57,31                  | 4,790              | 0,171                       |
| <b>09</b>       | 2800          | 14,71                 | 73,59              | 69,12                  | 4,46               | 0,159                       | 13,28                 | 66,43              | 62,10                  | 4,130              | 0,147                       |
| <b>10</b>       | 2800          | 15,49                 | 77,45              | 73,59                  | 3,86               | 0,138                       | 14,04                 | 70,22              | 66,43                  | 3,790              | 0,135                       |
| <b>Terrasse</b> | 2800          | 16,24                 | 81,20              | 77,45                  | 3,74               | 0,133                       | 14,70                 | 73,54              | 70,22                  | 3,325              | 0,118                       |
| <b>toiture</b>  | 2800          | 16,91                 | 84,59              | 81,20                  | 3,39               | 0,121                       | 15,16                 | 75,83              | 73,54                  | 2,29               | 0,0817                      |

**Remarque :** tous les déplacements relatifs des niveaux sont inférieurs à 1% de la hauteur d'étage.

**III-7-6 : Vérification vis-à-vis les efforts P-Δ**

Les effets du 2<sup>ème</sup> ordre (**ou effet P-Δ**) sont les effets dus aux charges verticales après déplacement. Ils peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = P_k \times \frac{\Delta_K}{V_K \times h_K} \leq 0,1 \quad (7.1)$$

$P_k$ : Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau (k).

$$P_k = \sum_{i=K}^n (W_{Gi} + \beta W_{qi})$$

$V_K = \sum_{i=K}^n F_i$ : Effort tranchant d'étage au niveau "k"

$\Delta_K$ : Déplacement relatif du niveau "k" par rapport au niveau "k-1",

$h_K$ : Hauteur de l'étage "k".

### Chapitre III : Etude sismique de l'ouvrage

- Si  $0.1 \leq \theta_K \leq 0.2$ , les effets P- $\Delta$  peuvent être pris en compte de manière approximative en amplifiant les effets de l'action sismique calculé au moyen d'une analyse élastique du 1<sup>er</sup> ordre par le facteur  $1/(1 - \theta_K)$ .
- Si  $\theta_K > 0.2$ , la structure est potentiellement instable et elle doit être redimensionnée.

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Les résultats de la vérification sont obtenu dans le tableau ci-dessous :

**Tableau III-11** : Justification vis-à-vis de l'effet P- $\Delta$

| niveaux  | $h_K$<br>(mm) | $P_K$ (KN) | Sens-x          |          |          | Sens-y          |          |          |
|----------|---------------|------------|-----------------|----------|----------|-----------------|----------|----------|
|          |               |            | $\Delta_K$ (mm) | $V$ (KN) | $\phi_K$ | $\Delta_K$ (mm) | $V$ (KN) | $\phi_K$ |
| E-sol2   | 2850          | 41251,79   | 3,23            | 1654,51  | 0,02825  | 2,985           | 1720,059 | 0,0251   |
| RDC      | 2850          | 37524,65   | 6,28            | 1634,18  | 0,05059  | 5,585           | 1697,933 | 0,0433   |
| Soup     | 3500          | 34056,32   | 8,74            | 1586,71  | 0,0535   | 7,545           | 1649,080 | 0,0445   |
| 01       | 2800          | 31226,37   | 7,26            | 1520,25  | 0,0532   | 6,095           | 1580,978 | 0,0429   |
| 02       | 2800          | 28274,74   | 7,06            | 1444,35  | 0,0493   | 6,205           | 1503,504 | 0,0416   |
| 03       | 2800          | 25703,37   | 6,87            | 1370,09  | 0,0460   | 6,170           | 1427,274 | 0,0396   |
| 04       | 2800          | 22809,28   | 6,69            | 1275,96  | 0,0427   | 6,065           | 1329,893 | 0,0371   |
| 05       | 2800          | 19913,26   | 6,37            | 1175,86  | 0,0385   | 5,840           | 1225,755 | 0,0338   |
| 06       | 2800          | 17060,45   | 6               | 1070,27  | 0,0341   | 5,605           | 1115,650 | 0,0306   |
| 07       | 2800          | 14203,02   | 5,81            | 953,857  | 0,0309   | 5,215           | 994,1198 | 0,0266   |
| 08       | 2800          | 11385,48   | 5,06            | 821,405  | 0,0250   | 4,790           | 855,7958 | 0,0227   |
| 09       | 2800          | 8607,756   | 4,46            | 672,477  | 0,0204   | 4,130           | 700,4193 | 0,0181   |
| 10       | 2800          | 5823,280   | 3,86            | 503,121  | 0,0159   | 3,790           | 523,6902 | 0,0150   |
| Terrasse | 2800          | 3123,958   | 3,74            | 308,391  | 0,0135   | 3,325           | 321,1833 | 0,0115   |
| Toiture  | 2800          | 519,531    | 3,39            | 80,6779  | 0,0078   | 2,29            | 83,9641  | 0,00506  |

**Remarque** : les valeurs de  $\theta_K$  sont inférieures à 0,1 pour tous les niveaux dans les deux sens de calcul (x et y).

**Conclusion** :

**Tableau III-12** : Dimensions finales des éléments de contreventement

| Niveaux                       | E.S<br>1,2               | RDC   | Soup  | 1+2   | 3+4   | 5+6   | 7     | 8     | 9     | 10    | Terrasse |
|-------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| Poteaux<br>(cm <sup>2</sup> ) | 75×75                    | 70×75 | 70×70 | 65×70 | 65×65 | 60×65 | 60×60 | 55×60 | 55×55 | 50×55 | 50×50    |
| Voiles (cm)                   | <b>Epaisseur : 20 cm</b> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |
| P.<br>principale              | <b>(30×40)</b>           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |
| P.<br>secondaire              | <b>(30×35)</b>           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |

# **Chapitre IV :**

**Ferrailage des éléments de  
contreventement et dispositions  
constructives**

Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives

IV-1 : introduction

A ce stade nous allons présenter le dimensionnement retenu et le ferrailage des éléments structuraux, les différentes sollicitations qui seront considérées ultérieurement ont été obtenues de l'analyse sismique de la structure.

IV-2 : Etude des poutres

Les poutres sont calculées en flexion simple sous l'action des sollicitations les plus défavorables (Moment fléchissant et effort tranchant) résultant des combinaisons suivantes :

$$\text{ELU : } \begin{cases} 1,35G + 1,5Q \\ G + Q \pm E \\ 0,8G \pm E \end{cases} \quad \text{ELS : } G + Q$$

IV-2-1 : Recommandation du RPAv2003

a- Coffrage

$$\begin{cases} b \geq 20 \text{ cm} \\ h \geq 30 \text{ cm} \\ b_{max} \leq 1,5 h + b_1 \end{cases} \quad \text{et } \frac{h}{b} \leq 4 \quad (\text{art 7.5.1})$$

b- Ferrailage

Les armatures longitudinales RPA 99/2003 (article 7.4.2.1)

- Le pourcentage total minimum des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est de 0.5% de la section de la poutre (en zone II.a).
- ✓ Poutres secondaires (30×35)  $\gg A_{min} = 0,5 \% (30 \times 35) = 5,25 \text{ cm}^2$
- ✓ Poutres principales (30×40)  $\gg A_{min} = 0,5 \% (30 \times 40) = 6 \text{ cm}^2$
- Le pourcentage total maximum des aciers longitudinaux est de :

$$\checkmark A_{max} = \begin{cases} 4\% \text{ en zone courante} \\ 6\% \text{ en zone de recouvrement} \end{cases} \quad (\text{zone II.a})$$

- ✓ Poutres secondaires (30×35)  $\gg A_{max}^{Z.courante} = 4 \% (30 \times 35) = 42 \text{ cm}^2$
- ✓ Poutres principales (30×40)  $\gg A_{max}^{Z.courante} = 4 \% (30 \times 40) = 48 \text{ cm}^2$
- ✓ Poutres secondaires (30×35)  $\gg A_{max}^{Z.recouvrement} = 6 \% (30 \times 35) = 63 \text{ cm}^2$
- ✓ Poutres principales (30×40)  $\gg A_{max}^{Z.recouvrement} = 6 \% (30 \times 40) = 72 \text{ cm}^2$

- Les poutres supportant de faibles charges verticales et sollicitées principalement par les forces latérales sismiques doivent avoir des armatures symétriques avec une section en travée au moins égale à la moitié de la section sur appui.

- La longueur minimale des recouvrements est de :
  - ✓  $40\phi$  En zone II<sub>a</sub>.
  - ✓ Avec  $\phi_{max}$  est le diamètre maximal utilisé
- Les cadres du nœud disposés comme armatures transversales des poteaux, sont constitués de 2U superposés formant un carré ou un rectangle (là où les circonstances s'y prêtent, des cadres traditionnels peuvent également être utilisés).

**Les armatures transversales RPA 99/2003 (article 7.5.2.2)**

- La quantité d'armatures transversales minimales est donnée par :  $A_t = 3\% s_t \times b$

Avec  $s_t$  : L'espacement maximum entre les armatures transversales est déterminé comme

$$\text{suit : } \begin{cases} s_t \leq \min \left( \frac{h}{4} ; 12 \phi_l \right) ; \text{ zone nodale (zone II)} \\ s_t \leq \frac{h}{2} ; \text{ Zone courante (zone II)} \end{cases}$$

$\phi_l$  : Le petit diamètre utilisé.

h : hauteur de la poutre.

- Les premières armatures transversales doivent être disposées à 5cm au plus du nu d'appui ou de l'encastrement.

**IV-2-2 ferrailage des poutres**

Les sollicitations les plus défavorables sont obtenues par logiciel ETABS2016, et sont résumés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau IV-1 : sollicitations dans les poutres principales associées aux voiles**

| Niveau         | Poutres | Section (cm <sup>2</sup> ) | Local  | comb | ELU      |        |
|----------------|---------|----------------------------|--------|------|----------|--------|
|                |         |                            |        |      | M (KN.M) | V (KN) |
| Entresol 2     | P.P     | 30×40                      | Appui  | ELUA | 43,93    | 55,90  |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 37,01    |        |
| RDC            | P.P     | 30×40                      | Appui  | ELUA | 77,01    | 136,99 |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 60,72    |        |
| Soup...toiture | P.P     | 30×40                      | Appui  | ELUA | 72,04    | 125,31 |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 58,55    |        |

**Tableau IV-2 : sollicitations dans les poutres secondaire associées aux voiles**

| Niveau         | Poutres | Section (cm <sup>2</sup> ) | Local  | comb | ELU      |        |
|----------------|---------|----------------------------|--------|------|----------|--------|
|                |         |                            |        |      | M (KN.M) | V (KN) |
| Entresol 2     | P.S     | 30×35                      | Appui  | ELUA | 55,72    | 151,21 |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 62,15    |        |
| RDC            | P.S     | 30×35                      | Appui  | ELUA | 67,50    | 192,96 |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 82,84    |        |
| Soup...toiture | P.S     | 30×35                      | Appui  | ELUA | 76,39    | 285,05 |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 92,76    |        |

**Tableau IV-3** : sollicitations dans les poutres principales non associées aux voiles

| Niveau         | Poutres | Section (cm <sup>2</sup> ) | Local  | comb | ELU      |        |
|----------------|---------|----------------------------|--------|------|----------|--------|
|                |         |                            |        |      | M (KN.M) | V (KN) |
| Entresol 2     | P.P     | 30×40                      | Appui  | ELUA | 23,39    | 16,68  |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 17,73    |        |
| RDC            | P.P     | 30×40                      | Appui  | ELUA | 37,59    | 34,99  |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 21,84    |        |
| Soup...toiture | P.P     | 30×40                      | Appui  | ELUA | 43,80    | 33,24  |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 28,43    |        |

**Tableau IV-4** : sollicitations dans les poutres secondaires non associées aux voiles

| Niveau         | Poutres | Section (cm <sup>2</sup> ) | Local  | comb | ELU      |        |
|----------------|---------|----------------------------|--------|------|----------|--------|
|                |         |                            |        |      | M (KN.M) | V (KN) |
| Entresol 2     | P.S     | 30×35                      | Appui  | ELUA | 17,49    | 26,24  |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 16,72    |        |
| RDC            | P.S     | 30×35                      | Appui  | ELUA | 23,42    | 29,10  |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 16,18    |        |
| Soup...toiture | P.S     | 30×35                      | Appui  | ELUA | 34,95    | 30,18  |
|                |         |                            | Travée | ELUA | 19,93    |        |

**Exemple de calcul (ferrailage)**

Poutre principale associées aux voiles (RDC)

b=30cm h=40cm d=38cm , situation accidentelle

$$\mu_{bu} = \frac{M_{tmax}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{60,72 \times 10^{-3}}{0,3 \times 0,375^2 \times 14,2} = 0,101 < 0,186 \text{ donc } A' = 0$$

$$f_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1} = 400 \text{ MPA}$$

$$\alpha = 1,25 \left( 1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}} \right) = 0,133$$

$$Z = d (1 - 0,4\alpha) = 0,354$$

$$A_t = \frac{M_t}{f_{st} \times Z} = 4,27 \text{ cm}^2$$

**Tableau IV-5 : ferrailage des poutres principales associées aux voiles**

| Niveau         | poutre | Section (cm <sup>2</sup> ) | local  | $A_{min}$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_{adop}$ (cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------|----------------------------|--------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Entresol 2     | P.P    | 30×40                      | Appui  | 6                            | 3,02                         | 3HA12=3,39                    |
|                |        |                            | Travée |                              | 2,53                         | 3HA12=3,39                    |
| RDC            | P.P    | 30×40                      | Appui  |                              | 5,43                         | 5HA12=5,65                    |
|                |        |                            | Travée |                              | 4,27                         | 4HA12=4,52                    |
| Soup...toiture | P.P    | 30×40                      | Appui  |                              | 5,06                         | 5HA12=5,65                    |
|                |        |                            | Travée |                              | 4,07                         | 4HA12=4,52                    |

**Tableau IV-6 : ferrailage des poutres secondaire associées aux voiles**

| Niveau         | poutre | Section (cm <sup>2</sup> ) | local  | $A_{min}$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_{adop}$ (cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------|----------------------------|--------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Entresol 2     | P.S    | 30×35                      | Appui  | 5,25                         | 4,52                         | 4HA12=4,52                    |
|                |        |                            | Travée |                              | 5,07                         | 5HA12=5,65                    |
| RDC            | P.S    | 30×35                      | Appui  |                              | 5,54                         | 5HA12=5,65                    |
|                |        |                            | Travée |                              | 6,92                         | 3HA12+12HA14+1HA10=7,26       |
| Soup...toiture | P.S    | 30×35                      | Appui  |                              | 6,33                         | 5HA12+1HA10=6,44              |
|                |        |                            | Travée |                              | 7,84                         | 3HA12+3HA14=8,01              |

**Tableau IV-7 : ferrailage des poutres principales non associées aux voiles**

| Niveau         | poutre | Section (cm <sup>2</sup> ) | local  | $A_{min}$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_{adop}$ (cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------|----------------------------|--------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Entresol 2     | P.P    | 30×40                      | Appui  | 6                            | 1,58                         | 3HA12=3,39                    |
|                |        |                            | Travée |                              | 1,20                         | 3HA12=3,39                    |
| RDC            | P.P    | 30×40                      | Appui  |                              | 2,57                         | 3HA12=3,39                    |
|                |        |                            | Travée |                              | 1,48                         | 3HA12=3,39                    |
| Soup...toiture | P.P    | 30×40                      | Appui  |                              | 3,01                         | 3HA12=3,39                    |

|  |  |  |        |  |      |            |
|--|--|--|--------|--|------|------------|
|  |  |  | Travée |  | 1,93 | 3HA12=3,39 |
|--|--|--|--------|--|------|------------|

**Tableau IV-8** : ferrailage des poutres secondaire non associées aux voiles

| Niveau         | poutre | Section (cm <sup>2</sup> ) | local  | A <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>cal</sub> (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>adop</sub> (cm <sup>2</sup> ) |
|----------------|--------|----------------------------|--------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Entresol 2     | P.S    | 30×35                      | Appui  | 5,25                                | 1,37                                | 3HA12=3,39                           |
|                |        |                            | Travée |                                     | 1,31                                | 3HA12=3,39                           |
| RDC            | P.S    | 30×35                      | Appui  |                                     | 1,84                                | 3HA12=3,39                           |
|                |        |                            | Travée |                                     | 1,26                                | 3HA12=3,39                           |
| Soup...toiture | P.S    | 30×35                      | Appui  |                                     | 2,78                                | 3HA12=3,39                           |
|                |        |                            | Travée |                                     | 1,56                                | 3HA12=3,39                           |

**IV-2-3 : vérification des armateurs selon RPA99 : (art 7.5.2.1)**

**IV-2-3-1 : les armatures transversales**

Le diamètre des armatures transversales pour les poutres est donnée par :

$$\phi_t \leq \min\left(\phi_{lmin}; \frac{h}{35}; \frac{b}{10}\right) \Rightarrow \begin{cases} \text{Poutres principales: } \phi_t \leq \min(12; 11,42; 30) \text{ mm} \\ \text{Poutres secondaires: } \phi_t \leq \min(12; 10; 30) \text{ mm} \end{cases}$$

Soit :  $\phi_t = 8 \text{ mm}$  et  $A_t = 4HA8 = 2,01 \text{ cm}^2$  (1 cadre + 1étrier)

- **Calcul des espacements des armateurs transversaux**

D'après le RPA99/2003 (Art7.5.2.2) :

**En zone nodale:**  $St \leq \min\left(\frac{h}{4}; 12\phi_t^{min}\right) \Rightarrow \begin{cases} \text{Poutres principales } St= 10 \text{ cm} \\ \text{Poutres secondaires } St= 8 \text{ cm} \end{cases}$

**En zone courantes:**  $St \leq \frac{h}{2} \Rightarrow \begin{cases} \text{Poutres principales } St= 15 \text{ cm} \\ \text{Poutres secondaires } St= 15 \text{ cm} \end{cases}$

- **Vérification des sections d'armatures transversales minimales**

On a:  $A_t^{min} = 0,3\% \times S_t \times b = 0,3 \times 100 \times 15 \times 30 = 1,35 \text{ cm}^2 < A_t^{adopté} = 2,01 \text{ cm}^2$

- **Calcul des longueurs de recouvrement**

$L_r \geq 40 \phi$  (Art 7.5.2.1)

- Pour  $\phi = 16 \text{ mm} \rightarrow lr = 40 \times 1.6 = 64 \text{ cm} \Rightarrow$  On adopte :  $lr = 65 \text{ cm}$ .
- Pour  $\phi = 14 \text{ mm} \rightarrow lr = 40 \times 1.4 = 56 \text{ cm} \Rightarrow$  On adopte :  $lr = 60 \text{ cm}$ .
- Pour  $\phi = 12 \text{ mm} \rightarrow lr = 40 \times 1.2 = 48 \text{ cm} \Rightarrow$  On adopte :  $lr = 50 \text{ cm}$ .

**IV-2-4 : vérification à l'ELU**

- **Contrainte tangentielle maximale**

$$\tau = \frac{V_U}{b \times d} \leq \bar{\tau} = \min \left( 0,20 \frac{f_{c28}}{\gamma_b} ; 5 \text{ MPA} \right)$$

Les résultats sont donnés par le tableau suivant :

**Tableau IV-9 : Vérification des contraintes**

| Poutres     | $V_u^{max}$ (KN) | $\tau_{bu}$ (Mpa) | $\bar{\tau}_{bu}$ (Mpa) | Observation |
|-------------|------------------|-------------------|-------------------------|-------------|
| Principale  | 125,31           | 1,113             | 3,33                    | Vérifiée    |
| Secondaires | 285,05           | 2,923             | 3,33                    | vérifiée    |

- **Vérification des armatures longitudinales vis-à-vis le cisaillement**

Pour les appuis de rives:  $A_l \geq A_l^{rive} = V^{max} \times \frac{\gamma_s}{f_e}$

Pour les appuis intermédiaires:  $A_l \geq A_l^{inter} = (V^{max} + \frac{M_a}{0,9d}) \frac{\gamma_s}{f_e}$

**Tableau IV-10 : Vérification des armatures longitudinales au cisaillement**

| Poutres     | $V^{max}$ (KN) | $M_a$ (KN.m) | $A_l$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_l^{rive}$ (cm <sup>2</sup> ) | $A_l^{inter}$ (cm <sup>2</sup> ) | Observation |
|-------------|----------------|--------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-------------|
| Principale  | 125,31         | 72,04        | 5,75                     | 3,13                            | -2,20                            | Vérifiée    |
| Secondaires | 285,05         | 76,39        | 7,70                     | 7,12                            | 0,59                             | Vérifiée    |

**IV-2-5 : Vérification à l'ELS**

- **Etat limite de compression du béton**

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

**Tableau IV-11 : Vérification de l'état limite de compression du béton**

| Poutres     | Localisation | $M^{ser}$ (KN.m) | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) | Y (cm) | I (cm <sup>4</sup> ) | $\sigma$ (MPa) | $\bar{\sigma}$ (MPa) | obser    |
|-------------|--------------|------------------|--------------------------|--------|----------------------|----------------|----------------------|----------|
| Principales | Travée       | 11,52            | 4,52                     | 6,48   | 74309,825            | 1,004          | 15                   | vérifiée |
|             | appui        | -26,30           | 5,65                     | 7,17   | 90249,006            | 2,08           | 15                   | Vérifiée |
| Secondaires | Travée       | 9,88             | 8,01                     | 8,36   | 121500,02            | 0,679          | 15                   | Vérifiée |
|             | appui        | -25,45           | 6,44                     | 7,60   | 187355,26            | 1,032          | 15                   | Vérifiée |

• **Vérification de l'état limite de déformation**

D'après le **CBA93** et **BAEL91**, la vérification de la flèche est inutile si les conditions

suivantes sont satisfaites :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{L} \geq \frac{1}{16} \dots\dots\dots(1) \\ \frac{h}{L} \geq \frac{M_t}{10 \times M_0} \dots\dots\dots(2) \\ \frac{A}{b_0 \times d} \leq \frac{4,2}{f_e} \dots\dots\dots(3) \end{array} \right.$$

**Tableau IV-12** : vérification de l'état limite de déformation

| Poutres | h (cm) | b (cm) | L (m) | $A_s (cm^2)$ | $\frac{h}{L} \geq \frac{1}{16}$ | $\frac{h}{L} \geq \frac{M_t}{10 \times M_0}$ | $\frac{A_s}{b \times d} \leq \frac{4,2}{f_e}$ | obser    |
|---------|--------|--------|-------|--------------|---------------------------------|--|---|----------|
| Princ   | 40     | 30     | 5,30  | 3,39         | $0,075 \geq 0,0625$             | $0,075 > 0,0462$                             | $0,00301 < 0,0105$                            | Vérifiée |
| Sécon   | 35     | 30     | 5,30  | 3,39         | $0,066 \geq 0,0625$             | $0,066 > 0,0396$                             | $0,00347 < 0,0105$                            | Vérifiée |

Les conditions sont vérifiées, donc la vérification de la flèche n'est pas nécessaire.

**IV-2-6 : schéma de ferrailage**

Les schémas de ferrailage sont présentés dans (l'annexe 8)

**IV-3 : Etude des poteaux**

Les poteaux sont des éléments verticaux qui ont le rôle de transmettre les charges apportés par les poutres aux fondations.

Leur ferrailage se fera à la flexion composé selon les combinaisons de calcul les plus défavorables introduites lors de la modélisation avec le logiciel ETABS2016 dans l'ordre suivant : (**RPA99v2003**)

$$\left\{ \begin{array}{ll} \mathbf{1- 1,35G + 1,5Q (ELU)} & \mathbf{3- G + Q \pm E} \\ \mathbf{2- G + Q (ELS)} & \mathbf{4- 0,8G \pm E} \end{array} \right.$$

Les armatures sont déterminées suivant les sollicitations suivantes :

- Effort normal maximal et le moment correspondant : ( $N_{max} \rightarrow M_{corr}$ )
- Effort normal minimal et le moment correspondant : ( $N_{min} \rightarrow M_{corr}$ )
- Moment maximum et effort normal correspondant : ( $M_{max} \rightarrow N_{corr}$ )

**IV-3-1 : Recommandations du RPA99/2003**

**A. Les armatures longitudinales : (Article 7.4.2.1)**

- Les armatures longitudinales doivent être à haute adhérence, droites et sans crochets.
- Leur pourcentage minimal sera de :  $0.8 \% \times b_1 \times h_1$  en zone II
- Leur pourcentage maximal sera de :

## Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives

- ✓ 4 % en zone courante.
- ✓ 6 % en zone de recouvrement.
- Le diamètre minimum est de 12mm.
- La longueur minimale des recouvrements est de  $40\phi$  en zone IIa.
- La distance entre les barres verticales dans une face du poteau ne doit pas dépasser : 25cm en zone (IIa).
- Les jonctions par recouvrement doivent être faites si possible, à l'extérieur des zones nodales (zones critiques).

La zone nodale est constituée par le nœud poutres-poteaux proprement dit et les extrémités des barres qui y concourent.

$$h' = \text{Max} \left( \frac{h_e}{6}; b_1; h_1; 60 \text{ cm} \right)$$

$$l' = 2 \times h$$

Avec :  $b_1$  et  $h_1$  : dimension de la section transversale du poteau.

$h_e$  : hauteur d'étage

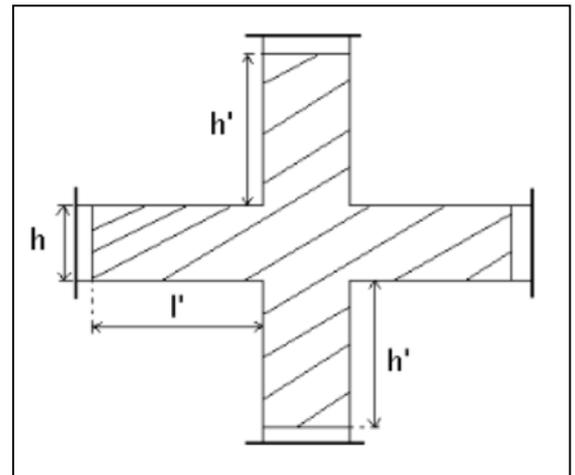


Figure IV-1 : zone nodale

Les valeurs numériques relatives aux prescriptions du **RPA99/V2003** sont apportées dans le tableau suivant :

**Tableau IV-13** : Armatures longitudinales minimales et maximales dans les poteaux

| Niveaux                              | Section du poteau (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>min</sub> RPA (cm <sup>2</sup> ) | A <sub>max</sub> RPA (cm <sup>2</sup> ) |                      |
|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|----------------------|
|                                      |                                      |   | Zone courante                           | Zone de recouvrement |
| Entresol 1,2                         | 75×75                                | 45                                      | 225                                     | 337,5                |
| RDC                                  | 70×75                                | 42                                      | 210                                     | 315                  |
| Soupenne                             | 70×70                                | 39,2                                    | 196                                     | 294                  |
| 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup>  | 65×70                                | 36,4                                    | 182                                     | 273                  |
| 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> | 65×65                                | 33,8                                    | 169                                     | 253,5                |
| 5 <sup>ème</sup> et 6 <sup>ème</sup> | 60×65                                | 31,2                                    | 156                                     | 234                  |
| 7 <sup>ème</sup>                     | 60×60                                | 28,8                                    | 144                                     | 216                  |
| 8 <sup>ème</sup>                     | 55×60                                | 26,4                                    | 132                                     | 198                  |
| 9 <sup>ème</sup>                     | 55×55                                | 24,2                                    | 121                                     | 181,5                |
| 10 <sup>ème</sup>                    | 50×55                                | 22                                      | 110                                     | 165                  |
| Terrasse                             | 50×50                                | 20                                      | 100                                     | 150                  |

**b-Armatures transversales (art 7.4.2.2)**

Les armatures transversales des poteaux sont calculées à l'aide de la formule :  $\frac{A_t}{t} = \frac{\rho_a \times V_u}{h_1 \times f_e}$

- $V_u$ : L'effort tranchant de calcul.
  - $h_1$ : Hauteur totale de la section brute.
  - $f_e$ : Contrainte limite élastique de l'acier d'armature transversale.
  - $\rho_a$ : coefficient correcteur qui tient compte du mode de rupture par effort tranchant.
  - ✓  $\rho_a = 2,5$  si  $\lambda_g \geq 5$
  - ✓  $\rho_a = 3,75$  si  $\lambda_g < 5$
  - $t$ : L'espacement des armatures transversales dont la valeur est déterminé dans la formule précédente; par ailleurs la valeur max de cet espacement est fixée comme suit :
    - ✓ **Dans la zone nodale :**  $t \leq \text{Min}(10\phi_l, 15 \text{ cm})$ . En zone IIa.
    - ✓ **Dans la zone courante :**  $t' \leq 15\phi_l$ . En zone IIa.
- Ou :  $\phi_l$  : Est le diamètre minimale des armatures longitudinales du poteau.

**La quantité d'armatures transversales minimales :**

$\frac{A_t}{t \times b_1}$  En % est donnée comme suit :

$$A_t^{min} \begin{cases} 3\%(b_1 \times t) \text{ si } \lambda_g \geq 5 \\ 0,8\%(b_1 \times t) \text{ si } \lambda_g \leq 3 \\ \text{interpoler entre les valeurs limites précédentes si } 3 \leq \lambda_g \leq 5 \end{cases}$$

Tel que :  $\lambda_g = \frac{l_f}{a}$  ou  $\frac{l_f}{b}$

- $\lambda_g$  : L'élanement géométrique
- a et b : dimensions de la section droite du poteau dans la direction de déformation considérée.
- $l_f$  : Longueur de flambement du poteau.

- Les cadres et les étriers doivent être fermés par des crochets à 135° ayant une longueur droite de 10  $\phi_t$  minimums.
- Les cadres et les étriers doivent ménager des cheminées verticales en nombre et diamètre suffisants  $\phi$  cheminées > 12 cm pour permettre une vibration correcte du béton sur toute la hauteur des poteaux.

**IV-3-2 : les sollicitations maximales dans les poteaux**

**Tableau IV-14 : Sollicitations dans les poteaux des différents niveaux**

| Niveaux      | $N^{\max} \rightarrow M^{\text{corr}}(\max)$<br>(M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> ) |         | $N^{\min} \rightarrow M^{\text{corr}}(\max)$<br>(M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> ) |         | $M^{\max} \rightarrow N^{\text{corr}}$ |         | V (KN) |
|--------------|--|---------|--|---------|--|---------|--------|
|              | N(KN)  | M(KN.M) | N(KN)  | M(KN.M) | M(KN.M)                                | N(KN)   |        |
| Entresol 1,2 | 3466,27  | 5,27    | -274,22  | 38,73   | 175 ,63                                | 65,76   | 75,02  |
| RDC          | 2787,05  | 6,24    | 198,73   | 101,28  | 156,32                                 | 1831,30 | 105,47 |

|                                      |         |        |        |       |        |         |        |
|--------------------------------------|---------|--------|--------|-------|--------|---------|--------|
| Soupeinte                            | 2479,28 | 18,47  | 286,04 | 75,39 | 141,82 | 1451,49 | 101,44 |
| 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup>  | 2206,47 | 16,362 | 311,94 | 46,56 | 129,26 | 1355,33 | 95,36  |
| 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> | 1736,37 | 11,61  | 279,47 | 38,40 | 116,17 | 1102,34 | 86,08  |
| 5 <sup>ème</sup> et 6 <sup>ème</sup> | 1334,62 | 15,38  | 228,77 | 30,08 | 102,68 | 803,71  | 76,05  |
| 7 <sup>ème</sup>                     | 924,06  | 15,48  | 124,55 | 40,35 | 82,04  | 483,75  | 58,99  |
| 8 <sup>ème</sup>                     | 723,18  | 19,57  | 70,83  | 29,34 | 77,57  | 432,89  | 59,06  |
| 9 <sup>ème</sup>                     | 547,56  | 13,70  | 27,48  | 22,77 | 65,28  | 377,62  | 50,85  |
| 10 <sup>ème</sup>                    | 379,17  | 18,18  | 0,64   | 21,75 | 71,08  | 209,71  | 53,24  |
| Terrasse                             | 162,86  | 37,42  | -4,02  | 20,58 | 45,33  | 85,89   | 45,77  |
| combinaison                          | ELU     |        | ELUA   |       | ELUA   |         | ELUA   |

### IV-3-3 : ferrailage

Le ferrailage des poteaux est calculé par les sollicitations de calcul résultant les combinaisons les plus défavorables qui sont tirées par le logiciel **ETABSv2016**.

#### a- Armatures longitudinal

**Exemple de calcul :** nous exposant un exemple de calcul pour le poteau au niveau de l'entresol 1

Données :

Soit :  $M_{\max}=175,63 \text{ KN}$  ;  $N_{\text{corr}}=65,763 \text{ KN}$  ..... (0,8G +Ey max)

$b = 75 \text{ cm}$  ;  $h = 75 \text{ cm}$  ;  $d = 72,5 \text{ cm}$  ;

Situation accidentelle:  $\gamma_b = 1,15$  et  $\gamma_s = 1$ .

$e_G = \frac{M}{N} = 2.6706m > \frac{h}{2} = 0,375 \Rightarrow$  le centre de pression est en dehors de la section

$N$  est un effort de compression et le centre de pression est en dehors de la section du béton, donc la section est partiellement comprimée et le calcul sera fait par assimilation à la flexion simple.

$$M_{ua} = M + N \left( d - \frac{h}{2} \right) = 198,647 \text{ KN.m}$$

$$\mu_{bu} = \frac{M_{ua}}{f_{bu} \times b \times d^2} = \frac{198,647 \times 10^{-3}}{18,48 \times 0,75 \times 0,725^2} = 0.02728$$

$$\mu_{bu} < 0,186 \Rightarrow \text{Pivot A} ; A' = 0 ; f_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} = 400 \text{ MPa}$$

$$\begin{cases} \alpha = 1,25[1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}}] = 0.03457 \\ z = d(1 - 0,4\alpha) = 0,71497 \text{ m} \end{cases} \Rightarrow A_1 = \frac{M_{ua}}{z \times f_{st}} = 6,946 \text{ cm}^2$$

On revient à la flexion composée :  $A = A_1 - \frac{N_u}{f_{st}} = 5,302 \text{ cm}^2/\text{ml}$ .

Le tableau ci-après résume les résultats de ferrailage des poteaux des différents niveaux :

Tableau IV-15 : ferrailage des poteaux

| niveaux    | Section $cm^2$ | sollicitations            | N<br>(KN)   | M<br>(KN.M) | V<br>(KN) | comb             | Type se section | $A_{cal}$<br>( $cm^2$ ) | $A_{min}$<br>( $cm^2$ ) | Choix<br>des<br>barres     |
|------------|----------------|---------------------------|-------------|-------------|-----------|------------------|-----------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
| E.S 1, 2   | 75*75          | $N^{min}$<br>→ $M^{corr}$ | -<br>274,22 | 38,73       | 75,02     | E<br>L<br>U<br>A | S.E.T           | 6,85                    | 45                      | 12HA20+<br>4HA16=<br>45,72 |
| RDC        | 70*75          | $N^{min}$<br>→ $M^{corr}$ | 198,73      | 101,28      | 105,47    | E<br>L<br>U<br>A | S.P.C           | 1                       | 42                      | 12HA20+<br>4HA16=<br>45,72 |
| soup       | 70*70          | $N^{min}$<br>→ $M^{corr}$ | 286,04      | 75,39       | 101,44    | E<br>L<br>U<br>A | S.E.C           | 0                       | 39,2                    | 8HA20+<br>8HA16=<br>41,2   |
| Etage 1, 2 | 65*70          | $N^{min}$<br>→ $M^{corr}$ | 311,94      | 46,56       | 95,36     | E<br>L<br>U<br>A | S.E.C           | 0                       | 36,4                    | 8HA20+<br>8HA16=<br>41,2   |
| Etage 3, 4 | 65*65          | $N^{min}$<br>→ $M^{corr}$ | 279,47      | 38,40       | 86,08     | E<br>L<br>U<br>A | S.E.C           | 0                       | 33,8                    | 8HA20+<br>8HA16=<br>41,2   |
| Etage 5, 6 | 60*65          | $N^{min}$<br>→ $M^{corr}$ | 228,77      | 30,08       | 76,05     | E<br>L<br>U<br>A | S.E.C           | 0                       | 31,2                    | 16HA16=<br>32,16           |
| Etage 7    | 60*60          | $N^{min}$<br>→ $M^{corr}$ | 124,55      | 40,35       | 58,99     | E<br>L<br>U<br>A | S.P.C           | 0,16                    | 28,8                    | 12HA16+<br>4HA14=<br>30,28 |

## Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives

|          |       |                                   |       |       |       |                  |       |      |      |                            |
|----------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|------------------|-------|------|------|----------------------------|
| Etage 8  | 55*60 | $N^{\min}$<br>→ $M^{\text{corr}}$ | 70,83 | 29,34 | 59,06 | E<br>L<br>U<br>A | S.P.C | 0,37 | 26,4 | 4HA16+<br>12HA14=<br>26,52 |
| Etage 9  | 55*55 | $N^{\min}$<br>→ $M^{\text{corr}}$ | 27,48 | 22,77 | 50,85 | E<br>L<br>U<br>A | S.P.C | 0,73 | 24.2 | 16HA14=<br>24,64           |
| Etage 10 | 50*55 | $N^{\min}$<br>→ $M^{\text{corr}}$ | 0,64  | 21,75 | 53,24 | E<br>L<br>U<br>A | S.P.C | 1,03 | 22   | 12HA14+<br>4HA12=<br>23    |
| terras   | 50*50 | $M^{\max}$<br>→ $N^{\text{corr}}$ | 85,89 | 45,33 | 45,77 | E<br>L<br>U<br>A | S.P.C | 1,31 | 20   | 8HA14+<br>8HA12=<br>21,36  |

- **Armatures transversales**

Les armatures transversales sont déterminées grâce aux formules du RPA, Les résultats de calcul sont donnés sur le tableau suivant :

**Tableau IV-16** : Armatures transversales dans les poteaux

| Niveaux                             | B<br>(cm <sup>2</sup> ) | $\phi_l^{\min}$<br>(cm<br>) | $l_f$<br>(cm) | $\lambda_g$ | $V_u$<br>(KN) | $l_r$<br>(cm<br>) | $S_t$ ( zone<br>nodale)<br>(cm) | $S_t$ (zone<br>Courante)<br>(cm) | $A_t^{\text{calcul}}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_t^{\min}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_t^{\text{adopté}}$<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|---------------|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|---|------------------------------------|---|
| E.S 1,2                             | 75×75                   | 1,6                         | 199,<br>5     | 2,6<br>6    | 75,02         | 75                | 10                              | 10                               | 0,937                                       | 6                                  | 8HA10=6,28                                  |
| RDC                                 | 70×75                   | 1,6                         | 245           | 3,2<br>6    | 105,4<br>7    | 75                | 10                              | 10                               | 1,318                                       | 5,14                               | 8HA10=6,28                                  |
| Soupente                            | 70×70                   | 1,6                         | 196           | 2,8         | 101,4<br>4    | 70                | 10                              | 10                               | 1,358                                       | 5,6                                | 8HA10=6,28                                  |
| 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup> | 65×70                   | 1,6                         | 196           | 2,8         | 95,36         | 70                | 10                              | 10                               | 1,276                                       | 5,2                                | 8HA10=6,28                                  |

|   |       |     |     |          |       |    |    |    |       |      |            |
|---|-------|-----|-----|----------|-------|----|----|----|-------|------|------------|
| <b>3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup></b> | 65×65 | 1,6 | 196 | 3,0<br>1 | 86,08 | 65 | 10 | 10 | 1,241 | 5,18 | 8HA10=6,28 |
| <b>5<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup></b> | 60×65 | 1,6 | 196 | 3,0<br>1 | 76,05 | 65 | 10 | 10 | 1,096 | 4,78 | 8HA10=6,28 |
| <b>7<sup>ème</sup></b>                    | 60×60 | 1,4 | 196 | 3,2<br>6 | 58,99 | 60 | 10 | 10 | 0,921 | 4,41 | 8HA10=6,28 |
| <b>8<sup>ème</sup></b>                    | 55×60 | 1,4 | 196 | 3,2<br>6 | 59,06 | 60 | 10 | 10 | 0,922 | 4,04 | 8HA10=6,28 |
| <b>9<sup>ème</sup></b>                    | 55×55 | 1,4 | 196 | 3,5<br>6 | 50,85 | 60 | 10 | 10 | 0,866 | 3,63 | 8HA8=4,02  |
| <b>10<sup>ème</sup></b>                   | 50×55 | 1,2 | 196 | 3,5<br>6 | 53,24 | 60 | 10 | 10 | 0,907 | 3,3  | 8HA8=4,02  |
| <b>Terrasse</b>                           | 50×50 | 1,2 | 196 | 3,9<br>2 | 45,77 | 60 | 10 | 10 | 0,858 | 2,85 | 8HA8=4,02  |

• **Remarque :**

Les longueurs de recouvrement du E.S1, 2 ont été augmentées a 75 cm et celle de soupente, étage 1,2 ont été augmentées a 70 cm et celle de étage 10 et de la terrasse ont été augmentées à 60 cm, car des dispositions ont été prises pour recouvrir la hauteur de la zone nodale.

D'après le Code du Béton Armé CBA93 (Art. A7.1.3), le diamètre des armatures

Transversales doit être comme suit :  $\varnothing_t = \frac{\varnothing_l^{max}}{3}$

Entre sol 1,2+soupente+étage 1, 2, 3,4 :  $\frac{20}{3} = 6,67\text{mm}$

Etage 5, 6, 7, 8 :  $\frac{16}{3} = 5,33\text{mm}$

Etage 9,10+terrasse :  $\frac{14}{3} = 4,67\text{mm}$

**IV-3-4 : vérifications**

• **Vérification au flambement**

- ✓ Selon le **BAEL91 (Article 4. 4. 1)** les éléments soumis à la flexion composée doivent être justifiés vis-à-vis de l'état ultime de stabilité de forme (flambement).
- ✓ L'effort normal ultime est défini comme étant l'effort axial maximal que peut supporter un poteau sans subir des instabilités par flambement.

## Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives

- ✓ La vérification se fait pour le poteau le plus sollicité à chaque niveau (puisque la section des poteaux et l'effort normal varient d'un étage à un autre).

- **Critère de stabilité de forme**

D'après de CBA93 on doit vérifier que :

$$N_U = \alpha \left[ \frac{B_r \times f_{c28}}{0.9 \times \gamma_b} + A_s \times \frac{f_e}{\gamma_s} \right]$$

Avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha : \text{Coefficient fonction de l'élanement } \lambda \\ B_r : \text{Section réduite du béton.} \\ A_s : \text{Section d'acier comprimée prise en compte dans le calcul.} \end{array} \right.$$

$$\alpha = \begin{cases} \frac{0.85}{1 + 0.2 \left( \frac{\lambda}{35} \right)^2} & \text{.....Si } \lambda < 50 \\ 0.6 \times \left( \frac{\lambda}{35} \right)^2 & \text{.....Si } \lambda > 50 \end{cases}$$

Avec :  $\lambda = 3,46 \frac{l_f}{b}$  → pour une section rectangulaire

$l_f$  : Longueur de flambement

$B_r = (b - 2) \times (h - 2)$  : Section réduite du poteau

Les résultats des calculs effectués sont représentés dans le tableau suivant :

**Tableau IV-17** : vérification aux flambements des différents poteaux

| Niveaux                              | Section (cm <sup>2</sup> ) | $l_f$ (cm) | $\lambda$ | $\alpha$ | $A_s$ (cm <sup>2</sup> ) | $B_r$ (cm <sup>2</sup> ) | $N_U$ (KN) | $N_d$ (KN) | Obs      |
|--------------------------------------|----------------------------|------------|-----------|----------|--------------------------|--------------------------|------------|------------|----------|
| E.S 1,2                              | 75×75                      | 199,5      | 9,20      | 0,838    | 45,72                    | 5329                     | 9599,31    | 3466,278   | Vérifiée |
| RDC                                  | 70×75                      | 245        | 12,11     | 0,83     | 45,72                    | 4964                     | 8946,91    | 2787,056   | Vérifiée |
| Soupenne                             | 70×70                      | 196        | 9,68      | 0,837    | 41,2                     | 4624                     | 8363,96    | 2479,288   | Vérifiée |
| 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup>  | 65×70                      | 196        | 10,43     | 0,835    | 41,2                     | 4284                     | 7818,47    | 2206,473   | Vérifiée |
| 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> | 65×65                      | 196        | 10,43     | 0,835    | 41,2                     | 3969                     | 7331,61    | 1736,379   | Vérifiée |
| 5 <sup>ème</sup> et 6 <sup>ème</sup> | 60×65                      | 196        | 11,30     | 0,832    | 32,16                    | 3654                     | 6558,42    | 1334,629   | Vérifiée |
| 7 <sup>ème</sup>                     | 60×60                      | 196        | 11,30     | 0,832    | 30,28                    | 3364                     | 6057,38    | 924,0689   | Vérifiée |
| 8 <sup>ème</sup>                     | 55×60                      | 196        | 12,33     | 0,829    | 26,52                    | 3074                     | 5474,27    | 723,1803   | Vérifiée |
| 9 <sup>ème</sup>                     | 55×55                      | 196        | 12,33     | 0,829    | 24,64                    | 2809                     | 5021,19    | 547,5668   | Vérifiée |
| 10 <sup>ème</sup>                    | 50×55                      | 196        | 13,56     | 0,825    | 23                       | 2544                     | 4545,20    | 379,1702   | Vérifiée |
| Terrasse                             | 50×50                      | 196        | 13,56     | 0,825    | 21,36                    | 2304                     | 4131,62    | 162,8677   | Vérifiée |

La condition est vérifiée pour tous les niveaux, donc y a pas de risque de flambement.

• **Vérification des contraintes**

Puisque la fissuration est peu nuisible, donc cette vérification consiste à contrôler uniquement la contrainte de compression dans le béton du poteau le plus sollicité dans chaque niveau.

$$\sigma_{bc\ 1,2} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0,6f_{c28}$$

$$\begin{cases} \sigma_{bc\ 1} = \frac{N_{ser}}{S} + \frac{M_{serG}}{I_{yy'}} V \leq \bar{\sigma}_{bc} \\ \sigma_{bc\ 2} = \frac{N_{ser}}{S} + \frac{M_{serG}}{I_{yy'}} V' \leq \bar{\sigma}_{bc} \end{cases}$$

Avec :

$$S = b \times h + 15(A + A') : \text{section homogénéisée.}$$

$$M_{serG} = M_{ser} - N_{ser} \left( \frac{h}{2} - V \right)$$

$$I_{yy'} = \frac{b}{3} (V^3 + V'^3) + 15A'(V - d')^2 + 15A(d - V)^2$$

$$V = \frac{\frac{bh^2}{2} + 15(A'd' + Ad)}{B + 15(A' + A)} \text{ et } V' = h - V$$

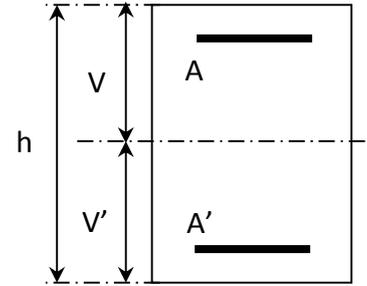


Figure IV :2 Section d'un poteau

Les résultats de calcul sont résumés dans le tableau ci-après :

Tableau IV-18 : vérification des contraintes

| Niveaux                     | ES 1,ES2 | RDC     | Soupende | 1 et 2  | 3 et 4  | 5 et 6  | 7      | 8      | 9      | 10     | Terrasse |
|-----------------------------|----------|---------|----------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|----------|
| Sections (cm <sup>2</sup> ) | 75x75    | 70x75   | 70x70    | 65x70   | 65x65   | 60x65   | 60x60  | 55x60  | 55x55  | 50x55  | 50x50    |
| d (cm)                      | 72,5     | 72,5    | 67,5     | 67,5    | 62,5    | 62,5    | 57,5   | 57,5   | 52,5   | 52,5   | 47,5     |
| d' (cm)                     | 2,5      | 2,5     | 2,5      | 2,5     | 2,5     | 2,5     | 2,5    | 2,5    | 2,5    | 2,5    | 2,5      |
| A (cm <sup>2</sup> )        | 14,58    | 14,58   | 13,44    | 12,31   | 12,31   | 10,05   | 9,58   | 8,64   | 7,70   | 7,29   | 6,88     |
| A' (cm <sup>2</sup> )       | 14,58    | 14,58   | 13,44    | 12,31   | 12,31   | 10,05   | 9,58   | 8,64   | 7,70   | 7,29   | 6,88     |
| N <sub>ser</sub> (KN)       | 2532,56  | 2321,03 | 2037,60  | 1812,64 | 1439,97 | 1117,91 | 822,71 | 674,10 | 527,91 | 401,04 | 278,03   |

## Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives

|                              |            |            |            |            |            |            |           |            |            |            |            |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| $M_{ser}$<br>(KN.m)          | 3,30       | 1,68       | 4,28       | 13,29      | 12,33      | 10,34      | 11,16     | 11,09      | 14,05      | 9,78       | 13,42      |
| Type de section              | SEC        | SEC        | SEC        | SEC        | SEC        | SEC        | SEC       | SEC        | SEC        | SEC        | SEC        |
| V (cm)                       | 0,375      | 0,375      | 0,35       | 0,35       | 0,325      | 0,325      | 0,3       | 0,3        | 0,275      | 0,275      | 0,25       |
| V' (cm)                      | 0,375      | 0,375      | 0,35       | 0,35       | 0,325      | 0,325      | 0,3       | 0,3        | 0,275      | 0,275      | 0,25       |
| $M_G^{ser}$<br>(KN.m)        | 3,30       | 1,68       | 4,28       | 13,29      | 12,33      | 10,34      | 11,16     | 11,09      | 14,05      | 9,78       | 13,42      |
| $I_{yy'}$ (cm <sup>4</sup> ) | 994423,657 | 994377,612 | 707891,316 | 707856,741 | 606349,618 | 475967,636 | 379505,81 | 333993,137 | 240240,905 | 207643,483 | 156248,111 |
| S (cm <sup>2</sup> )         | 6062,4     | 5687,4     | 707891,316 | 4919,3     | 4594,3     | 4201,5     | 3887,4    | 3559,2     | 3256       | 207643,483 | 156248,111 |
| $\sigma_{bc1}$<br>(MPa)      | 4,17748    | 4,08100    | 3,86693074 | 3,68476    | 3,13426    | 2,66075    | 2,11636   | 1,89398    | 1,62138    | 1,35655237 | 1,03206228 |
| $\sigma_{bc2}$<br>(MPa)      | 4,17746    | 4,08099    | 3,86688841 | 3,68463    | 3,13413    | 2,66061    | 2,11619   | 1,89378    | 1,62106    | 1,35629332 | 1,03163283 |
| $\bar{\sigma}_{bc}$<br>(MPa) | 15         | 15         | 15         | 15         | 15         | 15         | 15        | 15         | 15         | 15         | 15         |
| Obs                          | Vérifiée   | Vérifiée   | Vérifiée   | Vérifiée   | Vérifiée   | Vérifiée   | Vérifiée  | Vérifiée   | Vérifiée   | Vérifiée   | Vérifiée   |

### Vérification des contraintes de cisaillement

D'après le **RPA99/2003 (Art 7.4.3.2)**, la contrainte de cisaillement dans le béton doit être inférieure ou égale à la contrainte de cisaillement ultime :

$$\tau_{bu} = \frac{V_u}{b \cdot d} \leq \bar{\tau}_{bu} = \rho_d \times f_{c28}$$

$$\text{Avec : } \rho_d = \begin{cases} 0.075 & \text{si } \lambda_g \geq 5 \\ 0.040 & \text{si } \lambda_g < 5 \end{cases}$$

Les résultats sont illustrés dans le tableau suivant :

Tableau IV-19 : Vérification des contraintes de cisaillement

| Niveaux                              | Section (cm <sup>2</sup> ) | $l_f$ (cm) | $\lambda_g$ | $\rho_d$ | d (cm) | $V_u$ (KN) | $\tau_{bu}$ (MPa) | $\bar{\tau}_{bu}$ (MPa) | Obs      |
|--------------------------------------|----------------------------|------------|-------------|----------|--------|------------|-------------------|-------------------------|----------|
| E.S 1,2                              | 75×75                      | 199,5      | 2,66        | 0,04     | 72,5   | 75,02      | 0,1379            | 1                       | Vérifiée |
| RDC                                  | 70×75                      | 245        | 3,26        | 0,04     | 72,5   | 105,47     | 0,2078            | 1                       | Vérifiée |
| Soupenite                            | 70×70                      | 196        | 2,8         | 0,04     | 67,5   | 101,44     | 0,2146            | 1                       | Vérifiée |
| 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup>  | 65×70                      | 196        | 2,8         | 0,04     | 67,5   | 95,36      | 0,2173            | 1                       | Vérifiée |
| 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> | 65×65                      | 196        | 3,01        | 0,04     | 62,5   | 86,08      | 0,2118            | 1                       | Vérifiée |
| 5 <sup>ème</sup> et 6 <sup>ème</sup> | 60×65                      | 196        | 3,01        | 0,04     | 62,5   | 76,05      | 0,2028            | 1                       | Vérifiée |
| 7 <sup>ème</sup>                     | 60×60                      | 196        | 3,26        | 0,04     | 57,5   | 58,99      | 0,1709            | 1                       | Vérifiée |
| 8 <sup>ème</sup>                     | 55×60                      | 196        | 3,26        | 0,04     | 57,5   | 59,06      | 0,1867            | 1                       | Vérifiée |
| 9 <sup>ème</sup>                     | 55×55                      | 196        | 3,56        | 0,04     | 52,5   | 50,85      | 0,1761            | 1                       | Vérifiée |
| 10 <sup>ème</sup>                    | 50×55                      | 196        | 3,56        | 0,04     | 52,5   | 53,24      | 0,2028            | 1                       | Vérifiée |
| Terrasse                             | 50×50                      | 196        | 3,92        | 0,04     | 47,5   | 45,77      | 0,1927            | 1                       | Vérifiée |

**Vérification de la zone nodale :**

Dans le but de permettre la formation des rotules plastiques dans les poutres et non dans les poteaux, le RPA99v2003 (Art.7.6.2) exige de vérifier que :

$$|M_n| + |M_s| \geq 1.25(|M_w| + |M_e|)$$

Cependant cette vérification est facultative pour les deux derniers niveaux (bâtiments supérieurs à R+2).

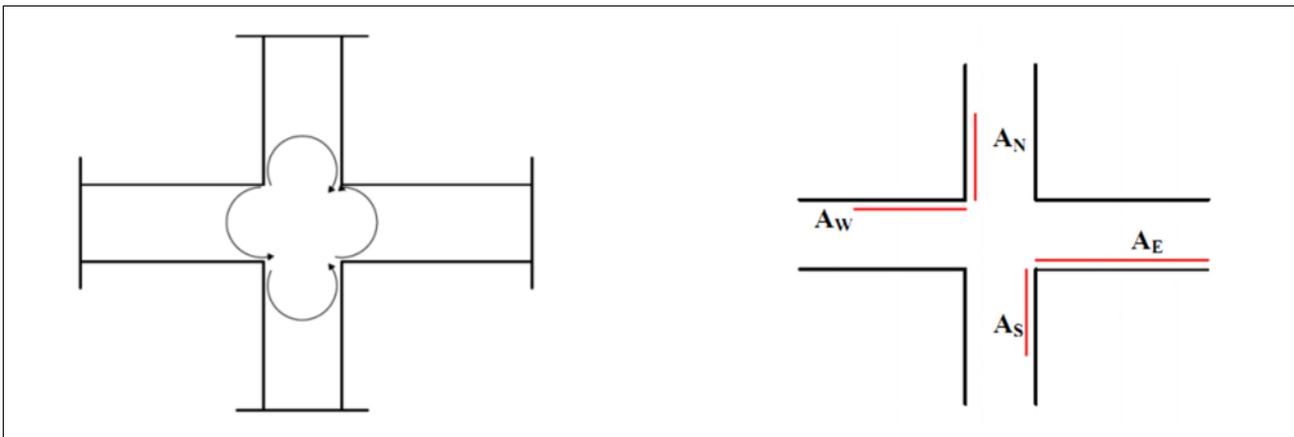


Figure IV-3 : Répartition des moments dans la zone nodale

• **Détermination du moment résistant :**

Le moment résistant ( $MR$ ) d'une section de béton dépend essentiellement :

- ✓ Des dimensions de la section du béton ;
- ✓ De la quantité d'armatures dans la section ;

## Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives

✓ De la contrainte limite élastique des aciers.

$$\text{On a: } M_R = z \times A_s \times \sigma_s$$

Avec :  $z = 0.9h$  ,  $\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$  et  $\gamma_s = 1.15$  (cas le plus défavorable).

**Tableau IV-20 : Moment résistant des poteaux**

| Niveaux                              | Poteaux |                     |                                   |                      |                       |
|--------------------------------------|---------|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|
|                                      | h (m)   | z (m <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | σ <sub>s</sub> (MPa) | M <sub>R</sub> (KN.m) |
| E.S 1,2                              | 0,75    | 0,675               | 14,58                             | 348                  | 342,4842              |
| RDC                                  | 0,75    | 0,675               | 14,58                             | 348                  | 342,4842              |
| Soupenste                            | 0,70    | 0,63                | 12,31                             | 348                  | 269,88444             |
| 1 <sup>er</sup> et 2 <sup>ème</sup>  | 0,70    | 0,63                | 12,31                             | 348                  | 269,88444             |
| 3 <sup>ème</sup> et 4 <sup>ème</sup> | 0,65    | 0,585               | 12,31                             | 348                  | 250,60698             |
| 5 <sup>ème</sup> et 6 <sup>ème</sup> | 0,65    | 0,585               | 10,05                             | 348                  | 204,5979              |
| 7 <sup>ème</sup>                     | 0,60    | 0,54                | 9,58                              | 348                  | 180,02736             |
| 8 <sup>ème</sup>                     | 0,60    | 0,54                | 8,64                              | 348                  | 162,36288             |
| 9 <sup>ème</sup>                     | 0,55    | 0,495               | 7,7                               | 348                  | 132,6402              |
| 10 <sup>ème</sup>                    | 0,55    | 0,495               | 6,88                              | 348                  | 118,51488             |
| Terrasse                             | 0,50    | 0,45                | 6,47                              | 348                  | 101,3202              |

**Tableau IV-21 : Moment résistant dans les poutres**

| Niveaux      | Local | h (m) | z (m <sup>2</sup> ) | A <sub>s</sub> (m <sup>2</sup> ) | σ <sub>s</sub> (MPa) | M <sub>R</sub> (KN.m) |
|--------------|-------|-------|---------------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Entresol 2   | P.P   | 0,4   | 0,36                | 3,39                             | 348                  | 42,47                 |
|              | P.S   | 0,35  | 0,315               | 3,39                             | 348                  | 37,16                 |
| RDC          | P.P   | 0,4   | 0,36                | 3,39                             | 348                  | 42,47                 |
|              | P.S   | 0,35  | 0,315               | 3,39                             | 348                  | 37,16                 |
| Soup-toiture | PP    | 0,4   | 0,36                | 3,39                             | 348                  | 42,47                 |
|              | PS    | 0,35  | 0,315               | 3,39                             | 348                  | 37,16                 |

Les résultats de la vérification concernant les zones nodales sont illustrés dans les tableaux suivant :

**Tableau IV-22 : Vérification des zones nodales poutres principales**

| Niveaux     | Poutres principales   |                       |                                       |                       |                       |  | Observation |
|-------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--|-------------|
|             | M <sub>n</sub> (KN.m) | M <sub>s</sub> (KN.m) | M <sub>n</sub> +M <sub>s</sub> (KN.m) | M <sub>w</sub> (KN.m) | M <sub>e</sub> (KN.m) | 1,25(M <sub>w</sub> +M <sub>e</sub> ) (KN.m) |             |
| Entre sol 2 | 342,4842              | 342,4842              | 684,9684                              | 42,47                 | 42,47                 | 106,175                                      | vérifiée    |
| RDC         | 342,4842              | 342,4842              | 684,9684                              | 42,47                 | 42,47                 | 106,175                                      | vérifiée    |
| Soupenste   | 342,4842              | 342,4842              | 684,9684                              | 42,47                 | 42,47                 | 106,175                                      | vérifiée    |
| Etage 1     | 269,88444             | 342,4842              | 612,3686                              | 42,47                 | 42,47                 | 106,175                                      | vérifiée    |
| Etage 2     | 269,88444             | 269,88444             | 539,7688                              | 42,47                 | 42,47                 | 106,175                                      | vérifiée    |
| Etage 3     | 269,88444             | 269,88444             | 539,76888                             | 42,47                 | 42,47                 | 106,175                                      | vérifiée    |

## Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives

|          |           |           |           |       |       |         |          |
|----------|-----------|-----------|-----------|-------|-------|---------|----------|
| Etage4   | 250,60698 | 269,88444 | 520,49142 | 42,47 | 42,47 | 106,175 | vérifiée |
| Etage 5  | 250,60698 | 250,60698 | 501,21396 | 42,47 | 42,47 | 106,175 | vérifiée |
| Etage 6  | 204,5979  | 250,60698 | 455,20488 | 42,47 | 42,47 | 106,175 | vérifiée |
| Etage 7  | 204,5979  | 204,5979  | 409,1958  | 42,47 | 42,47 | 106,175 | vérifiée |
| Etage 8  | 180,02736 | 204,5979  | 384,62526 | 42,47 | 42,47 | 106,175 | vérifiée |
| Etage 9  | 162,36288 | 180,02736 | 342,39024 | 42,47 | 42,47 | 106,175 | vérifiée |
| Etage 10 | 132,6402  | 162,36288 | 295,00308 | 42,47 | 42,47 | 106,175 | vérifiée |
| Terrasse | 118,51488 | 132,6402  | 251,155   | 42,47 | 42,47 | 106,175 | vérifiée |
| Toiture  | 101,3202  | 118,51488 | 219,835   | 42,47 | 42,47 | 106,175 | vérifiée |

**Tableau IV-23 : Vérification des zones nodales poutres secondaire**

| Niveaux     | Poutres secondaire       |                          |  |                          |                          |   | Observation |
|-------------|--------------------------|--------------------------|--|--------------------------|--------------------------|---|-------------|
|             | M <sub>n</sub><br>(KN.m) | M <sub>s</sub><br>(KN.m) | M <sub>n</sub> +M <sub>s</sub><br>(KN.m) | M <sub>w</sub><br>(KN.m) | M <sub>e</sub><br>(KN.m) | 1,25(M <sub>w</sub> +M <sub>e</sub> )<br>(KN.m) |             |
| Entre sol 2 | 342,4842                 | 342,4842                 | 684,9684                                 | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| RDC         | 342,4842                 | 342,4842                 | 684,9684                                 | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Soupenne    | 342,4842                 | 342,4842                 | 684,9684                                 | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Etage 1     | 269,88444                | 342,4842                 | 612,3686                                 | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Etage 2     | 269,88444                | 269,88444                | 539,7988                                 | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Etage 3     | 269,88444                | 269,88444                | 539,76888                                | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Etage4      | 250,60698                | 269,88444                | 520,49142                                | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Etage 5     | 250,60698                | 250,60698                | 501,21396                                | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Etage 6     | 204,5979                 | 250,60698                | 455,20488                                | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Etage 7     | 204,5979                 | 204,5979                 | 409,1958                                 | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Etage 8     | 180,02736                | 204,5979                 | 384,62526                                | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Etage 9     | 162,36288                | 180,02736                | 342,39024                                | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Etage 10    | 132,6402                 | 162,36288                | 295,00308                                | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Terrasse    | 118,51488                | 132,6402                 | 251,155                                  | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |
| Toiture     | 101,3202                 | 118,51488                | 219,835                                  | 37,16                    | 37,16                    | 92,9  | vérifiée    |

### VI-3-5 : schéma de ferrailage

Les schémas de ferrailage sont représentés dans (l'annexe 8)

## IV-4 ETUDE DES VOILES

### IV-4-1 Introduction

Le RPA99 version 2003 (**Art.3.4.A.1.a**) exige de mettre des voiles de contreventement pour chaque structure en béton armé dépassant quatre niveaux ou 14 m de hauteur en zone IIa.

Les voiles sont considérés comme des consoles encastrées à leur base, leurs modes de rupture sont:

- Rupture par flexion.
- Rupture en flexion par effort tranchant.
- Rupture par écrasement ou traction du béton.

D'où, Les voiles vont être calculés en flexion composée avec cisaillement en considérant le moment agissant dans la direction de la plus grande inertie.

Le calcul se fera en fonction des combinaisons suivantes :

- $1.35G + 1.5Q$
- $G + Q \pm E$
- $0,8G \pm E$

Le ferrailage qu'on va adopter est donné par les sollicitations qui suivent :

$$\begin{cases} M^{\max} \rightarrow N_{\text{corresp}} \\ N^{\max} \rightarrow M_{\text{corresp}} \\ N^{\min} \rightarrow M_{\text{corresp}} \end{cases}$$

### IV-4-2 Recommandation du RPA99 version 2003

- **Armatures verticales**

La section d'armatures à introduire dans les voiles sera une section répartie comme suit :

- ✓ Les armatures verticales sont disposées en deux nappes parallèles aux faces des voiles.
- ✓ 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.
- ✓ Zone tendue : un espacement maximal de 15 cm et un pourcentage minimal de 0.20% de la section du béton,  $A_{\min} = 0.2\% \times l_t \times e$

Avec :  $l_t$ : longueur de la zone tendue,  
 $e$  : épaisseur du voile.

- ✓ À chaque extrémité du voile l'espacement des barres doit être réduit de moitié sur  $L/10$  de la longueur du voile
- ✓ Les barres du dernier niveau doivent être munies de crochets à la partie supérieure. Toutes les autres barres n'ont pas de crochets (jonction par recouvrement).

- **Armatures Horizontal :**

Les armatures horizontales sont destinées à reprendre des efforts tranchants, elles doivent être disposées en deux nappes vers les extrémités des armatures verticales pour empêcher leurs flambements et munies de crochets à  $135^\circ$  ayant une longueur de  $10\phi_1$ .

- **Armatures Transversales :**

Elles sont destinées essentiellement à retenir les barres verticales intermédiaires contre le flambement, leur nombre doit être égale au minimum à 4 barres / m<sup>2</sup>.

### IV-4-3 Règles communes (RBA99 ver 2003 ART.7.7.4.3)

- Le pourcentage minimum d'armatures verticales et horizontales des trumeaux, est donné comme suit :
  - ✓ Globalement dans la section du voile 0,15 %
  - ✓ En zone courante 0,10 %
- L'espacement des nappes d'armatures horizontales et verticales est  $S_t \leq \min(1,5 e ; 30 \text{ cm})$
- Les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins 4 épingles au mètre carré.
- Le diamètre des barres verticales et horizontales (à l'exception des zones d'about) ne devrait pas dépasser 1/10 de l'épaisseur du voile.
- les longueurs de recouvrements doivent être égales à :
  - ✓ 40  $\emptyset$  pour les barres situées dans les zones où le renversement du signe des efforts est possible.
  - ✓ 20  $\emptyset$  pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons possibles de charges.
- Le long des joints de reprise de coulage, l'effort tranchant doit être repris par les aciers de couture dont la section doit être calculée avec la formule :
$$A_{ij} = 1,1 V/f_e \quad \text{Avec} \quad V = 1,4V_u$$
- Cette quantité doit s'ajouter à la section d'aciers tendus nécessaires pour équilibrer les efforts détraction dus aux moments de renversement.

### IV-4-4 exemple de calcul du voile VY2 :

Les sollicitations de calcul sont données par le logiciel ETABS2016, les résultats sont obtenus dans le tableau suivant :

Tableau IV-24 : sollicitations dans le voile du l'entresol 1

| Etage      | $N_{max} \rightarrow M_{cor}$ |         | $N_{min} \rightarrow M_{cor}$ |         | $M_{max} \rightarrow N_{cor}$ |         | V (KN) |
|------------|-------------------------------|---------|-------------------------------|---------|-------------------------------|---------|--------|
|            | N (KN)                        | M(KN.M) | N(KN)                         | M(KN.M) | M(KN.M)                       | N (KN)  |        |
| Entresol 1 | 2179,09                       | 36      | 666,90                        | 706,90  | 750,22                        | 2056,69 | 269,88 |

Le ferrailage se fera sous  $N_{min} \rightarrow M_{cor}$ , à la flexion composée pour une section ( $e \times 1$  ml).

Exemple de calcul du ferrailage est présenté ci-dessous les autres résultats seront récapitulés dans les tableaux.

Données :  $N_{min} = 666,9088$  KN,  $M_{cor} = 706,9074$  KN.m

$l = 2$  m ;  $e = 0,20$  m ;  $d = 1,95$  m  $d' = 0,05$  m

**Calcul des contraintes :**

$$\sigma = \frac{N}{B} \pm \frac{M}{I} V$$

$$\sigma^{max} = \frac{666,9088 \times 10^{-3}}{2 \times 0,2} + \frac{706,9074 \times 10^{-3}}{0,133} \times 1 = 6,969 \text{ MPA}$$

$$\sigma^{min} = \frac{666,9088 \times 10^{-3}}{2 \times 0,2} - \frac{706,9074 \times 10^{-3}}{0,133} \times 1 = -3,634 \text{ MPA}$$

$\sigma^{max} > 0$  et  $\sigma^{min} < 0$ , donc la section est partiellement comprimé, la méthode de calcul se fait par assimilation à la flexion simple.

**Calcul des armatures transversales :**

$$M_{UA} = M_{UG} + N_U \left( d - \frac{h}{2} \right) = 706,9074 + 666,9088 \left( 1,95 - \frac{2}{2} \right)$$

$$M_{UA} = 1340,47 \text{ KN.m}$$

$$\mu_{bu} = \frac{M_{ua}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{1,340}{0,2 \times 1,95^2 \times 18,48} = 0,095 < \mu_1 = 0,379 \rightarrow A' = 0$$

$$\alpha = 1,25 \times (1 - \sqrt{1 - 2\mu_{bu}}) = 0,125$$

$$z = d(1 - 0,4\alpha) = 1,852 \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{M_{UA}}{Z \times f_{st}} = \frac{1,340}{1,852 \times 400} = 18,08 \text{ cm}^2$$

On revient à la flexion composée :

$$A = A_1 - \frac{N_U}{f_{st}} = 1.40 \text{ cm}^2$$

Soit :  $A_s = 1,4 \text{ cm}^2$  dans la zone tendue.

**Détermination des longueurs (tendue et comprimée)**

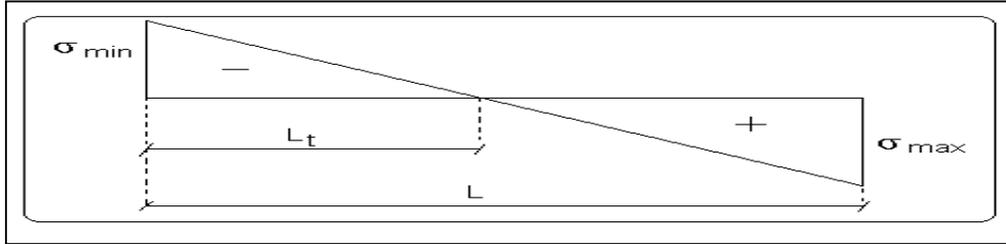


Figure IV-4 : schémas des contraintes

On a:

$$l_t = \frac{\sigma_{min} \times L}{\sigma_{max} + \sigma_{min}} \qquad l_c = L - 2l_t$$

$$\left\{ \begin{array}{l} l_t = \frac{3,634 \times 2}{3,634 + 6,969} = 0,7 \text{ m} \\ l_c = 2 - 2 \times 0,703 = 0,6 \text{ m} \end{array} \right.$$

pour éviter tous risques de changement de signe et contraintes sous les différentes combinaison, la zone tendue calculée sera prise de part et d'autre (les deux extrémités de voile), le voile sera donc ferrillé symétriquement.

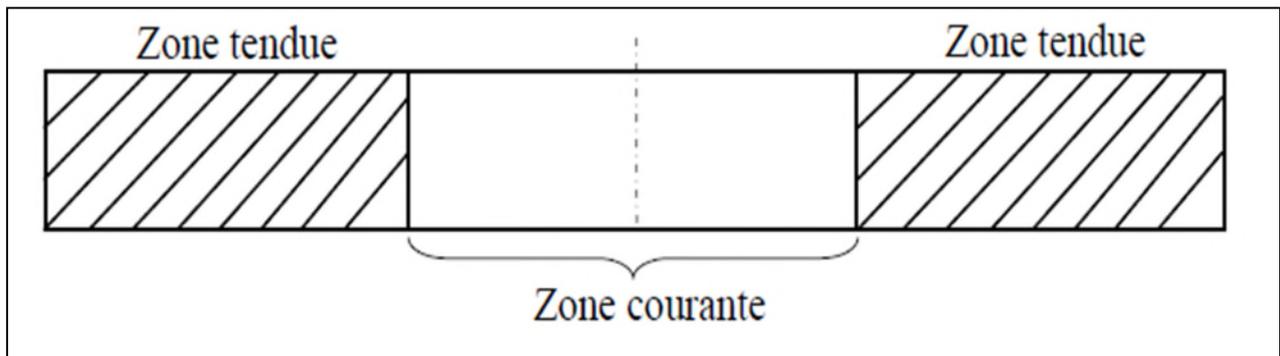


Figure IV-5 : zone tendue et zone courante dans le voile

**Armatures minimales en zone tendue et zone comprimée (courante)**

$$\left\{ \begin{array}{l} A_{min}^{z.t} = 0,2\% (e \times l_t) = 2,8 \text{ cm}^2 \\ A_{min}^{z.c} = 0,1\% (e \times l_c) = 1,2 \text{ cm}^2 \end{array} \right.$$

**Armatures minimales dans tout le voile**

Selon le **RPA99/2003**,  $A_{min} = 0,15\% (e \times l) = 0,15\% (20 \times 200) = 6 \text{ cm}^2$

## Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives

$$\text{Ont a : } A^{Z.\text{tendue totale}} = 2 \cdot A_s = 2 \times 1,4 = 2,8 \text{ cm}^2 < A_{\text{min}}^{\text{voile}}$$

### Espacement des barres verticales

$$S_t \leq \min(1,5 \times e ; 30\text{cm}) \rightarrow S_t \leq 30 \text{ cm}$$

Ont opte pour  $S_t = 20 \text{ cm}$

### Armatures horizontales

La section des armatures horizontales est calculée selon la formule suivante :

$$A_h = \frac{\tau_u \times b \times S_t \times \gamma_s}{0,9 \times f_e}$$

$$\text{Avec : } \tau_u = \frac{1,4V_d}{e \times d} = \frac{1,4 \times 269,8899 \times 10^{-3}}{0,2 \times 1,95} = 0,968 \text{ MPa} < \bar{\tau} = 5 \text{ MPa}$$

Pas de risque de rupture par cisaillement.

### Espacement des barres horizontales :

$$S_t \leq \min(1,5 \times e ; 30\text{cm}) \rightarrow S_t \leq 30 \text{ cm}$$

Ont opte pour  $S_t = 20 \text{ cm}$

$$\text{Donc } A_h \geq \frac{0,968 \times 0,2 \times 0,2 \times 1}{0,9 \times 400} = 1,07 \text{ cm}^2$$

$$\text{On a } A_h > A_h^{\text{min}} = \frac{0,4 \times e \times S_t}{f_e} = 0,4 \text{ cm}^2$$

### Choix des armatures

#### Armatures verticales :

$$\text{En zone tendue : } A^{Z.\text{tendue}} = 4\text{HA}10 + 6\text{HA}8 = 6,16 \text{ cm}^2$$

#### Armatures horizontales :

$$A^H = 2\text{HA}10 = 1,5 \text{ cm}^2 (S_t = 20 \text{ cm})$$

**Tableau IV-25 : ferrailage du voile VX1 et VX2**

| Section                             | E-sol1,E-sol2<br>RDC | Soupenne,<br>Etage 1et 2 | Etage<br>3-4-5 | Etage<br>6-7-8 | Etage 9-10,<br>Terasse |
|-------------------------------------|----------------------|--------------------------|----------------|----------------|------------------------|
| l (m)                               | 1,90                 | 1,90                     | 1,90           | 1,90           | 1,90                   |
| e (m)                               | 0,2                  | 0,2                      | 0,2            | 0,2            | 0,2                    |
| N (KN)                              | 681,2172             | 721,3646                 | 656,2899       | 419,3556       | 156,7448               |
| M(KN.m)                             | 587,7341             | 79,5008                  | 45,4209        | 43,0092        | 31,7257                |
| d (m)                               | 1,85                 | 1,85                     | 1,85           | 1,85           | 1,85                   |
| V (KN)                              | 139,2814             | 137,7852                 | 99,7096        | 75,1656        | 57,2211                |
| $\tau$ (MPa)                        | 0,5270107            | 0,52134941               | 0,37727957     | 0,28441038     | 0,21651227             |
| $\bar{\tau}$ (MPa)                  | 5                    | 5                        | 5              | 5              | 5                      |
| $A_{\text{cal}}$ (cm <sup>2</sup> ) | 0,05037807           | -7,88514677              | -7,58382789    | -4,70472226    | -1,5673681             |
| $A_{\text{min}}$ (cm <sup>2</sup> ) | 5,7                  | 5,7                      | 5,7            | 5,7            | 5,7                    |
| I (m <sup>4</sup> )                 | 0,114                | 0,114                    | 0,114          | 0,114          | 0,114                  |
| V (m)                               | 0,95                 | 0,95                     | 0,95           | 0,95           | 0,95                   |
| $\sigma_1$ (MPa)                    | 6,676                | 2,558999363              | 2,104          | 1,460          | 0,676                  |
| $\sigma_2$ (MPa)                    | 3,091                | 1,237656427              | 1,349          | 0,746          | 0,148                  |
| $l_t$ (m)                           | 0,6013003            | 0,6193733                | 0,74228207     | 0,6425204      | 0,34126214             |
| $l_c$ (m)                           | 0,69739941           | 0,66125341               | 0,41543585     | 0,6149592      | 1,21747573             |

## Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives

|                           |                     |                     |                     |                     |                     |
|---------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $A_{tendu}^{min}(cm^2)$   | 2,40520119          | 2,47749318          | 2,96912829          | 2,5700816           | 1,36504854          |
| $A_{courant}^{min}(cm^2)$ | 1,39479881          | 1,32250682          | 0,83087171          | 1,2299184           | 2,43495146          |
| $S_t(m)$                  | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                 |
| $A_{v/face}^{adopté}$     | 4HA10+<br>8HA8=7,16 | 4HA10+<br>8HA8=7,16 | 4HA10+<br>8HA8=7,16 | 4HA10+<br>8HA8=7,16 | 4HA10+<br>8HA8=7,16 |
| $S_t(m)$                  | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                 |
| $A_h^{cal}(cm^2)$         | 0,65876338          | 0,65168676          | 0,47159946          | 0,35551297          | 0,27064034          |
| $A_h^{min}(cm^2)$         | 0,4                 | 0,4                 | 0,4                 | 0,4                 | 0,4                 |
| $A_h^{adopté}$            | 2HA8                | 2HA8                | 2HA8                | 2HA8                | 2HA8                |

**Tableau IV-26** ferrailage du voile VX3

| Section                   | E-sol1,E-sol2<br>RDC | Soupenne,<br>Etage 1et 2 | Etage<br>3-4-5      | Etage<br>6-7-8      | Etage 9-10          |
|---------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| l (m)                     | 1,5                  | 1,5                      | 1,5                 | 1,5                 | 1,5                 |
| e (m)                     | 0,2                  | 0,2                      | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                 |
| N (KN)                    | 522,1251             | 363,8025                 | 347,8148            | 252,6728            | 118,1535            |
| M(KN.m)                   | 416,1655             | 178,749                  | 152,4347            | 96,8974             | 63,1725             |
| d (m)                     | 1,45                 | 1,45                     | 1,45                | 1,45                | 1,45                |
| V (KN)                    | 166,1773             | 182,7926                 | 162,908             | 118,5663            | 83,4215             |
| $\tau$ (MPA)              | 0,80223524           | 0,88244703               | 0,78645241          | 0,57238903          | 0,40272448          |
| $\bar{\tau}$ (MPA)        | 5                    | 5                        | 5                   | 5                   | 5                   |
| $A_{cal}(cm^2)$           | 1,17962528           | -1,58435812              | -1,68607143         | -1,51046506         | -0,41460374         |
| $A_{min}(cm^2)$           | 4,5                  | 4,5                      | 4,5                 | 4,5                 | 4,5                 |
| I (m <sup>4</sup> )       | 0,05625              | 0,05625                  | 0,05625             | 0,05625             | 0,05625             |
| V (m)                     | 0,75                 | 0,75                     | 0,75                | 0,75                | 0,75                |
| $\sigma_1$ (MPA)          | 7,189                | 3,595                    | 3,191               | 2,134               | 1,238               |
| $\sigma_2$ (MPA)          | 3,808                | 1,170                    | 0,873               | 0,449               | 0,446               |
| $l_t(m)$                  | 0,98526629           | 0,3683106                | 0,32221949          | 0,26074332          | 0,39726841          |
| $l_c(m)$                  | 0,47053258           | 0,7633788                | 0,85556102          | 0,97851336          | 0,70546318          |
| $A_{tendu}^{min}(cm^2)$   | 3,94106515           | 1,47324239               | 1,28887795          | 1,04297329          | 1,58907363          |
| $A_{courant}^{min}(cm^2)$ | -0,94106515          | 1,52675761               | 1,71112205          | 1,95702671          | 1,41092637          |
| $S_t(m)$                  | 0,20                 | 0,20                     | 0,20                | 0,20                | 0,20                |
| $A_{v/face}^{adopté}$     | 4HA10+<br>6HA8=6,16  | 4HA10+<br>6HA8=6,16      | 4HA10+<br>6HA8=6,16 | 4HA10+<br>6HA8=6,16 | 4HA10+<br>6HA8=6,16 |
| $S_t(m)$                  | 0,20                 | 0,20                     | 0,20                | 0,20                | 0,20                |
| $A_h^{cal}(cm^2)$         | 1,00279405           | 1,10305879               | 0,98306552          | 0,71548629          | 0,5034056           |
| $A_h^{min}(cm^2)$         | 0,40                 | 0,40                     | 0,40                | 0,40                | 0,40                |
| $A_h^{adopté}$            | 2HA10=1,57           | 2HA10=1,57               | 2HA8=1,01           | 2HA8=1,01           | 2HA8=1,01           |

**Tableau IV-27** : ferrailage du voile VX4

| Section | E-sol1,E-sol2<br>RDC | Soupenne,<br>Etage 1et 2 | Etage<br>3-4-5 | Etage<br>6-7-8 | Etage 9-10, |
|---------|----------------------|--------------------------|----------------|----------------|-------------|
| l (m)   | 1,70                 | 1,70                     | 1,70           | 1,70           | 1,70        |
| e (m)   | 0,20                 | 0,20                     | 0,20           | 0,20           | 0,20        |
| N (KN)  | 359,8821             | 691,3984                 | 512,3615       | 313,5759       | 114,6552    |
| M(KN.m) | 625,7845             | 227,7363                 | 241,1127       | 172,1478       | 82,6646     |
| d (m)   | 1,65                 | 1,65                     | 1,65           | 1,65           | 1,65        |
| V (KN)  | 245,5829             | 168,0674                 | 196,2719       | 160,1654       | 134,3241    |

**Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives**

|  |                      |                      |                      |                      |                      |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\tau$ (MPa)                           | 1,04186685           | 0,1680674            | 0,83266867           | 0,1601654            | 0,56985982           |
| $\bar{\tau}$ (MPa)                     | 5                    | 5                    | 5                    | 5                    | 5                    |
| $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> )           | 5,53976972           | -4,95526153          | -2,60381887          | -1,28948021          | -0,20082299          |
| $A_{min}$ (cm <sup>2</sup> )           | 5,1                  | 5,1                  | 5,1                  | 5,1                  | 5,1                  |
| I (m <sup>4</sup> )                    | 0,0819               | 0,0819               | 0,0819               | 0,0819               | 0,0819               |
| V (m)                                  | 0,85                 | 0,85                 | 0,85                 | 0,85                 | 0,85                 |
| $\sigma_1$ (MPa)                       | 7,554                | 4,397                | 4,009                | 2,709                | 1,195                |
| $\sigma_2$ (MPa)                       | 5,437                | -0,330               | -0,995               | -0,864               | -0,520               |
| $l_t$ (m)                              | 0,71148487           | 0,11867992           | 0,33802958           | 0,41108312           | 0,5154519            |
| $l_c$ (m)                              | 0,27703025           | 1,46264015           | 1,02394085           | 0,87783375           | 0,66909621           |
| $A_{tendu}^{min}$ (cm <sup>2</sup> )   | 2,8459395            | 0,4747197            | 1,35211831           | 1,64433249           | 2,06180758           |
| $A_{courant}^{min}$ (cm <sup>2</sup> ) | 0,5540605            | 2,9252803            | 2,04788169           | 1,75566751           | 1,33819242           |
| $S_t$ (m)                              | 0,20                 | 0,20                 | 0,20                 | 0,20                 | 0,20                 |
| $A_{v/face}^{adopté}$                  | 4HA10+<br>6HA8=6HA16 | 4HA10+<br>6HA8=6HA16 | 4HA10+<br>6HA8=6HA16 | 4HA10+<br>6HA8=6HA16 | 4HA10+<br>6HA8=6HA16 |
| $S_t$ (m)                              | 0,20                 | 0,20                 | 0,20                 | 0,20                 | 0,20                 |
| $A_h^{cal}$ (cm <sup>2</sup> )         | 1,30233356           | 0,89126652           | 1,04083583           | 0,84936197           | 0,71232477           |
| $A_h^{min}$ (cm <sup>2</sup> )         | 0,4                  | 0,4                  | 0,4                  | 0,4                  | 0,4                  |
| $A_h^{adopté}$                         | 2HA10=1,57           | 2HA8=1,01            | 2HA10=1,57           | 2HA8=1,01            | 2HA8=1,01            |

**Tableau IV-28** ferrailage du voile VY1

| Section                                | E-sol1,E-sol2<br>RDC | Soupenne,<br>Etage 1et 2 | Etage<br>3-4-5      | Etage<br>6-7-8      | Etage 9-10,<br>Terasse |
|--|----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| l (m)                                  | 1                    | 1                        | 1                   | 1                   | 1                      |
| e (m)                                  | 0,2                  | 0,2                      | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                    |
| N (KN)                                 | 111,3761             | 223,9761                 | 228,0593            | 182,9922            | 106,8853               |
| M(KN.m)                                | 202,6771             | 17,9113                  | 18,151              | 19,5419             | 33,0659                |
| d (m)                                  | 0,95                 | 0,95                     | 0,95                | 0,95                | 0,95                   |
| V (KN)                                 | 100,3476             | 36,6177                  | 58,2841             | 57,2663             | 57,31228               |
| $\tau$ (MPa)                           | 0,73940337           | 0,26981463               | 0,42946179          | 0,42196221          | 0,42230101             |
| $\bar{\tau}$ (MPa)                     | 5                    | 5                        | 5                   | 5                   | 5                      |
| $A_{cal}$ (cm <sup>2</sup> )           | 4,14135033           | -2,41805427              | -2,46339811         | -1,85128058         | -0,77897319            |
| $A_{min}$ (cm <sup>2</sup> )           | 3                    | 3                        | 3                   | 3                   | 3                      |
| I (m <sup>4</sup> )                    | 0,0166               | 0,0166                   | 0,0166              | 0,0166              | 0,0166                 |
| V (m)                                  | 0,5                  | 0,5                      | 0,5                 | 0,5                 | 0,5                    |
| $\sigma_1$ (MPa)                       | 4,354                | 1,657                    | 1,684               | 1,501               | 1,526                  |
| $\sigma_2$ (MPa)                       | -2,327               | -0,582                   | -0,595              | -0,328              | -0,457                 |
| $l_t$ (m)                              | 0,34830115           | 0,25993747               | 0,26107942          | 0,17933297          | 0,2304589              |
| $l_c$ (m)                              | 0,30339769           | 0,48012506               | 0,47784116          | 0,64133406          | 0,5390822              |
| $A_{tendu}^{min}$ (cm <sup>2</sup> )   | 1,39320461           | 1,03974989               | 1,04431768          | 0,71733188          | 0,9218356              |
| $A_{courant}^{min}$ (cm <sup>2</sup> ) | 0,60679539           | 0,96025011               | 0,95568232          | 1,28266812          | 1,0781644              |
| $S_t$ (m)                              | 0,2                  | 0,2                      | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                    |
| $A_{v/face}^{adopté}$                  | 3HA10+<br>4HA8=5,15  | 3HA10+<br>4HA8=5,15      | 3HA10+<br>4HA8=5,15 | 3HA10+<br>4HA8=5,15 | 3HA10+<br>4HA8=5,15    |
| $S_t$ (m)                              | 0,2                  | 0,2                      | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                    |
| $A_h^{cal}$ (cm <sup>2</sup> )         | 0,92425421           | 0,33726829               | 0,53682724          | 0,52745276          | 0,52787626             |
| $A_h^{min}$ (cm <sup>2</sup> )         | 0,4                  | 0,4                      | 0,4                 | 0,4                 | 0,4                    |
| $A_h^{adopté}$                         | 2HA8=1,01            | 2HA8=1,01                | 2HA8=1,01           | 2HA8=1,01           | 2HA8=1,01              |

Tableau IV-29 ferrailage du voile VY2

| Section                   | E-sol1,E-sol2<br>RDC | Soupende,<br>Etage 1et 2 | Etage<br>3-4-5      | Etage<br>6-7-8      | Etage 9-10,<br>Terasse |
|---------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| l (m)                     | 2                    | 2                        | 2                   | 2                   | 2                      |
| e (m)                     | 0,2                  | 0,2                      | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                    |
| N (KN)                    | 666,9088             | 735,3701                 | 616,9215            | 404,3894            | 183,1454               |
| M(KN.m)                   | 706,9074             | 39,4138                  | 30,4841             | 141,5258            | 51,2955                |
| d (m)                     | 1,95                 | 1,95                     | 1,95                | 1,95                | 1,95                   |
| V (KN)                    | 269,8899             | 154,34                   | 165,8969            | 133,4683            | 68,849                 |
| $\tau$ (MPA)              | 0,96883554           | 0,55404103               | 0,59552733          | 0,47911697          | 0,24715026             |
| $\bar{\tau}$ (MPA)        | 5                    | 5                        | 5                   | 5                   | 5                      |
| $A_{cal}(cm^2)$           | 1,4213229            | -8,66011427              | -7,33698683         | -3,23904845         | -1,66685559            |
| $A_{min}(cm^2)$           | 6                    | 6                        | 6                   | 6                   | 6                      |
| I (m <sup>4</sup> )       | 0,133                | 0,133                    | 0,133               | 0,133               | 0,133                  |
| V (m)                     | 1                    | 1                        | 1                   | 1                   | 1                      |
| $\sigma_1$ (MPA)          | 6,969                | 2,134                    | 1,760               | 2,072               | 0,842                  |
| $\sigma_2$ (MPA)          | -3,634               | 1,542                    | 1,313               | -0,050              | 0,073                  |
| $l_t$ (m)                 | 0,68546638           | 0,83895539               | 0,85176776          | 0,04712535          | 0,15956284             |
| $l_c$ (m)                 | 0,62906725           | 0,32208923               | 0,29646448          | 1,90574929          | 1,68087432             |
| $A_{tendu}^{min}(cm^2)$   | 2,74186551           | 3,35582155               | 3,40707103          | 0,18850141          | 0,63825137             |
| $A_{courant}^{min}(cm^2)$ | 1,25813449           | 0,64417845               | 0,59292897          | 3,81149859          | 3,36174863             |
| $S_t$ (m)                 | 0,20                 | 0,20                     | 0,20                | 0,20                | 0,20                   |
| $A_{v/face}^{adopté}$     | 4HA10+<br>9HA8=7,66  | 4HA10+<br>9HA8=7,66      | 4HA10+<br>9HA8=7,66 | 4HA10+<br>9HA8=7,66 | 4HA10+<br>9HA8=7,66    |
| $S_t$ (m)                 | 0,20                 | 0,20                     | 0,20                | 0,20                | 0,20                   |
| $A_h^{cal}(cm^2)$         | 1,21104442           | 0,69255128               | 0,74440917          | 0,59889622          | 0,30893782             |
| $A_h^{min}(cm^2)$         | 0,4                  | 0,4                      | 0,4                 | 0,4                 | 0,4                    |
| $A_h^{adopté}$            | 2HA10                | 2HA8                     | 2HA8                | 2HA8                | 2HA8                   |

Tableau IV-30 ferrailage du voile VY3

| Section                 | E-sol1,E-sol2<br>RDC | Soupende,<br>Etage 1et 2 | Etage<br>3-4-5 | Etage<br>6-7-8 | Etage 9-10,<br>Terasse |
|-------------------------|----------------------|--------------------------|----------------|----------------|------------------------|
| l (m)                   | 1,50                 | 1,50                     | 1,50           | 1,50           | 1,50                   |
| e (m)                   | 0,2                  | 0,2                      | 0,2            | 0,2            | 0,2                    |
| N (KN)                  | -119,69              | 226,9535                 | 226,4773       | 128,6133       | 16,4135                |
| M(KN.m)                 | 480 ,989             | 9,3247                   | 10,8344        | 59,4216        | 38,0696                |
| d (m)                   | 1,45                 | 1,45                     | 1,45           | 1,45           | 1,45                   |
| V (KN)                  | 201,9884             | 77,8703                  | 75,9377        | 53,5201        | 30,7071                |
| $\tau$ (MPA)            | 0,97511883           | 0,37592559               | 0,36659579     | 0,25933841     | 0,14824117             |
| $\bar{\tau}$ (MPA)      | 5                    | 5                        | 5              | 5              | 5                      |
| $A_{cal}(cm^2)$         | 7,12736989           | -2,7418923               | -2,70924982    | -0,61332608    | 0,4468711              |
| $A_{min}(cm^2)$         | 4,5                  | 4,5                      | 4,5            | 4,5            | 4,5                    |
| I (m <sup>4</sup> )     | 0,05625              | 0,05625                  | 0,05625        | 0,05625        | 0,05625                |
| V (m)                   | 0,75                 | 0,75                     | 0,75           | 0,75           | 0,75                   |
| $\sigma_1$ (MPA)        | 6,812                | 0,880                    | 0,899          | 1,220          | 0,562                  |
| $\sigma_2$ (MPA)        | -6,014               | 0,632                    | 0,610          | -0,363         | -0,452                 |
| $l_t$ (m)               | 0,70333697           | 0,62698413               | 0,60636183     | 0,34396715     | 0,66863905             |
| $l_c$ (m)               | 0,09332606           | 0,24603175               | 0,28727634     | 0,8120657      | 0,16272189             |
| $A_{tendu}^{min}(cm^2)$ | 2,81334789           | 2,50793651               | 2,42544732     | 1,3758686      | 2,67455621             |

**Chapitre IV : ferrailage des éléments de contreventement et dispositions constructives**

|                            |                     |                     |                     |                     |                     |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $A_{courant}^{min} (cm^2)$ | 0,18665211          | 0,49206349          | 0,57455268          | 1,6241314           | 0,32544379          |
| $S_t (m)$                  | 0,20                | 0,20                | 0,20                | 0,20                | 0,20                |
| $A_{v/face}^{adopté}$      | 4HA12+<br>6HA8=7,54 | 4HA10+<br>6HA8=6,16 | 4HA10+<br>6HA8=6,16 | 4HA10+<br>6HA8=6,16 | 4HA10+<br>6HA8=6,16 |
| $S_t (m)$                  | 0,20                | 0,20                | 0,20                | 0,20                | 0,20                |
| $A_h^{cal} (cm^2)$         | 1,21889853          | 0,46990698          | 0,45824474          | 0,32417302          | 0,18530147          |
| $A_h^{min} (cm^2)$         | 0,4                 | 0,4                 | 0,4                 | 0,4                 | 0,4                 |
| $A_h^{adopté}$             | 2HA10=1,57          | 2HA8=1,01           | 2HA8=1,01           | 2HA8=1,01           | 2HA8=1,01           |

**Tableau IV-31** ferrailage du voile VY4

| Section                    | E-sol1,E-sol2<br>RDC | Soupende,<br>Etage 1et 2 | Etage<br>3-4-5      | Etage<br>6-7-8      | Etage 9-10,<br>Terasse |
|----------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| l (m)                      | 1,8                  | 1,8                      | 1,8                 | 1,8                 | 1,8                    |
| e (m)                      | 0,2                  | 0,2                      | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                    |
| N (KN)                     | 485,4784             | 315,2461                 | 286,676             | 209,984             | 78,0555                |
| M(KN.m)                    | 140,9091             | 191,0625                 | 121,5497            | 80,998              | 46,2493                |
| d (m)                      | 1,75                 | 1,75                     | 1,75                | 1,75                | 1,75                   |
| V (KN)                     | 172,2487             | 137,6006                 | 97,5019             | 72,6569             | 36,0326                |
| $\tau$ (MPA)               | 0,1722484            | 0,1376006                | 0,0975019           | 0,0726569           | 0,0360326              |
| $\bar{\tau}$ (MPA)         | 5                    | 5                        | 5                   | 5                   | 5                      |
| $A_{cal} (cm^2)$           | -4,02542402          | -1,18505508              | -1,8624042          | -1,49918712         | -0,33478541            |
| $A_{min} (cm^2)$           | 5,4                  | 5,4                      | 5,4                 | 5,4                 | 5,4                    |
| I (m <sup>4</sup> )        | 0,0972               | 0,0972                   | 0,0972              | 0,0972              | 0,0972                 |
| V (m)                      | 0,9                  | 0,9                      | 0,9                 | 0,9                 | 0,9                    |
| $\sigma_1$ (MPA)           | 2,653                | 2,644                    | 1,921               | 1,333               | 0,645                  |
| $\sigma_2$ (MPA)           | 0,043                | -0,893                   | -0,329              | -0,166              | -0,211                 |
| $l_t$ (m)                  | 0,0287092            | 0,45445293               | 0,2632              | 0,19933289          | 0,44369159             |
| $l_c$ (m)                  | 1,7425816            | 0,89109415               | 1,2736              | 1,40133422          | 0,91261682             |
| $A_{tendu}^{min} (cm^2)$   | 0,1148368            | 1,8178117                | 1,0528              | 0,79733155          | 1,77476636             |
| $A_{courant}^{min} (cm^2)$ | 3,4851632            | 1,7821883                | 2,5472              | 2,80266845          | 1,82523364             |
| $S_t (m)$                  | 0,2                  | 0,2                      | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                    |
| $A_{v/face}^{adopté}$      | 4HA10+<br>8HA8=7,16  | 4HA10+<br>8HA8=7,16      | 4HA10+<br>8HA8=7,16 | 4HA10+<br>8HA8=7,16 | 4HA10+<br>8HA8=7,16    |
| $S_t (m)$                  | 0,2                  | 0,2                      | 0,2                 | 0,2                 | 0,2                    |
| $A_h^{cal} (cm^2)$         | 0,861242             | 0,688003                 | 0,4875095           | 0,3632845           | 0,180163               |
| $A_h^{min} (cm^2)$         | 0,4                  | 0,4                      | 0,4                 | 0,4                 | 0,4                    |
| $A_h^{adopté}$             | 2HA8=1,01            | 2HA8=1,01                | 2HA8=1,01           | 2HA8=1,01           | 2HA8=1,01              |

IV-4-5 Schéma de ferrailage

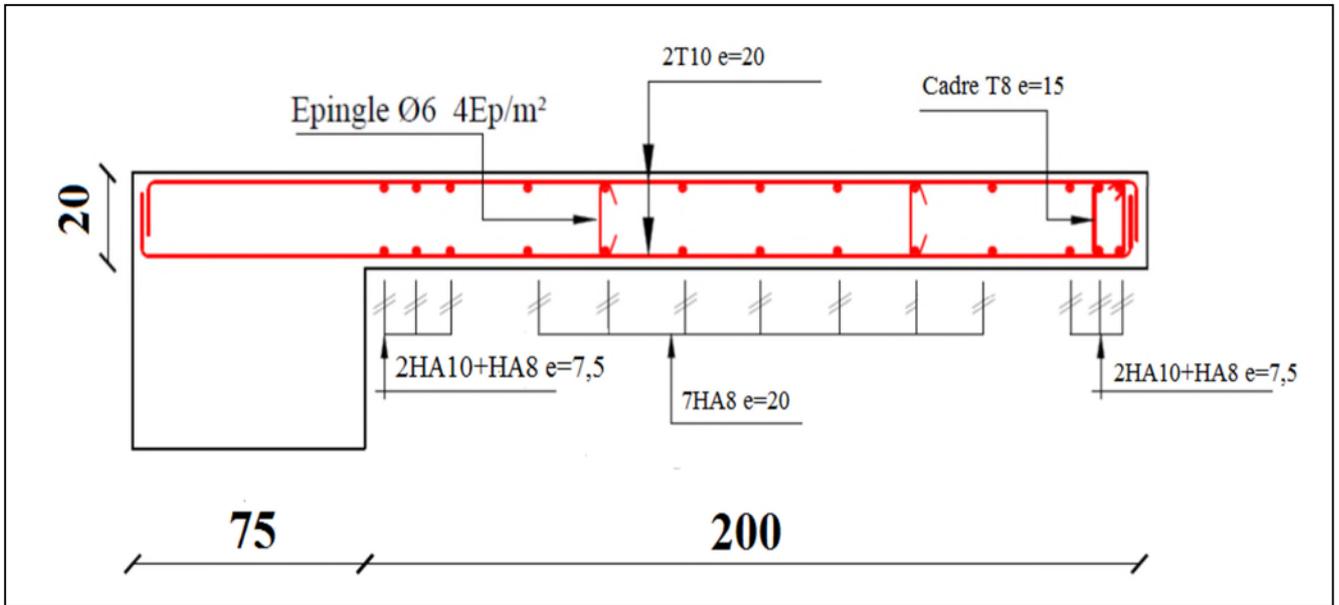


Figure IV-6 : schéma de ferrailage du voile VY2 au niveau de l'entresol 1

# **Chapitre V :**

## **Etude de l'infrastructure**

### Chapitre V : Etude de l'infrastructure

#### V-1 : Introduction

**L'infrastructure** est l'ensemble des éléments, qui ont pour objectif le support des charges de la superstructure et les transmettre au sol. Cette transmission peut être directe (semelle posées directement sur le sol : fondation superficielle) ou indirecte (semelle sur pieux : fondation profondes) et cela de façon limiter les tassements différentiels et les déplacements sous l'action des forces horizontale. Elle consiste donc une partie essentielle de l'ouvrage , puisque de sa bonne conception et réalisation, décolle la bonne tenu de l'ensemble.

#### V-2 : Choix du type des fondations

Le choix du type des fondations dépend essentiellement, des facteurs suivants :

- La capacité portante du sol.
- La charge transmise au sol.
- La distance entre axes des poteaux.

Pour le choix du type de fondation, on vérifie dans l'ordre suivant : les semelles isolées, les semelles filantes et le radier général et enfin on opte pour le choix qui convient.

#### V-3 : Etude des fondations

D'après le **RPA99** (Article 10.1.4.1) les fondations superficielles sont dimensionnées selon les combinaisons d'actions suivantes :

- $G + Q \pm E$
- $0,8G \pm E$

##### V-3-1 : vérification des semelles isolées

Les poteaux de notre structure sont carrés à la base de section ( $a \times a$ ) d'où les semelles sont

carrées ( $A \times A$ ), la vérification à faire est :  $S_{fondation} \geq \frac{N_{ser}}{\sigma_{sol}}$

$\sigma_{sol}$ : contrainte admissible du sol (rapport de sol)

$N$  : l'effort normal de service maximal agissant sur la semelle calculé d'après le logiciel ETABS 2016.

$S$  : Surface d'appui de la semelle.

$$S \geq \frac{N_{ser}}{\sigma_{sol}} = \frac{2532,5698}{120} = 21,10 \text{ m}^2 \gg B \geq 4,59 \text{ m}$$

Vu que l'entraxe minimal des poteaux est de 4,15 m, on remarque qu'il va avoir un chevauchement entre les semelles, ce qui revient à dire que ce type de semelles ne convient pas à notre cas.

**V-3-2 : vérification des semelles filantes**

On détermine la semelle filante la plus sollicitée en utilisant (ETABS 2016).

Les résultats sont obtenus dans le tableau suivant :

**Tableau V-1** : somme des efforts normaux des différentes files de semelles filantes

| Files de portique          | 1         | 2          | 3          | 4         |
|----------------------------|-----------|------------|------------|-----------|
| Effort normaux repris (KN) | 7126,2163 | 12871,6131 | 11755,8805 | 9461,8969 |

La vérification à faire est :  $\bar{\sigma}_{sol} \geq \frac{N}{S} = \frac{N}{B \times L} \Rightarrow B \geq \frac{N}{\bar{\sigma}_{sol} \times L}$

Avec :

$N_i$  : l'effort normal provenant du poteau « i ».

B : Largeur de la semelle.

L : Longueur de la semelle.

$\bar{\sigma}_{sol}$  : Contrainte admissible du sol.

$B \geq \frac{12,8716131}{0,12 \times 22,25} = 4,82$

$L_{min} = 4,15m$  Donc il y a un chevauchement entre les semelles filantes, ce qui revient à dire que ce type de semelles ne convient pas à notre cas.

**V-3-3 : Etude du radier**

**V-3-3-1 : Définition**

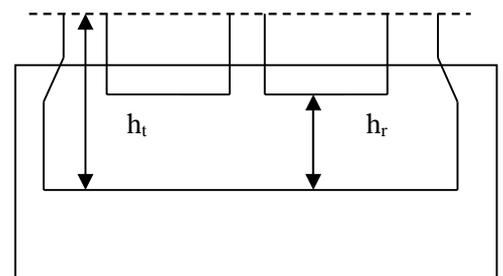
Le radier est une fondation superficielle travaillant comme un plancher renversé, la dalle prend appuis sur des nervures qui prennent elles-mêmes comme appuis les piliers ou les murs de l'ossature. La charge à prendre en compte sera dirigée de bas en haut et sera égale à la réaction du sol. Le radier général assure une bonne répartition des charges sous le sol donc il représente une bonne solution pour éviter le tassement différentiel, Il est choisi selon ces trois principales caractéristiques :

- Un mauvais sol.
- Charges transmises au sol sont importantes.
- Les poteaux rapprochés (petites trames)  $h_t, h_r$

**V-3-3-2 : Pré dimensionnement**

- ✓ **La condition de coffrage**

$h_t$  : hauteur des nervures.



**Figure V-1** : Schéma d'un radier

$h_r$  : hauteur de la dalle.

$L_{max}$  : la plus grande portée entre deux éléments porteurs successifs. ( $L_{max} = 5,30m$ )

$$\left\{ \begin{array}{l} h_r \geq \frac{l_{max}}{20} = \frac{530}{20} = 26,5 \text{ cm} \\ h_t \geq \frac{l_{max}}{10} = \frac{530}{10} = 53 \text{ cm} \end{array} \right.$$

✓ **La condition de raideur (rigidité)**

Pour un radier rigide, il faut que  $L_{max} \leq \frac{\pi \times l_e}{2}$

$$L_e \geq \sqrt[4]{(4 \cdot E \cdot I) / (K \cdot b)}$$

Avec :

$l_e$  : Longueur élastique.

$E$ : Module de Young:  $E=3,216 \times 10^7 \text{ KN/m}^2$

$I$ : Moment d'inertie de la semelle.  $I = \frac{b \cdot h_t^3}{12}$

$K$  : coefficient de raideur du sol.

$$K = \begin{cases} 0,5 \text{ Kg/cm}^3 & \text{très mauvais sol.} \\ 4 \text{ Kg/cm}^3 & \text{sol moyen.} \\ 12 \text{ Kg/cm}^3 & \text{très bon sol.} \end{cases}$$

$$h_t \geq \sqrt[3]{\frac{48 L_{max}^4 K}{\pi^4 E}} = \sqrt[3]{\frac{48 \times 5,3^4 \times 4 \times 10^4}{\pi^4 3,216 \cdot 10^7}} = 78,54 \text{ cm}$$

Soit :  $S_{radier} = 351,5 \text{ m}^2$

• **Calcul de la surface du radier nécessaire**

$$S_{nés} = \frac{N_{ser}}{\bar{\sigma}_{sol}} = \frac{46,536}{0,12} = 387,8 \text{ m}^2$$

$S_{nés} > S_{radier}$

**Remarque** : on a augmenté la surface de notre radier au ajoutant la surface des balcons et du décrochement.

Donc :  $S_{radier} = 410,5 \text{ m}^2$

Soit :  $h_t = 130 \text{ cm}$  ;  $h_r = 40 \text{ cm}$  ;  $d^2=5$  ;  $S_{radier} = 410,5 \text{ m}^2$

### V-3-3-3 : vérifications nécessaires

#### Vérification des contraintes dans le sol

Les contraintes sous le radier sont données par :

$$\sigma = \frac{N}{S_{radier}} \pm \frac{M_x \times Y_G}{I_x}$$

$N$  et  $M$  sont l'effort normal max et le moment par rapport au centre de gravité du radier.

$$X_G = \frac{S_i \times X_i}{S_i} = 8,32 \text{ m}$$

$$Y_G = \frac{S_i \times Y_i}{S_i} = 13,52 \text{ m}$$

$$I_{xx} = 20134,8 m^4$$

$$I_{yy} = 9851 m^4$$

• Sens X-X

$$N = 46,536 \text{ MN} ; M_x = 45,909 \text{ MN.m} ; I_{xG} = 20134,8 m^4 \quad Y_G = 13,52 m$$

$$\begin{cases} \sigma_{max} = \frac{N}{S_{rad}} + \frac{M_x \times Y_G}{I_{xG}} = \frac{46,536}{410,5} + \frac{45,909}{20134,8} \times 13,52 = 0,144 \text{ MPA} \\ \sigma_{min} = \frac{N}{S_{rad}} - \frac{M_x \times Y_G}{I_{xG}} = \frac{46,536}{410,5} - \frac{45,909}{20134,8} \times 13,52 = 0,082 \text{ MPA} \end{cases}$$

$$\text{Donc : } \sigma_{moy} = \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} = 0,128 \text{ MPA} > \bar{\sigma}_{sol} = 0,12 \text{ MPA}$$

La contrainte n'est pas vérifiée selon le sens X-X

• Sens Y-Y

$$N = 46,536 \text{ MN} ; M_y = 44,039 \text{ MN.m} ; I_{yG} = 9851 m^4 \quad X_G = 8,32 m$$

$$\begin{cases} \sigma_{max} = \frac{N}{S_{rad}} + \frac{M_y \times X_G}{I_{yG}} = \frac{46,536}{410,5} + \frac{44,039}{9851} \times 8,32 = 0,150 \text{ MPA} \\ \sigma_{min} = \frac{N}{S_{rad}} - \frac{M_y \times X_G}{I_{yG}} = \frac{46,536}{410,5} - \frac{44,039}{9851} \times 8,32 = 0,076 \text{ MPA} \end{cases}$$

$$\text{Donc : } \sigma_{moy} = \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} = 0,131 \text{ MPA} > \bar{\sigma}_{sol} = 0,12 \text{ MPA}$$

La contrainte n'est pas vérifiée selon le sens Y-Y

**Remarque :** on doit augmenter la surface du radier (adopte un radier avec débord).

Pour notre cas il est possible de augmenté la surface du radier uniquement dans le sens ouest de la structure.

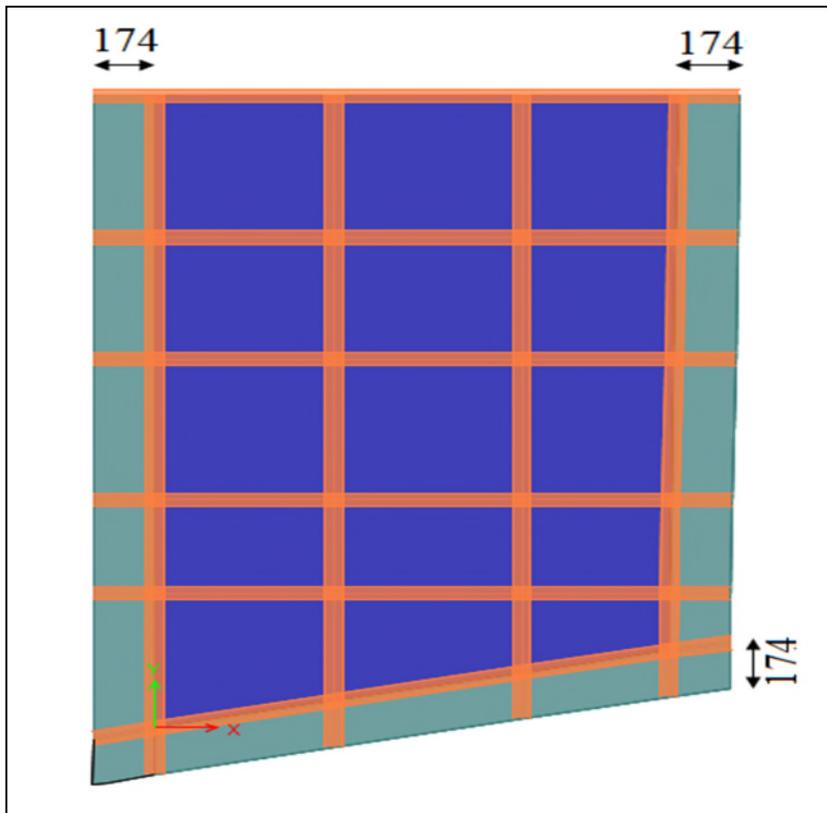


Figure V-2 : schéma représentatif de débord du radier

On a :  $D \geq \max(\frac{h_r}{2}; 30cm) \rightarrow$  on opte pour un débord de :  $D = 1,74$  m

La surface du radier avec débord :  $S_{rad} = 449,7 m^2$

En utilisant, le programme « socotec », on a les nouvelles caractéristiques suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} I_x = 21823,5 m^4 \quad I_y = 13114,8 m^4 \\ X_G = 9,15 m \quad Y_G = 13,59 m \end{array} \right.$$

**Vérification des contraintes dans le sol avec augmentation de la surface du radier**

• **Sens X-X**

$$N = 46,536 \text{ MN} ; M_x = 45,909 \text{ MN.m} \quad ; I_{xG} = 21823,5 m^4 \quad Y_G = 13,59 \text{ m}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{max} = \frac{N}{S_{rad}} + \frac{M_x \times Y_G}{I_{xG}} = \frac{46,536}{449,7} + \frac{45,909}{21823,5} \times 13,59 = 0,132 \text{ MPA} \\ \sigma_{min} = \frac{N}{S_{rad}} - \frac{M_x \times Y_G}{I_{xG}} = \frac{46,536}{449,7} - \frac{45,909}{21823,5} \times 13,59 = 0,074 \text{ MPA} \end{array} \right.$$

$$\text{Donc : } \sigma_{moy} = \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} = 0,117 \text{ MPA} < \bar{\sigma}_{sol} = 0,12 \text{ MPA}$$

• **Sens Y-Y**

$$N = 46,536 \text{ MN} ; M_y = 44,039 \text{ MN.m} \quad ; I_{yG} = 13114,8 m^4 \quad X_G = 9,15 \text{ m}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{max} = \frac{N}{S_{rad}} + \frac{M_y \times X_G}{I_{yG}} = \frac{46,536}{449,7} + \frac{44,039}{13114,8} \times 9,15 = 0,134 \text{ MPA} \\ \sigma_{min} = \frac{N}{S_{rad}} - \frac{M_y \times X_G}{I_{yG}} = \frac{46,536}{449,7} - \frac{44,039}{13114,8} \times 9,15 = 0,072 \text{ MPA} \end{array} \right.$$

$$\text{Donc : } \sigma_{moy} = \frac{3\sigma_{max} + \sigma_{min}}{4} = 0,118 \text{ MPA} < \bar{\sigma}_{sol} = 0,12 \text{ MPA}$$

Donc la contrainte est vérifiée dans les deux sens (X-X et Y-Y)

• **Vérification au cisaillement**

$$\tau_u = \frac{V_u}{b \times d} \leq \bar{\tau}_u = \min\left(0,15 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}; 4\right) = 2,5 \text{ MPA} .$$

On considère une bande de largeur  $b = 1$  m.

$$V_u = \frac{N_u \times L_{max}}{2 \times S_{rad}} \Rightarrow \quad d \geq \frac{V_u}{b \times \bar{\tau}_u} .$$

$N_u$ : Effort normal de calcul résultant de la combinaison la plus défavorable. (ELU)

$$N_u = 63686,785 \text{ KN}$$

$$V_u = \frac{63686,785 \times 5,3}{2 \times 449,7} = 375,294 \text{ KN}$$

$$d \geq \frac{375,294 \times 10^{-3}}{1 \times 2,5} = 0,150 \text{ m} , \quad \text{Soit } d = 35 \text{ cm}$$

$d = 35$  cm et  $h_r = 40$  cm

$$\tau_u = 1,25 \text{ MPa} < \bar{\tau}_u$$

Donc il n'y a pas de risque de rupture par cisaillement.

- **Vérification au poinçonnement**

Il faut vérifier que :  $N_u \leq 0,045 \times U_c \times h_t \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$

$N_u$  : L'effort normal sur le poteau le plus sollicité à L'ELU.

$U_c$  : Le périmètre du contour cisailé projeté sur le plan moyen du radier.

$$U_c = 2 \times (A + B)$$

$$\begin{cases} A = a + h_t = 0,75 + 1,30 = 2,05 \text{ m} & \gg U_c = 8,2 \text{ m et } N_u = 3,466 \text{ MN} \\ B = b + h_t = 0,75 + 1,30 = 2,05 \text{ m} \end{cases}$$

$$N_u = 3,466 \text{ MN} < 0,045 \times 8,2 \times 1,3 \times \frac{25}{1,5} = 7,995 \text{ MN}$$

On Remarque qu'il n'y a pas risque de poinçonnement.

- **Vérification de la poussée hydrostatique**

Il faut vérifiée que :  $N \geq f_s \times H \times S_{rad} \times \gamma_w$

Avec :

H : hauteur de la partie ancrée du bâtiment (H=4,2 m)

$f_s$ : coefficient de sécorité ( $f_s = 1,15$ )

$S_{rad}$  : surface du radier ( $S_{rad} = 449,7 \text{ m}^2$ )

$\gamma_w$ : poids volumique de l'eau ( $\gamma_w = 10 \text{ KN/m}^3$ )

$N = 63686,785 \text{ KN} \geq 1,15 \times 4,2 \times 449,7 \times 10 = 21720,51 \text{ KN}$  .....c'est vérifiée.

- **Vérifiée la stabilité au renversement**

Selon le **RPA99 (art 10.1.5)**, on doit vérifiée que :  $e = \frac{M}{N} \leq \frac{B}{4}$

- ✓ **Sens X-X**

$$e = \frac{45,909}{63,686} = 0,720 \text{ m} < \frac{18,72}{4} = 4,68 \text{ m} \text{ .....vérifiée}$$

- ✓ **Sens Y-Y**

$$e = \frac{44,039}{63,686} = 0,691 \text{ m} < \frac{22,43}{4} = 5,60 \text{ m} \text{ .....vérifiée}$$

Il n'y a pas de risque de renversement

- **Les dimensions finales du radier :**

$$h_t = 130 \text{ cm} ; h_r = 40 \text{ cm} ; S_{radier} = 449,7 \text{ m}^2 ; d' = 5 \text{ cm}$$

**V-3-3-4 : ferrailage du radier**

✓ **Calcul du poids propre du radier**

$$P_{\text{rad}} = h_{\text{rad}} \times S_{\text{rad}} \times \gamma_b = 0,40 \times 449,7 \times 25 = 4497 \text{ KN}$$

✓ **Calcul du poids de la nervure**

$$P_{\text{ner}} = b_{\text{pot}} \times h_t \times L_{\text{ner}} \times \gamma_b = 0,75 \times 1,3 \times 174,06 \times 25 = 4242,7125 \text{ KN}$$

Donc :  $N_u = N_u^{\text{cal}} + 1,35(P_{\text{rad}} + P_{\text{ner}})$

$$N_u = 63686,785 + 1,35(4497+4242,7125) = 75485,396 \text{ KN}$$

$$N_s = 46536,0483 + 4242,7125+4497 = 55275,7808 \text{ KN}$$

A L'ELU:  $Q_u = \frac{N_u}{S_{\text{rad}}} = \frac{75485,396}{449,7} = 167,857 \text{ KN/m}^2$

A L'ELS:  $Q_s = \frac{N_s}{S_{\text{rad}}} = \frac{55275,7808}{449,7} = 122,917 \text{ KN/m}^2$

• **Calcul des sollicitations**

Le panneau le plus sollicité :

$$L_x = 5,3 - 0,75 = 4,55 \text{ m}$$

$$L_y = 5,3 - 0,75 = 4,55 \text{ m}$$

$\rho = \frac{l_x}{l_y} = 1 > 0,4$  , donc la dalle travail dans les deux sens.

ELU :  $\rho = 1 \begin{cases} \mu_x = 0,0368 \\ \mu_y = 1 \end{cases}$

ELS :  $\rho = 1 \begin{cases} \mu_x = 0,0441 \\ \mu_y = 1 \end{cases}$

• **Calcul des moments isostatique**

✓ **ELU**

$$\begin{cases} M_{0x} = \mu_x \times q_u \times l_x^2 = 0,0368 \times 167,857 \times 4,55^2 = 127,882 \text{ KN.m} \\ M_{0y} = 1 \times 127,882 = 127,882 \text{ KN.m} \end{cases}$$

✓ **ELS**

$$\begin{cases} M_{0x} = \mu_x \times q_s \times l_x^2 = 0,0441 \times 122,917 \times 4,55^2 = 112,220 \text{ KN.m} \\ M_{0y} = 1 \times 112,220 = 112,220 \text{ KN.m} \end{cases}$$

✓ **Les moments corrigés**

**ELU :**

$$\begin{cases} M_t^x = 0,75 \times M_{0x} = 0,75 \times 127,882 = 95,911 \text{ KN.m} \\ M_t^y = 0,75 \times M_{0y} = 0,75 \times 127,882 = 95,911 \text{ KN.m} \\ M_{ax} = M_{ay} = -0,5 \times M_{0x} = -0,5 \times 127,882 = -63,941 \text{ KN.m} \end{cases}$$

**ELS :**

$$\begin{cases} M_t^x = 0,75 \times M_{0x} = 0,75 \times 112,220 = 84,165 \text{ KN.m} \\ M_t^y = 0,75 \times M_{0y} = 0,75 \times 112,220 = 84,165 \text{ KN.m} \\ M_{ax} = M_{ay} = -0,5 \times M_{0x} = -0,5 \times 112,220 = -55,110 \text{ KN.m} \end{cases}$$

• **Effort tranchant**

$$V_x = V_y = \frac{q_u \times l_x}{2} \times \frac{l_y^4}{l_x^4 + l_y^4} = \frac{167,857 \times 4,55}{2} \times \frac{4,55^4}{4,55^4 + 4,55^4} = 187,524 \text{ KN}$$

Le ferrailage se fait pour une section (b×h)= (1×0,40) m<sup>2</sup>

Les résultats sont obtenus dans le tableau suivant

**Tableau V-2 : ferrailage du radier**

| Position | sens    | M (KN.m) | A <sub>cal</sub> (cm <sup>2</sup> /ml) | A <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> /ml) | A <sub>adop</sub> (cm <sup>2</sup> /ml) | St (cm) |
|----------|---------|----------|--|--|---|---------|
| Travée   | X-X     | 95,911   | 8,10                                   | 4,22                                   | 6HA14=9,24                              | 15      |
|          | Y-Y     | 95,911   | 8,10                                   | 4,22                                   | 6HA14=9,24                              | 15      |
| Appui    | X-X Y-Y | -63,941  | 5,34                                   | 4,22                                   | 6HA12=6,79                              | 15      |

• **Vérification à L'ELU**

$$\tau_u = \frac{v^{\max}}{b \times d} = \frac{187,524 \times 10^{-3}}{1 \times 0,35} = 0,535 < 1,17$$

Donc les armatures transversales ne sont pas nécessaires.

• **Vérification à L'ELS**

Les résultats des vérifications des contraintes sont obtenus dans le tableau suivant

**Tableau V-3 : vérification des contraintes à L'ELS**

| Position | M <sub>s</sub> (KN.m) | Y (cm) | I (cm <sup>4</sup> ) | σ <sub>bc</sub> ≤ ρ <sub>bc</sub> | obser     | σ <sub>st</sub> ≤ ρ <sub>st</sub> | ober            |        |
|----------|-----------------------|--------|----------------------|-----------------------------------|-----------|-----------------------------------|-----------------|--------|
| Travée   | X-X                   | 84,165 | 8,56                 | 117799                            | 6,11 < 15 | Vérifiée                          | 283,36 > 201,63 | Non. V |
|          | Y-Y                   | 84,165 | 8,56                 | 117799                            | 6,11 < 15 | Vérifiée                          | 283,36 > 201,63 | Non. V |
| appui    | -55,110               | 7,48   | 91086,43             | 4,52 < 15                         | Vérifiée  | 249,75 > 201,63                   | Non. V          |        |

La contrainte de traction n'est pas vérifiée, donc on doit recalculer à L'ELS

**Tableau V-4 : calculs des armatures à L'ELS**

| Position | M <sub>s</sub> (KN.m) | β 10 <sup>-3</sup> | α    | A <sub>cal</sub> (cm <sup>2</sup> /ml) | A <sub>adop</sub> (cm <sup>2</sup> /ml) | St              | σ <sub>st</sub> ≤ ρ <sub>st</sub> | obs             |   |
|----------|-----------------------|--------------------|------|--|---|-----------------|-----------------------------------|-----------------|---|
| Travée   | X-X                   | 84,165             | 3,40 | 0,391                                  | 13,71                                   | 5HA20=15,7<br>1 | 20                                | 170,44 < 201,63 | V |
|          | Y-Y                   | 84,165             | 3,40 | 0,391                                  | 13,71                                   | 5HA20=15,7<br>1 | 20                                | 170,44 < 201,63 | V |

|       |        |       |       |      |                 |    |                 |   |
|-------|--------|-------|-------|------|-----------------|----|-----------------|---|
| Appui | -55,11 | 2,231 | 0,316 | 8,73 | 5HA16=10,0<br>5 | 20 | 171,17 < 201,63 | V |
|-------|--------|-------|-------|------|-----------------|----|-----------------|---|

- **Vérification des espacements**

FN :  $s_t \leq \min(2 h_r ; 25 \text{ cm}) = 25 \text{ cm}$

- **Schéma de ferrailage**

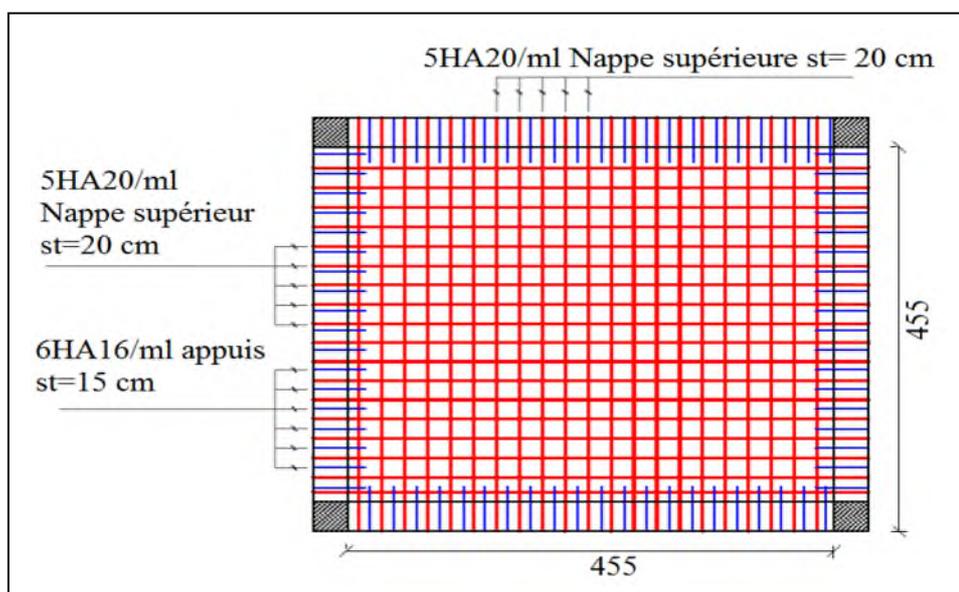


Figure V-3 : schéma du ferrailage du

### V-3-3-5 : ferrailage du débord

Le débord se calcule comme une dalle pleine, il est assimilé à une console de 1,74 m de largeur soumise à la flexion simple.

ELU :

$$M_u = q_u \times \frac{L^2}{2} = 167,857 \times \frac{1,74^2}{2} = 254,101 \text{ KN.m}$$

ELS :

$$M_s = q_s \times \frac{L^2}{2} = 122,917 \times \frac{1,74^2}{2} = 186,071 \text{ KN.m}$$

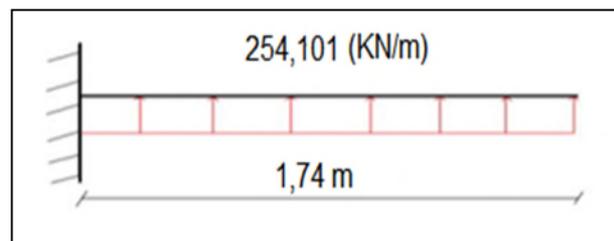


Figure V-4 : schéma statique du débord

Les résultants du ferrailage du débord sont résumés dans le tableau suivant

Tableau V-5 : ferrailage du débord

| Position     | $M_u$   | $A_{cal}$<br>( $cm^2/ml$ ) | $A_{min}$<br>( $cm^2/ml$ ) | $A_{adop}$<br>( $cm^2/ml$ ) | $A_r$<br>( $cm^2/ml$ ) | $A_{r.adop}$<br>( $cm^2/ml$ ) |
|--------------|---------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|-------------------------------|
| N.supérieure | 254,101 | 22,65                      | 4,22                       | 5HA25=24,54                 | 8,18                   | 6HA14=9,24                    |

- Vérification à L'ELU

**Vérification au cisaillement**

$$V_{\max} = P_u \times L = 167,857 \times 1,74 = 292,071 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{V_{\max}}{b \times d} = \frac{292,071 \times 10^{-3}}{1 \times 0,35} = 0,834 \text{ MPa} < 1,17 \text{ MPa}$$

Donc les armatures transversales ne sont pas nécessaires.

- Vérification à L'ELS

**Vérification des contraintes**

Les résultats des vérifications des contraintes sont obtenus dans le tableau suivant

**Tableau V-6** : vérification des contraintes à l'ELS

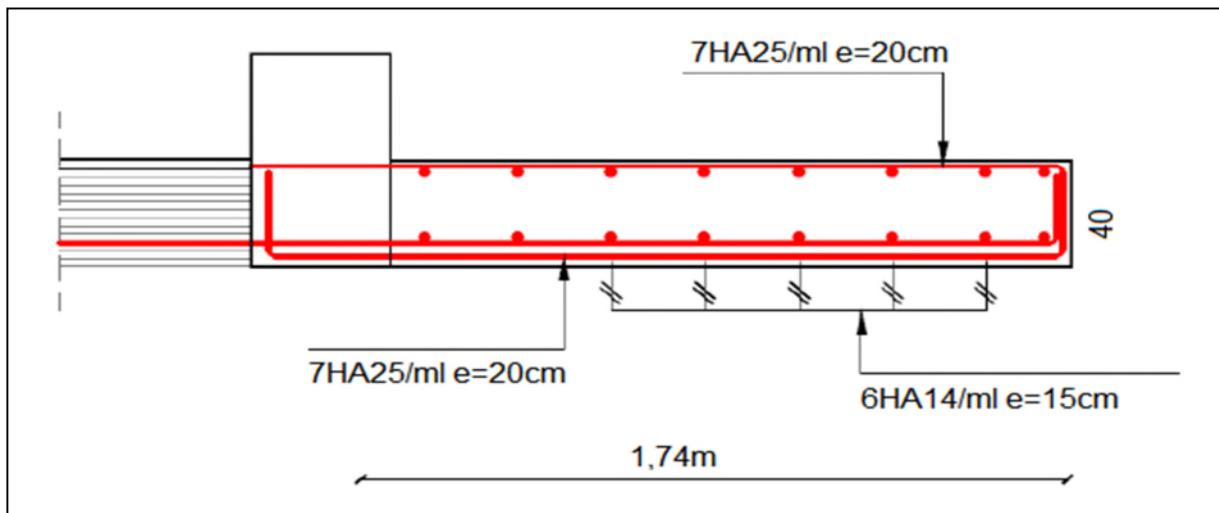
| Position | $M_s$<br>(KN.m) | Y<br>(cm) | I (cm <sup>4</sup> ) | $\sigma_{bc} \leq \overline{\rho_{bc}}$ | obser    | $\sigma_{st} \leq \overline{\rho_{st}}$ | ober       |
|----------|-----------------|-----------|----------------------|---|----------|---|------------|
| Appui    | 186,071         | 12,78     | 251319,32            | 9,46 < 15                               | vérifiée | 246,76 > 201,63                         | N.vérifiée |

La contrainte de traction n'est pas vérifiée, donc on doit recalculer à L'ELS

**Tableau V-7** : calcul des armatures à l'ELS

| Position | $M_s$<br>(KN.m) | $\beta$<br>10 <sup>-3</sup> | $\alpha$ | $A_{cal}$<br>(cm <sup>2</sup> /ml) | $A_{adop}$<br>(cm <sup>2</sup> /ml) | St<br>cm | $\sigma_{st} \leq \overline{\rho_{st}}$ | obs   |
|----------|-----------------|-----------------------------|----------|------------------------------------|-------------------------------------|----------|---|-------|
| Appui    | 186,071         | 9,846                       | 0,443    | 32,71                              | 7HA25=34,36                         | 15       | 179,62 < 201,63                         | Vérif |

**V-3-3-6 : schéma de ferrailage**



**Figure V-5** : schéma de ferrailage de débord

V-3-4 : Etude des nervures

Les nervures servent d'appuis pour la dalle du radier, donc la transmission des charges S'effectue en fonction des lignes de ruptures comme indiqué sur la figure ci-après

Afin de simplifier les calculs, les charges triangulaires et trapézoïdales peuvent être remplacées par des charges équivalentes uniformément réparties.

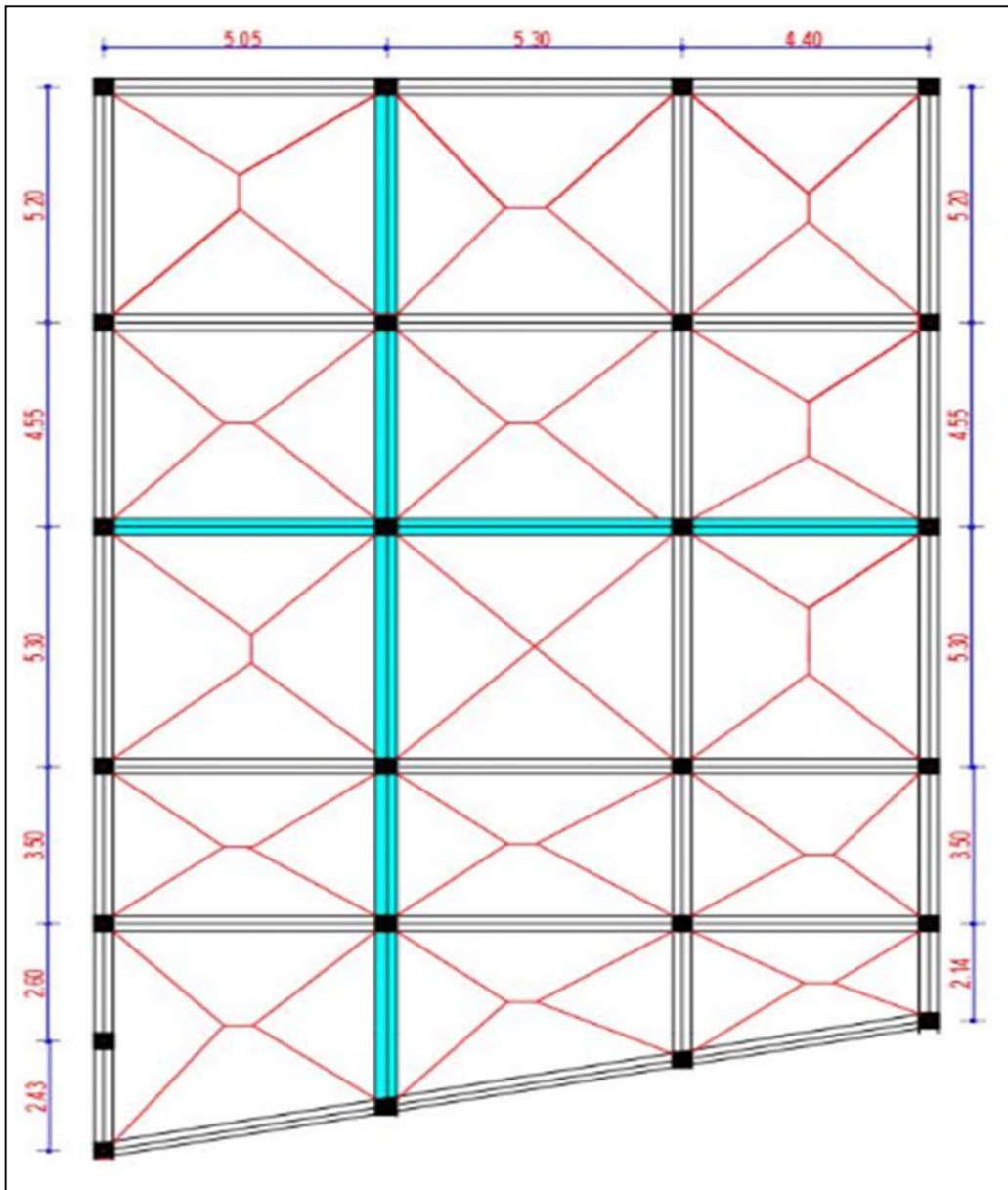


Figure V-6 : schéma des lignes de ruptures de la dalle du radier

- **Charges triangulaires :**

$q_m = q_v = \frac{P}{2} \times \frac{\sum l_{xi}^2}{\sum l_{xi}}$  dans le cas de plusieurs charges triangulaires sur la même travée.

$\begin{cases} q_m = \frac{2}{3} \times p \times l_x \\ q_v = \frac{1}{2} \times p \times l_x \end{cases}$  Dans le cas d'une seule charge triangulaire par travée.

**Remarque :**

Ces expressions sont élaborées pour des poutres supportant des charges triangulaires des deux côtés, donc pour les poutres recevant une charge triangulaire d'un seul côté, ces expressions sont à diviser par deux.

- **Charges trapézoïdales :**

$$q_m = \frac{P}{2} \left[ \left(1 - \frac{\rho_g^2}{3}\right) l_{xg} + \left(1 - \frac{\rho_d^2}{3}\right) l_{xd} \right]$$

$$q_v = \frac{P}{2} \left[ \left(1 - \frac{\rho_g}{2}\right) l_{xg} + \left(1 - \frac{\rho_d}{2}\right) l_{xd} \right]$$

Avec :

$q_m$ : Charge équivalente qui donne le même moment maximal que la charge réelle.

$q_v$ : Charge équivalente qui donne le même effort tranchant maximal que la charge réelle.

P : Charge répartie sur la surface du radier (poids des nervures non compris)

$$\rho = \frac{l_x}{l_y}$$

- **Calcul des sollicitations :**

Pour chaque sens, on fait le calcul pour la nervure la plus défavorable, puis on généralise l'étude sur toutes les nervures.

Pour la détermination des moments, on va utiliser la méthode de Caquot.

Sens X-X

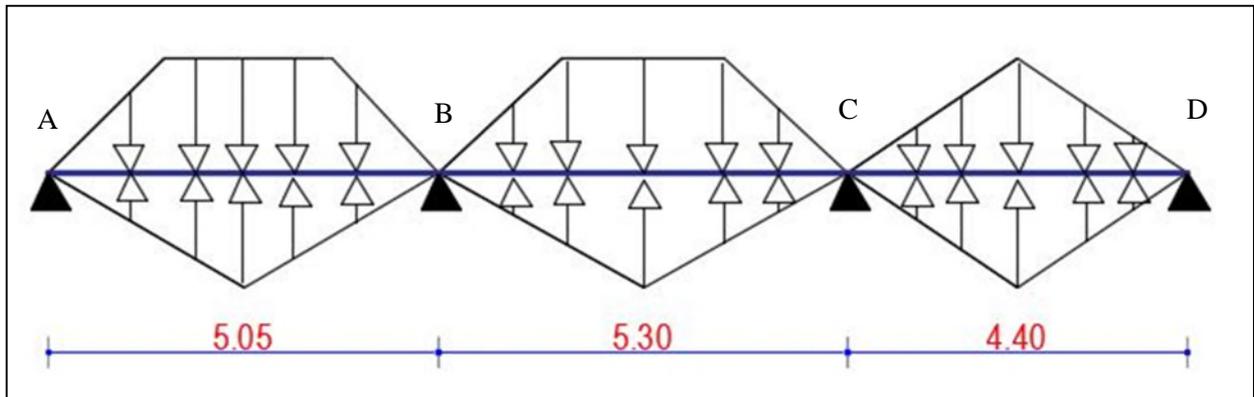


Figure V-7 : répartition des charges sur la nervure la plus sollicitée selon le sens X-X

✓ Sens Y-Y

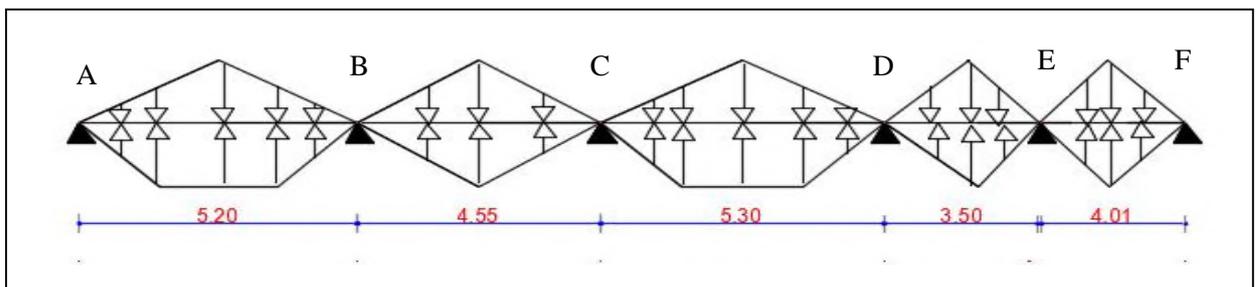


Figure V-8 : répartition des charges sur la nervure l plus sollicitée selon le sens Y-Y

V-3-4 -1 : calcul de chargement

On a :  $\begin{cases} P_u = Q_u = 167,857 \text{ KN/m}^2 \\ P_s = Q_s = 122,917 \text{ KN/m}^2 \end{cases}$

✓ Sens X-X

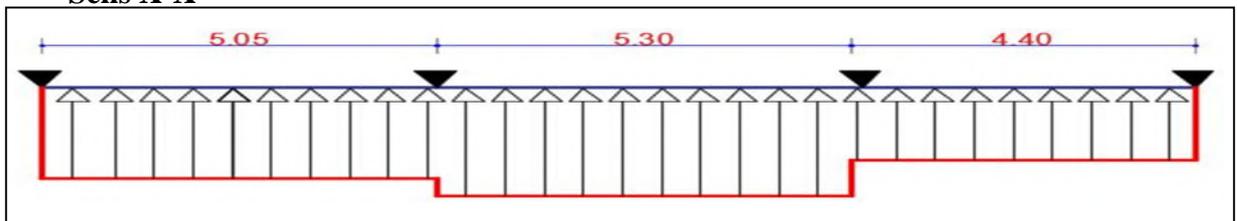


Figure V-9 : schéma statique de la nervure selon le sens X-X avec les charges

Les résultats de calculs des chargements sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V-8 : les chargements sur les travées sens X-X

| Chargement     | Travée A-B | Travée B-C | Travée C-D |
|----------------|------------|------------|------------|
| $q_m^u$ (KN/m) | 507,55     | 547,7      | 408,46     |
| $q_m^s$ (KN/m) | 371,66     | 410,07     | 299,1      |
| $q_v$ (KN/m)   | 358,567    | 376,686    | 408,46     |

✓ Sens Y-Y

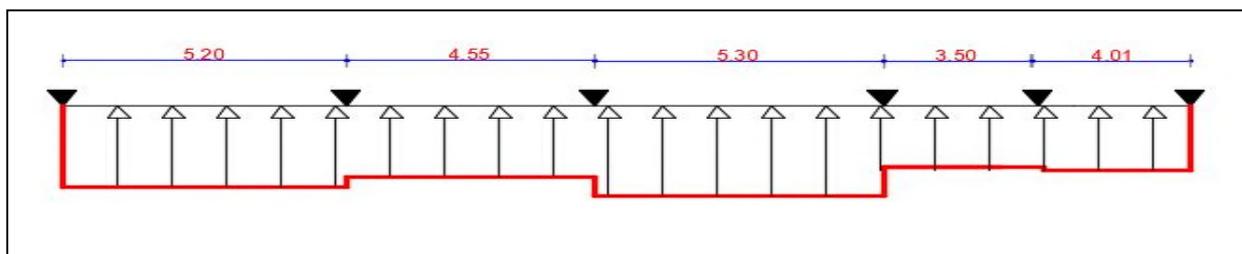


Figure V-10 : schéma statique de la nervure selon le sens Y-Y avec les charges équivalente

Les résultats de calculs des chargements sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau V-9 : les chargements sur les travées sens Y-Y

| Chargement     | Travée A-B | Travée B-C | Travée C-D | Travée D-E | Travée E-F |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $q_m^u$ (KN/m) | 506,3      | 425,24     | 522,78     | 307,74     | 364,8      |
| $q_m^s$ (KN/m) | 370,75     | 311,38     | 382,82     | 225,34     | 267,14     |
| $q_v$ (KN/m)   | 373,268    | 425,24     | 381,297    | 307,74     | 364,8      |

- Calcul des moments

Dans le calcul des sollicitations on doit ajouter le poids des nervures.

On a :  $P_{ner}^U = 1,35 \times b \times h_t \times \gamma_b = 1,35 \times 0,75 \times 1,3 \times 25 = 32,90$  KN/m

$P_{ner}^S = b \times h_t \times \gamma_b = 0,75 \times 1,3 \times 25 = 24,375$  KN/m

Les calculs des sollicitations à L'ELU et à L'ELS sont résumés dans les deux tableaux suivants :

Tableau V-10 : la sollicitation à L' ELU dans les deux sens

| Travées |     | L (m) | $q_m$ (KN/m) | $M_g$ (KN/m) | $M_d$ (KN/m) | $X_0$ (m) | $M_0$ (KN.m) | $M_T$ (KN/m) | $V_G$ (KN) | $V_d$ (KN) |
|---------|-----|-------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|------------|------------|
| X-X     | A-B | 5,05  | 540,45       | 258,43       | 1773,7       | 1,87      | 1608,7       | 950,1        | -1013,41   | 1715,86    |
|         | B-C | 5,30  | 580,6        | 1773,7       | 1504,3       | 2,73      | 2036,4       | 401,8        | -1589,41   | 1487,77    |
|         | C-D | 4,40  | 441,36       | 1504,3       | 258,43       | 2,97      | 935,66       | 448,3        | -1312,89   | 639,09     |
| Y-Y     | A-B | 5,20  | 539,20       | 273,37       | 1435,5       | 2,08      | 1751,8       | 1175,3       | -1125,85   | 1677,99    |
|         | B-C | 4,55  | 458,14       | 1435,5       | 1503,5       | 2,24      | 1185,3       | -283,72      | -1027,33   | 1057,21    |
|         | C-D | 5,30  | 555,68       | 1503,5       | 1301,5       | 2,71      | 1949,8       | 550,06       | -1510,72   | 1434,38    |
|         | D-E | 3,50  | 340,64       | 1301,2       | 630,52       | 3,31      | 467,7        | -390,37      | -787,75    | 404,49     |
|         | E-F | 4,01  | 397,0        | 630,5        | 273,37       | 2,40      | 768,3        | 515,21       | -954,63    | 640,15     |

**Tableau V-11** : la sollicitation à L' ELS dans les deux sens

| Travées |     | L<br>(m) | q <sub>s</sub><br>(KN/m) | M <sub>g</sub><br>(KN/m) | M <sub>d</sub><br>(KN/m) | X <sub>0</sub><br>(m) | M <sub>0</sub><br>(KN. m) | M <sub>T</sub><br>(KN/m) |
|---------|-----|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|--------------------------|
| X-X     | A-B | 5,05     | 396,035                  | 189,37                   | 1314,96                  | 1,86                  | 1176,9                    | 690,61                   |
|         | B-C | 5,30     | 434,445                  | 1314,9                   | 1118,66                  | 2,73                  | 1523,9                    | 310,21                   |
|         | C-D | 4,40     | 323,475                  | 1118,6                   | 189,37                   | 2,98                  | 682,9                     | 323,39                   |
| Y-Y     | A-B | 5,20     | 395,125                  | 200,33                   | 1052                     | 2,08                  | 1283,7                    | 861,31                   |
|         | B-C | 4,55     | 335,755                  | 1052                     | 1101,81                  | 2,24                  | 868,69                    | -207,86                  |
|         | C-D | 5,30     | 407,195                  | 1101,8                   | 953,6                    | 2,71                  | 1428,8                    | 403,02                   |
|         | D-E | 3,50     | 249,715                  | 953,6                    | 462,19                   | 2,31                  | 342,91                    | -286,05                  |
|         | E-F | 4,01     | 291,515                  | 462,19                   | 200,33                   | 2,40                  | 563,16                    | 377,64                   |

**V-3-4-2 : ferrailage des nervures**

Le ferrailage des nervures se fera pour une section en T à la flexion simple.

- **Détermination de la largeur efficace b selon les deux sens**

On a comme donnés :  $\begin{cases} h_t = 1,30m ; h_0 = 0,40m \\ b_0 = 0,75m ; d = 1,25m \end{cases}$

✓ **Sens X-X**

$$\frac{b - b_0}{2} \leq \min\left(\frac{L_x}{2} ; \frac{L_y^{min}}{10}\right) \dots \dots \text{(CBA. Art 4.1.3)}$$

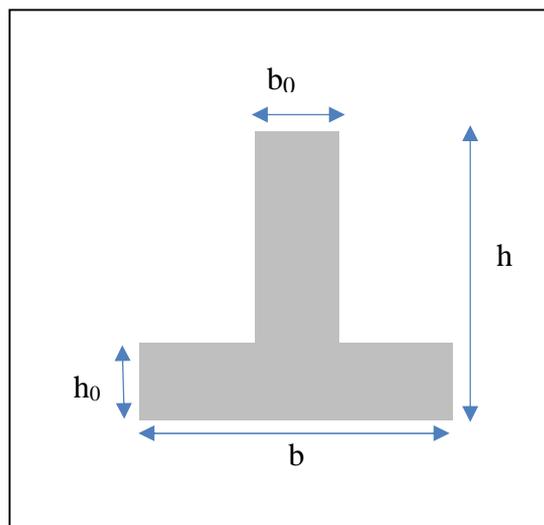
$$\frac{b - 0,75}{2} \leq \min(2,275 m ; 0.38 m)$$

**b = 1,50m**

✓ **sens Y-Y**

$$\frac{b - 0,75}{2} \leq \min(2,275 m ; 0.43 m)$$

**b = 1,60m**



**Figure V-11** : schéma des nervures

Les résultats de ferrailage sont résumés dans le tableau suivant

**Tableau V-12** : calcul du ferrailage des nervures

| localisation |        | M <sub>t</sub> (KN. m) | A <sub>cal</sub> (cm <sup>2</sup> /ml) | A <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> /ml) | A <sub>adop</sub> (cm <sup>2</sup> /ml) |
|--------------|--------|------------------------|--|--|---|
| X-X          | Travée | 950,13                 | 48,51                                  | 22,64                                  | 7HA25+5HA20=50,07                       |
|              | Appui  | 1773,7                 | 64,67                                  | 22,64                                  | 14HA25=68,72                            |
| Y-Y          | Travée | 1175,39                | 57,729                                 | 24,15                                  | 12HA25=58,91                            |
|              | Appui  | 1503,53                | 64                                     | 24,15                                  | 14HA=25=68,72                           |

**V-3-4-3 : vérification à L'ELU**

• **Vérification des efforts tranchants à l'ELU**

On a:  $\tau_u = \frac{V_u}{b \times d} \leq \bar{\tau}_u = \min(0,1f_{c28}; 4MPa) = 2,5 MPa$  **F.N**

$$\begin{cases} \text{sens X - X : } \tau_u = \frac{1715,86 \times 10^{-3}}{1,5 \times 1,25} = 0,934 < 2,5 MPa \\ \text{sens Y - Y : } \tau_u = \frac{1677,99 \times 10^{-3}}{1,6 \times 1,25} = 0,838 < 2,5 MPa \end{cases}$$

Pas de risque de rupture par cisaillement.

• **Armatures transversales**

$\phi_t \leq \min\left(\phi_{lmin}; \frac{h}{35}; \frac{b_0}{10}\right) \Rightarrow \phi_t \leq \min(25; 37,14; 75)mm$  **Soit  $\phi_t = 10mm$**

$A_t = 6HA10 = 4,71 cm^2$

• **Espacements des aciers transversaux**

**Sen X-X**

1.  $s_t = \leq \min(0,9d; 40cm) = 40 cm$

2.  $s_t \leq \frac{A_t \times f_e}{0,4 \times b_0} = 0,628 m = 62,8 cm$

3.  $s_t \leq \frac{0,8 \times A_t \times f_e}{b_0(\tau_u - 0,3 \times f_{t28})} = 66,10 cm$

Soit :  $s_t = 30 cm$  en travée ; et  $s_t = 20 cm$  en zone nodale.

**Sen Y-Y**

1.  $s_t = \leq \min(0,9d; 40cm) = 40 cm$

2.  $s_t \leq \frac{A_t \times f_e}{0,4 \times b_0} = 0,628 m = 62,8 cm$

3.  $s_t \leq \frac{0,8 \times A_t \times f_e}{b_0(\tau_u - 0,3 \times f_{t28})} = 96,61 cm$

Soit :  $s_t = 30 cm$  en travée ; et  $s_t = 20 cm$  en zone nodale.

• **Les armatures de peau**

Le CBA (art A..7.3) exige de maitre des armatures de peau pour éviter tout risque de fissures, vue la hauteur de la section des nervures qui est importante.

$A_p = 0,2 \% (b_0 \times h) = 0,2\%(75 \times 130) = 19,5 cm^2$

Soit  $A_p = 10HA16 = 20,11 cm^2$

**V-3-4-5 : Vérification à L'ELS**

**Tableau V-13** : vérification des contraintes à l'ELS

| localisation | $M_s$ (KN.m) | Y (cm)  | $I(cm^4)$ | $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$ | obs            | $\sigma_{st} \leq \bar{\sigma}_{st}$ | Obs                  |   |
|--------------|--------------|---------|-----------|--------------------------------------|----------------|--------------------------------------|----------------------|---|
| X-X          | Travée       | 690,61  | 31,25     | 8143652                              | $2,65 \leq 15$ | V                                    | $119,24 \leq 201,63$ | V |
|              | Appui        | 1314,96 | 35,27     | 10495850                             | $4,41 \leq 15$ | V                                    | $168,61 \leq 201,63$ | V |
| Y-Y          | Travée       | 861,31  | 32,44     | 9403496                              | $2,97 \leq 15$ | V                                    | $127,16 \leq 201,63$ | V |
|              | Appui        | 1101,81 | 34,30     | 10637224                             | $3,56 \leq 15$ | V                                    | $140,75 \leq 201,63$ | V |

**V-3-4-6 : schémas de ferrailage**

Les schémas de ferrailage sont présentés dans (l'annexe 8)

**V-3-5 : Etude du mur adossé**

D'après le **RPA 99/2003 (Art 10.1.2)**, Le voile périphérique contenu entre le niveau des fondations et le niveau de base doit avoir les caractéristiques minimales suivantes :

- L'épaisseur minimale est de 20 cm.
- Il doit contenir deux nappes d'armatures.
- Le pourcentage minimal des armatures est de 0.1% dans les deux sens.
- Les ouvertures dans le voile ne doivent pas réduire sa rigidité d'une manière importante.

**V-3-5-1 : Dimensionnement du mur adossé**

- ✓ Hauteur  $h=5,7$  m
- ✓ Longueur  $L=4,65$  m
- ✓ Épaisseur  $e=20$  cm

**V-3-5-2 : caractéristique du sol**

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{poids spécifique : } \gamma = 15,5 \text{ KN/m}^3 \\ \text{la cohésion } C = 0,15 \text{ bars} \\ \text{angle de frottement : } \varphi = 40^\circ \end{array} \right.$$

**Remarque :**

Le rôle de la cohésion qui varie dans le temps et mal connu, et difficilement mesurable donc on peut la négliger dans les calculs ( $C=0$ ).

**V3-5-2 : Evaluation des charges et surcharges :**

Le voile périphérique et soumis aux chargements suivants :

- **La poussée des terres :**

$$G = h \times \gamma \times tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - 2 \times c \times tg\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$G = 5,70 \times 15,5 \times tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{40}{2}\right) = 19,21 \text{ KN/m}^2$$

• **Surcharge accidentelle**

$$q = 10 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = q \times tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - \frac{2 \times c}{\gamma \times h} \times \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \rightarrow Q = 2,17 \text{ KN/m}^2$$

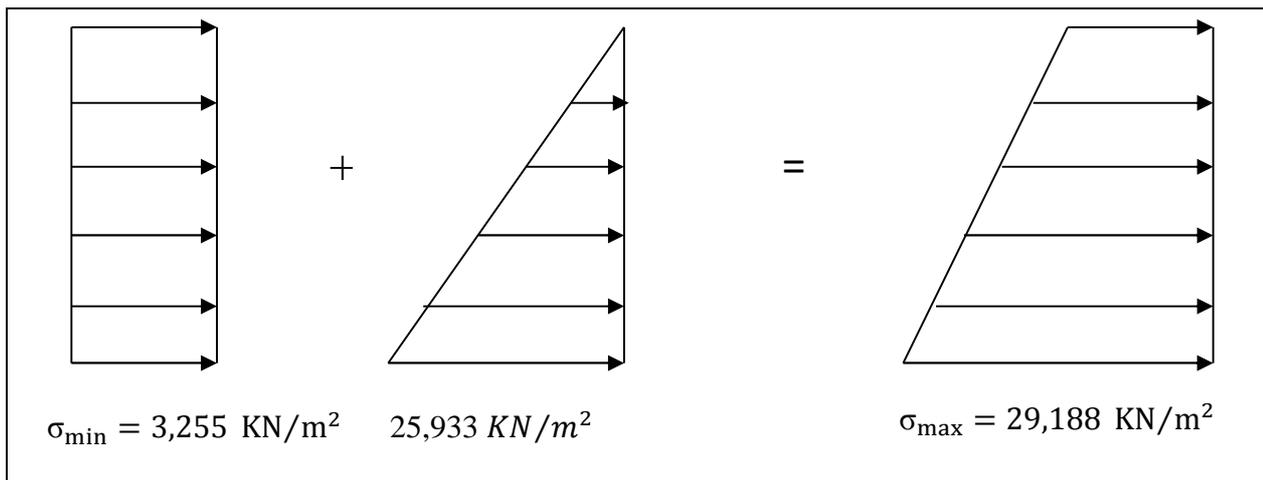
**V-3-5-3 : Ferrailage du mur adossé**

Le voile périphérique sera calculé comme une dalle pleine sur quatre appuis uniformément chargée, l'encastrement est assuré par le plancher, les poteaux et les fondations.

✓ **AI'ELU**

$$\sigma_{\max} = 1,35G + 1,5Q = 1,35 \times 19,21 + 1,5 \times 2,17 = 29,188 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = 1,5 \times Q = 1,5 \times 2,17 = 3,255 \text{ KN/m}^2$$



**Figure V-12 : diagramme des contraintes**

$$\sigma_{\text{moy}} = \frac{3 \times \sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{4} = \frac{3 \times 29,188 + 3,255}{4} = 22,70 \text{ KN/m}^2$$

$$q_u = \sigma_{\text{moy}} \times 1 \text{ ml} = 22,70 \text{ KN/ml}$$

✓ **AI'ELS**

$$\sigma_{\max} = G + Q = 19,21 + 2,17 = 21,38 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = Q = 2,17 \text{ KN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{moy}} = \frac{3 \times \sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{4} = \frac{3 \times 21,38 + 2,17}{4} = 16,58 \text{ KN/m}^2$$

Pour le ferrailage on prend le plus grand panneau dont les caractéristiques sont

$$\begin{aligned} L_x &= 2,45 \text{ m} & b &= 1 \text{ ml} \\ L_y &= 4,65 \text{ m} & e &= 0,20 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\rho = 2,45/4,65 = 0,53 > 0,4 \Rightarrow \text{Le voile porte dans les deux sens.}$$

$$\rho = 0,53 \Rightarrow ELU \begin{cases} \mu_x = 0,092 \\ \mu_x = 0,25 \end{cases}$$

$$\rho = 0,53 \Rightarrow ELS \begin{cases} \mu_x = 0,0961 \\ \mu_x = 0,3949 \end{cases}$$

Les résultats de calcul des moments son résumés dans le tableau suivant :

**Tableau V-14 : calcul des moments**

| Moments | $M_{ox}(KN/m)$ | $M_{oy}(KN/m)$ | $M_t^x(KN.m)$ | $M_t^y(KN.m)$ | $M_{ax}(KN/m)$ |
|---------|----------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
| ELU     | 12,535         | 3,133          | 9,401         | 2,663         | -6,267         |
| ELS     | 9,56           | 3,77           | 7,17          | 3,20          | -3,585         |

Les sections d'armatures sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

$$\text{Avec : } A_{\min} = 0,1\% \times b \times h = 0,1\% \times 20 = 2 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Tableau V-15 : ferrailage du mur adossé**

| localisation |     | M<br>(KN.m) | $\mu_{bu}$ | $\alpha$ | Z (cm) | $A_{cal}$<br>(cm <sup>2</sup> /ml) | $A_{\min}$<br>(cm <sup>2</sup> /ml) | $A_{adopté}$<br>(cm <sup>2</sup> /ml) |
|--------------|-----|-------------|------------|----------|--------|------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| travé        | X-X | 9,401       | 0,022      | 0,032    | 0,168  | 1,60                               | 2                                   | 4HA10=3,14                            |
|              | Y-Y | 2,663       | 0,00648    | 0,0813   | 0,169  | 0,451                              | 2                                   | 4HA10=3,14                            |
| appui        |     | 6,267       | 0,015      | 0,019    | 0,168  | 1,06                               | 2                                   | 4HA10=3,14                            |

**V-3-5-4 : vérification à l'ELU**

- **Condition de non fragilité**

$$\text{On a: } \begin{cases} \rho = 0,53 > 0,4 \\ e = 20 > 12 \text{ cm} \end{cases} \begin{cases} A_x^{\min} = \frac{\rho_0}{2} (3 - \rho) \times b \times e = 1,976 \text{ cm}^2 \\ \rho_0 \times b \times e = 1,6 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

- **Espacements**

$$\text{Sens x-x : } S_t \leq \min(2e ; 25 \text{ cm}) \Rightarrow S_t = 25 \text{ cm}$$

$$\text{Sens y-y : } S_t \leq \min(3e ; 33 \text{ cm}) \Rightarrow S_t = 25 \text{ cm}$$

- **Calcul de l'effort tranchant :**

$$V_u^x = \frac{q_u \times L_x}{2} \times \frac{L_y^4}{L_x^4 + L_y^4} = \frac{22,70 \times 2,45}{2} \times \frac{4,65^4}{2,45^4 + 4,65^4} = 25,817 \text{ KN}$$

$$V_u^y = \frac{q_u \times L_y}{2} \times \frac{L_x^4}{L_x^4 + L_y^4} = \frac{22,70 \times 4,65}{2} \times \frac{2,45^4}{4,65^4 + 2,45^4} = 3,776 \text{ KN}$$

- **Vérification de l'effort tranchant :**

On doit vérifier que

$$\tau_u = \frac{V}{b \times d} \leq \bar{\tau}_u = 0,07 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

$$\tau_u = 0,151 \text{ MPa} \leq \bar{\tau}_u = 1,17 \text{ MPa}$$

Les armatures transversales ne sont pas nécessaires

- **Vérification des contraintes :**

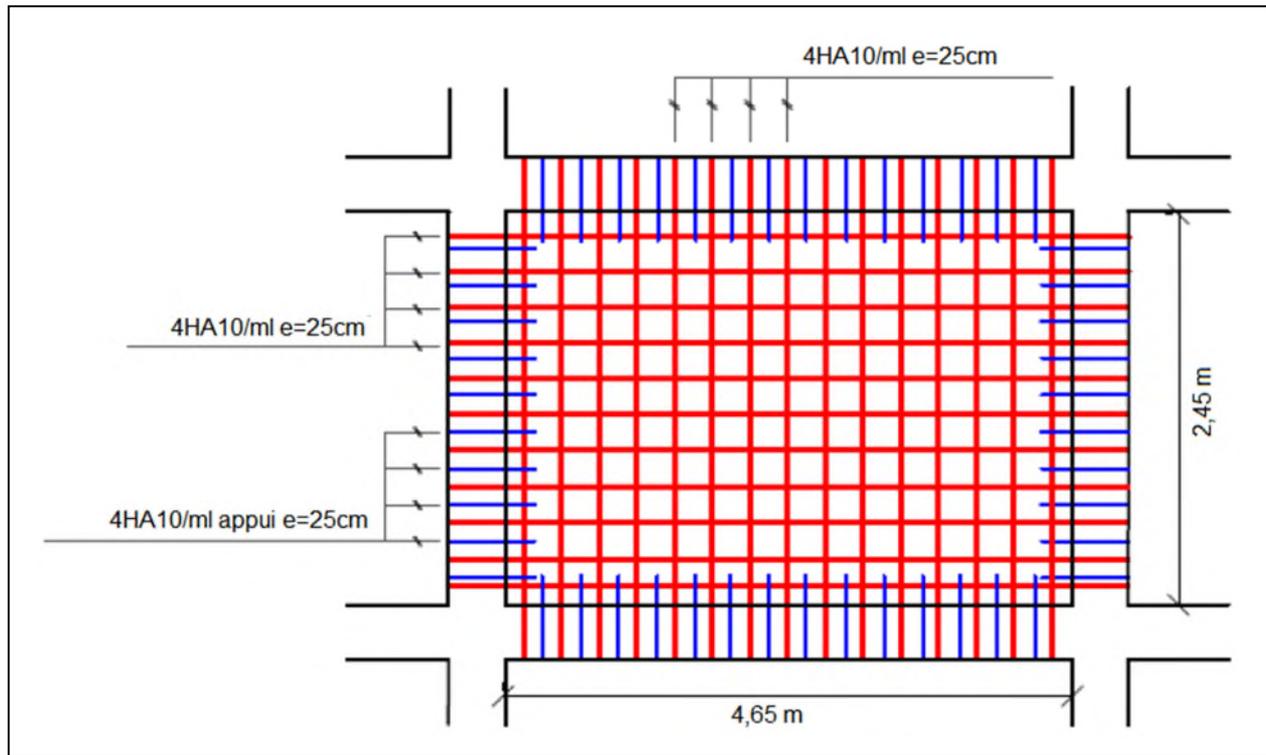
$$\sigma_{bc} = \frac{M_s}{I} y \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0,6 \times f_{c28}$$

$$\sigma_{st} = 15 \frac{M_s}{I} (d - y) \leq \bar{\sigma}_{st} = \min\left(\frac{2}{3} f_e; 110 \sqrt{\eta f_{t28}}\right)$$

**Tableau V-16** : vérification des contraintes à l'ELS

| localisation | $M_s$ (KN.m) | Y (cm) | $I$ (cm <sup>4</sup> ) | $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc}$ | obs       | $\sigma_{st} \leq \bar{\sigma}_{st}$ | Obs             |   |
|--------------|--------------|--------|------------------------|--------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------------|---|
| Tra          | X-X          | 7,17   | 3,55                   | 10011,803                            | 2,54 < 15 | V                                    | 144,48 < 201,63 | V |
|              | Y-Y          | 3,20   | 3,55                   | 10011,803                            | 1,13 < 15 | V                                    | 64,483 < 201,63 | V |
| appui        | 3,585        | 3,55   | 10011,803              | 1,27 < 15                            | V         | 72,242 < 201,63                      | V               |   |

**V-3-5-5** : schéma de ferrailage du mur adossé



**Figure V-13** : ferrailage du mur adossé

# **Conclusion générale**

### Conclusion

Ce projet était l'occasion idéale d'exploiter nos connaissances acquises lors de nos années d'étude en génie civil plus précisément dans la conception et calcul des structures de bâtiments.

Par ailleurs, cette étude nous a permis d'arriver à certaines conclusions dont les plus importantes sont :

- La modélisation doit autant que possible englober tous les éléments de la structure (principaux et secondaires), ceci permet d'avoir un comportement proche de réel.
- La bonne disposition des voiles joue un rôle important sur la vérification de la période ainsi que la justification de l'interaction voiles-portique.
- Pour garantir une stabilité totale de la structure vis-à-vis des déplacements horizontaux nous avons vérifié l'effet du second ordre (Effet P-delta).
- Dans l'étude des éléments porteurs on a constaté que les poteaux sont ferrailés avec le minimum de RPA99, qui favorise la sécurité avant l'économie.
- La vérification des moments résistants en zone nodales évite le risque de formation de rotules plastiques dans les poteaux.
- Le radier et le type de formation choisis vu les charges importantes, et la surface de l'ensemble des fondations qui dépasse la surface de notre structure.

Enfin, l'utilisation de ETABS2016 dans notre étude nous a permis de faire un calcul tridimensionnel et dynamique dans le but de faciliter les calculs, d'avoir une meilleure approche de la réalité et un gain de temps très important dans l'analyse de la structure.

# Bibliographie

- ✓ Document technique réglementaire DTR B C 2.48 (**RPA 99/2003**)
- ✓ Règles de conception et calcul des structures en béton armé **C.B.A. 93.**
- ✓ Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et construction en béton armé suivant la méthode des états limites (**B.A.E.L 91**).
- ✓ **DTR B.C.2.2** (Charges permanentes et surcharges d'exploitation. Edition 1989).
- ✓ **DTR B.C.2.33.1** (Règle de calcul des fondations superficielles. édition 1992).
- ✓ Mémoire de fin d'études de l'université de Bejaia.
- ✓ Cours de béton Mme chikh amer.
- ✓ Conceptions et calcul des structures de bâtiment (1992) par H.Thonier.
  
- **Logiciels utilisés :**
- ✓ ETABS 2016.
- ✓ SOCOTEC.
- ✓ AutoCAD 2016.
- ✓ Microsoft 2013.

# **Annexes**

# Annexe 01

Tableau des Armatures  
(en  $\text{Cm}^2$ )

| $\emptyset$ | 5    | 6    | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 20    | 25    | 32     | 40     |
|-------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 1           | 0.20 | 0.28 | 0.50  | 0.79  | 1.13  | 1.54  | 2.01  | 3.14  | 4.91  | 8.04   | 12.57  |
| 2           | 0.39 | 0.57 | 1.01  | 1.57  | 2.26  | 3.08  | 4.02  | 6.28  | 9.82  | 16.08  | 25.13  |
| 3           | 0.59 | 0.85 | 1.51  | 2.36  | 3.39  | 4.62  | 6.03  | 9.42  | 14.73 | 24.13  | 37.70  |
| 4           | 0.79 | 1.13 | 2.01  | 3.14  | 4.52  | 6.16  | 8.04  | 12.57 | 19.64 | 32.17  | 50.27  |
| 5           | 0.98 | 1.41 | 2.51  | 3.93  | 5.65  | 7.70  | 10.05 | 15.71 | 24.54 | 40.21  | 62.83  |
| 6           | 1.18 | 1.70 | 3.92  | 4.71  | 6.79  | 9.24  | 12.06 | 18.85 | 29.45 | 48.25  | 75.40  |
| 7           | 1.37 | 1.98 | 3.52  | 5.50  | 7.92  | 10.78 | 14.07 | 21.99 | 34.36 | 56.30  | 87.96  |
| 8           | 1.57 | 2.26 | 4.02  | 6.28  | 9.05  | 12.32 | 16.08 | 25.13 | 39.27 | 64.34  | 100.53 |
| 9           | 1.77 | 2.54 | 4.52  | 7.07  | 10.18 | 13.85 | 18.10 | 28.27 | 44.18 | 72.38  | 113.10 |
| 10          | 1.96 | 2.83 | 5.03  | 7.85  | 11.31 | 15.39 | 20.11 | 31.42 | 49.09 | 80.09  | 125.66 |
| 11          | 2.16 | 3.11 | 5.53  | 8.64  | 12.44 | 16.93 | 22.12 | 34.56 | 54.00 | 88.47  | 138.23 |
| 12          | 2.36 | 3.39 | 6.03  | 9.42  | 13.57 | 18.47 | 24.13 | 37.70 | 58.91 | 96.51  | 150.80 |
| 13          | 2.55 | 3.68 | 6.53  | 10.21 | 14.70 | 20.01 | 26.14 | 40.84 | 63.81 | 104.55 | 163.36 |
| 14          | 2.75 | 3.96 | 7.04  | 11.00 | 15.83 | 21.55 | 28.15 | 43.98 | 68.72 | 112.59 | 175.93 |
| 15          | 2.95 | 4.24 | 7.54  | 11.78 | 16.96 | 23.09 | 30.16 | 47.12 | 73.63 | 120.64 | 188.50 |
| 16          | 3.14 | 4.52 | 8.04  | 12.57 | 18.10 | 24.63 | 32.17 | 50.27 | 78.54 | 128.68 | 201.06 |
| 17          | 3.34 | 4.81 | 8.55  | 13.35 | 19.23 | 26.17 | 34.18 | 53.41 | 83.45 | 136.72 | 213.63 |
| 18          | 3.53 | 5.09 | 9.05  | 14.14 | 20.36 | 27.71 | 36.19 | 56.55 | 88.36 | 144.76 | 226.20 |
| 19          | 3.73 | 5.37 | 9.55  | 14.92 | 21.49 | 29.25 | 38.20 | 59.69 | 93.27 | 152.81 | 238.76 |
| 20          | 3.93 | 5.65 | 10.05 | 15.71 | 22.62 | 30.79 | 40.21 | 62.83 | 98.17 | 160.85 | 251.33 |

## Annexe 02

| $\alpha = \frac{L_x}{L_y}$ | ELU $v = 0$ |         | ELS $v = 0.2$ |         |
|----------------------------|-------------|---------|---------------|---------|
|                            | $\mu_x$     | $\mu_y$ | $\mu_x$       | $\mu_y$ |
| 0.40                       | 0.1101      | 0.2500  | 0.0121        | 0.2854  |
| 0.41                       | 0.1088      | 0.2500  | 0.1110        | 0.2924  |
| 0.42                       | 0.1075      | 0.2500  | 0.1098        | 0.3000  |
| 0.43                       | 0.1062      | 0.2500  | 0.1087        | 0.3077  |
| 0.44                       | 0.1049      | 0.2500  | 0.1075        | 0.3155  |
| 0.45                       | 0.1036      | 0.2500  | 0.1063        | 0.3234  |
| 0.46                       | 0.1022      | 0.2500  | 0.1051        | 0.3319  |
| 0.47                       | 0.1008      | 0.2500  | 0.1038        | 0.3402  |
| 0.48                       | 0.0994      | 0.2500  | 0.1026        | 0.3491  |
| 0.49                       | 0.0980      | 0.2500  | 0.1013        | 0.3580  |
| 0.50                       | 0.0966      | 0.2500  | 0.1000        | 0.3671  |
| 0.51                       | 0.0951      | 0.2500  | 0.0987        | 0.3758  |
| 0.52                       | 0.0937      | 0.2500  | 0.0974        | 0.3853  |
| 0.53                       | 0.0922      | 0.2500  | 0.0961        | 0.3949  |
| 0.54                       | 0.0908      | 0.2500  | 0.0948        | 0.4050  |
| 0.55                       | 0.0894      | 0.2500  | 0.0936        | 0.4150  |
| 0.56                       | 0.0880      | 0.2500  | 0.0923        | 0.4254  |
| 0.57                       | 0.0865      | 0.2582  | 0.0910        | 0.4357  |
| 0.58                       | 0.0851      | 0.2703  | 0.0897        | 0.4456  |
| 0.59                       | 0.0836      | 0.2822  | 0.0884        | 0.4565  |
| 0.60                       | 0.0822      | 0.2948  | 0.0870        | 0.4672  |
| 0.61                       | 0.0808      | 0.3075  | 0.0857        | 0.4781  |
| 0.62                       | 0.0794      | 0.3205  | 0.0844        | 0.4892  |
| 0.63                       | 0.0779      | 0.3338  | 0.0831        | 0.5004  |
| 0.64                       | 0.0765      | 0.3472  | 0.0819        | 0.5117  |
| 0.65                       | 0.0751      | 0.3613  | 0.0805        | 0.5235  |
| 0.66                       | 0.0737      | 0.3753  | 0.0792        | 0.5351  |
| 0.67                       | 0.0723      | 0.3895  | 0.0780        | 0.5469  |
| 0.68                       | 0.0710      | 0.4034  | 0.0767        | 0.5584  |
| 0.69                       | 0.0697      | 0.4181  | 0.0755        | 0.5704  |
| 0.70                       | 0.0684      | 0.4320  | 0.0743        | 0.5817  |
| 0.71                       | 0.0671      | 0.4471  | 0.0731        | 0.5940  |
| 0.72                       | 0.0658      | 0.4624  | 0.0719        | 0.6063  |
| 0.73                       | 0.0646      | 0.4780  | 0.0708        | 0.6188  |
| 0.74                       | 0.0633      | 0.4938  | 0.0696        | 0.6315  |
| 0.75                       | 0.0621      | 0.5105  | 0.0684        | 0.6447  |
| 0.76                       | 0.0608      | 0.5274  | 0.0672        | 0.6580  |
| 0.77                       | 0.0596      | 0.5440  | 0.0661        | 0.6710  |
| 0.78                       | 0.0584      | 0.5608  | 0.0650        | 0.6841  |
| 0.79                       | 0.0573      | 0.5786  | 0.0639        | 0.6978  |
| 0.80                       | 0.0561      | 0.5959  | 0.0628        | 0.7111  |
| 0.81                       | 0.0550      | 0.6135  | 0.0617        | 0.7246  |
| 0.82                       | 0.0539      | 0.6313  | 0.0607        | 0.7381  |
| 0.83                       | 0.0528      | 0.6494  | 0.0596        | 0.7518  |
| 0.84                       | 0.0517      | 0.6678  | 0.0586        | 0.7655  |
| 0.85                       | 0.0506      | 0.6864  | 0.0576        | 0.7794  |
| 0.86                       | 0.0496      | 0.7052  | 0.0566        | 0.7932  |
| 0.87                       | 0.0486      | 0.7244  | 0.0556        | 0.8074  |
| 0.88                       | 0.0476      | 0.7438  | 0.0546        | 0.8216  |
| 0.89                       | 0.0466      | 0.7635  | 0.0537        | 0.8358  |
| 0.90                       | 0.0456      | 0.7834  | 0.0528        | 0.8502  |
| 0.91                       | 0.0447      | 0.8036  | 0.0518        | 0.8646  |
| 0.92                       | 0.0437      | 0.8251  | 0.0509        | 0.8799  |
| 0.93                       | 0.0428      | 0.8450  | 0.0500        | 0.8939  |
| 0.94                       | 0.0419      | 0.8661  | 0.0491        | 0.9087  |
| 0.95                       | 0.0410      | 0.8875  | 0.0483        | 0.9236  |
| 0.96                       | 0.0401      | 0.9092  | 0.0474        | 0.9385  |
| 0.97                       | 0.0392      | 0.9322  | 0.0465        | 0.9543  |
| 0.98                       | 0.0384      | 0.9545  | 0.0457        | 0.9694  |
| 0.99                       | 0.0376      | 0.9771  | 0.0449        | 0.9847  |
| 1.00                       | 0.0368      | 1.0000  | 0.0441        | 0.1000  |

# Annexe 03

$$\rho = 0,9$$

| $\frac{y}{x}$ \ $\frac{z}{x}$      | 0,0   | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   | 1,0   |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <i>Valeurs de <math>M_1</math></i> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,0                                | —     | 0,254 | 0,187 | 0,154 | 0,131 | 0,115 | 0,102 | 0,090 | 0,081 | 0,073 | 0,067 |
| 0,1                                | 0,302 | 0,235 | 0,183 | 0,152 | 0,130 | 0,114 | 0,101 | 0,089 | 0,080 | 0,073 | 0,067 |
| 0,2                                | 0,260 | 0,214 | 0,175 | 0,148 | 0,128 | 0,112 | 0,099 | 0,088 | 0,079 | 0,072 | 0,064 |
| 0,3                                | 0,227 | 0,196 | 0,164 | 0,142 | 0,124 | 0,109 | 0,097 | 0,086 | 0,078 | 0,070 | 0,065 |
| 0,4                                | 0,202 | 0,178 | 0,153 | 0,134 | 0,118 | 0,105 | 0,093 | 0,083 | 0,075 | 0,068 | 0,063 |
| 0,5                                | 0,181 | 0,160 | 0,141 | 0,126 | 0,113 | 0,100 | 0,089 | 0,080 | 0,073 | 0,066 | 0,060 |
| 0,6                                | 0,161 | 0,146 | 0,130 | 0,118 | 0,106 | 0,095 | 0,085 | 0,077 | 0,069 | 0,063 | 0,057 |
| 0,7                                | 0,144 | 0,133 | 0,121 | 0,110 | 0,098 | 0,088 | 0,079 | 0,072 | 0,065 | 0,058 | 0,054 |
| 0,8                                | 0,132 | 0,123 | 0,113 | 0,102 | 0,092 | 0,083 | 0,074 | 0,067 | 0,061 | 0,055 | 0,049 |
| 0,9                                | 0,122 | 0,114 | 0,103 | 0,093 | 0,084 | 0,076 | 0,068 | 0,062 | 0,057 | 0,051 | 0,046 |
| 1,0                                | 0,112 | 0,102 | 0,093 | 0,084 | 0,075 | 0,068 | 0,062 | 0,057 | 0,051 | 0,046 | 0,042 |
| <i>Valeurs de <math>M_2</math></i> |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0,0                                | —     | 0,310 | 0,200 | 0,167 | 0,149 | 0,134 | 0,122 | 0,110 | 0,098 | 0,088 | 0,081 |
| 0,1                                | 0,253 | 0,208 | 0,173 | 0,157 | 0,136 | 0,123 | 0,110 | 0,099 | 0,089 | 0,081 | 0,074 |
| 0,2                                | 0,202 | 0,175 | 0,152 | 0,137 | 0,123 | 0,110 | 0,100 | 0,089 | 0,082 | 0,074 | 0,067 |
| 0,3                                | 0,167 | 0,150 | 0,135 | 0,123 | 0,110 | 0,099 | 0,088 | 0,081 | 0,074 | 0,067 | 0,061 |
| 0,4                                | 0,143 | 0,132 | 0,122 | 0,110 | 0,098 | 0,088 | 0,081 | 0,074 | 0,067 | 0,061 | 0,056 |
| 0,5                                | 0,128 | 0,118 | 0,108 | 0,097 | 0,088 | 0,080 | 0,073 | 0,067 | 0,062 | 0,056 | 0,051 |
| 0,6                                | 0,114 | 0,106 | 0,096 | 0,087 | 0,079 | 0,073 | 0,067 | 0,062 | 0,056 | 0,052 | 0,047 |
| 0,7                                | 0,102 | 0,094 | 0,086 | 0,078 | 0,073 | 0,067 | 0,062 | 0,057 | 0,052 | 0,047 | 0,043 |
| 0,8                                | 0,090 | 0,083 | 0,077 | 0,072 | 0,066 | 0,062 | 0,056 | 0,052 | 0,047 | 0,043 | 0,038 |
| 0,9                                | 0,081 | 0,076 | 0,071 | 0,066 | 0,061 | 0,056 | 0,052 | 0,047 | 0,043 | 0,038 | 0,035 |
| 1,0                                | 0,073 | 0,069 | 0,065 | 0,060 | 0,055 | 0,050 | 0,047 | 0,043 | 0,038 | 0,035 | 0,032 |

# Annexe : 4

## ORGANIGRAMME -I- SECTION RECTANGULAIRE A L'E.L.U EN FLEXION SIMPLE

### Cas générale

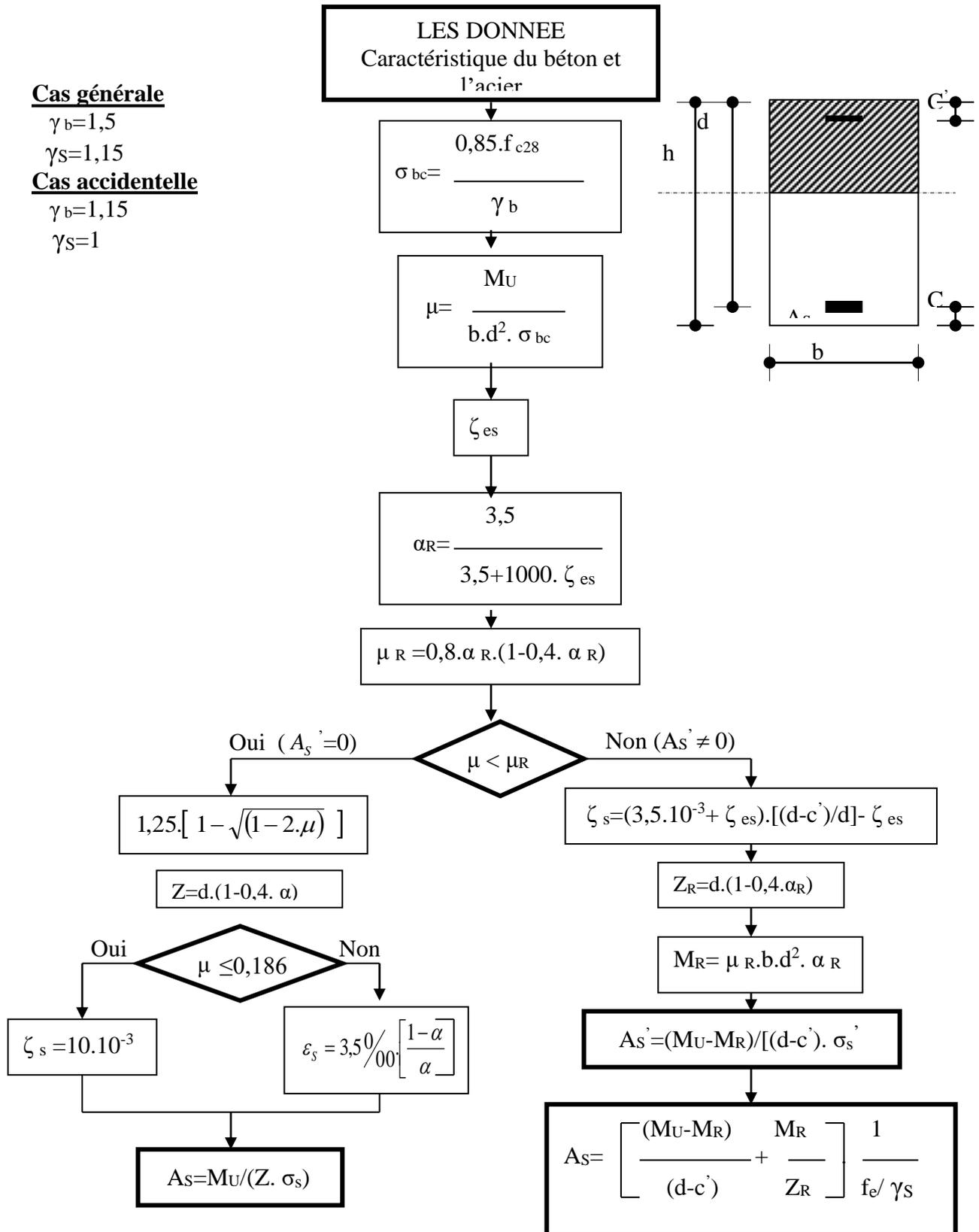
$$\gamma_b = 1,5$$

$$\gamma_s = 1,15$$

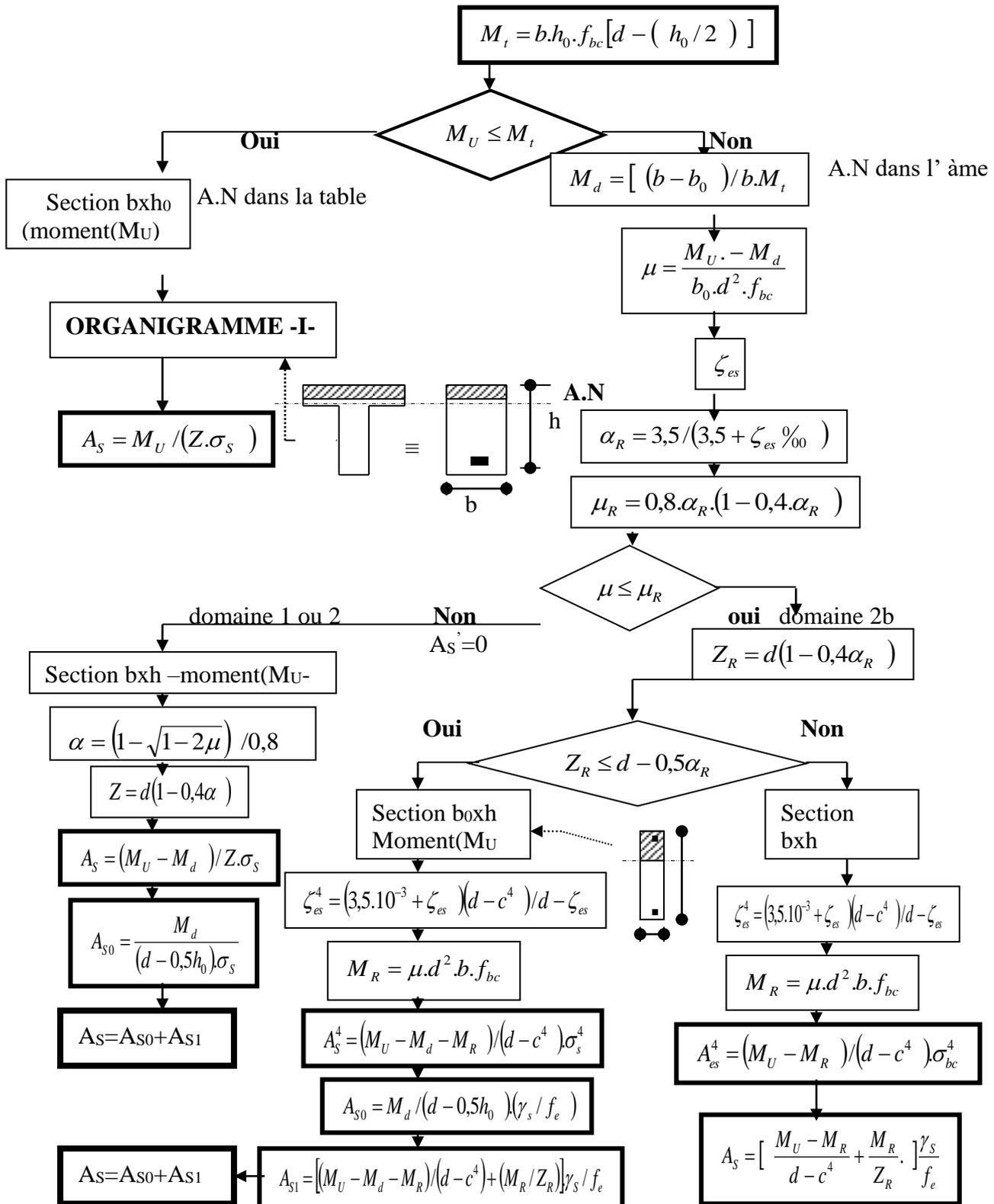
### Cas accidentelle

$$\gamma_b = 1,15$$

$$\gamma_s = 1$$



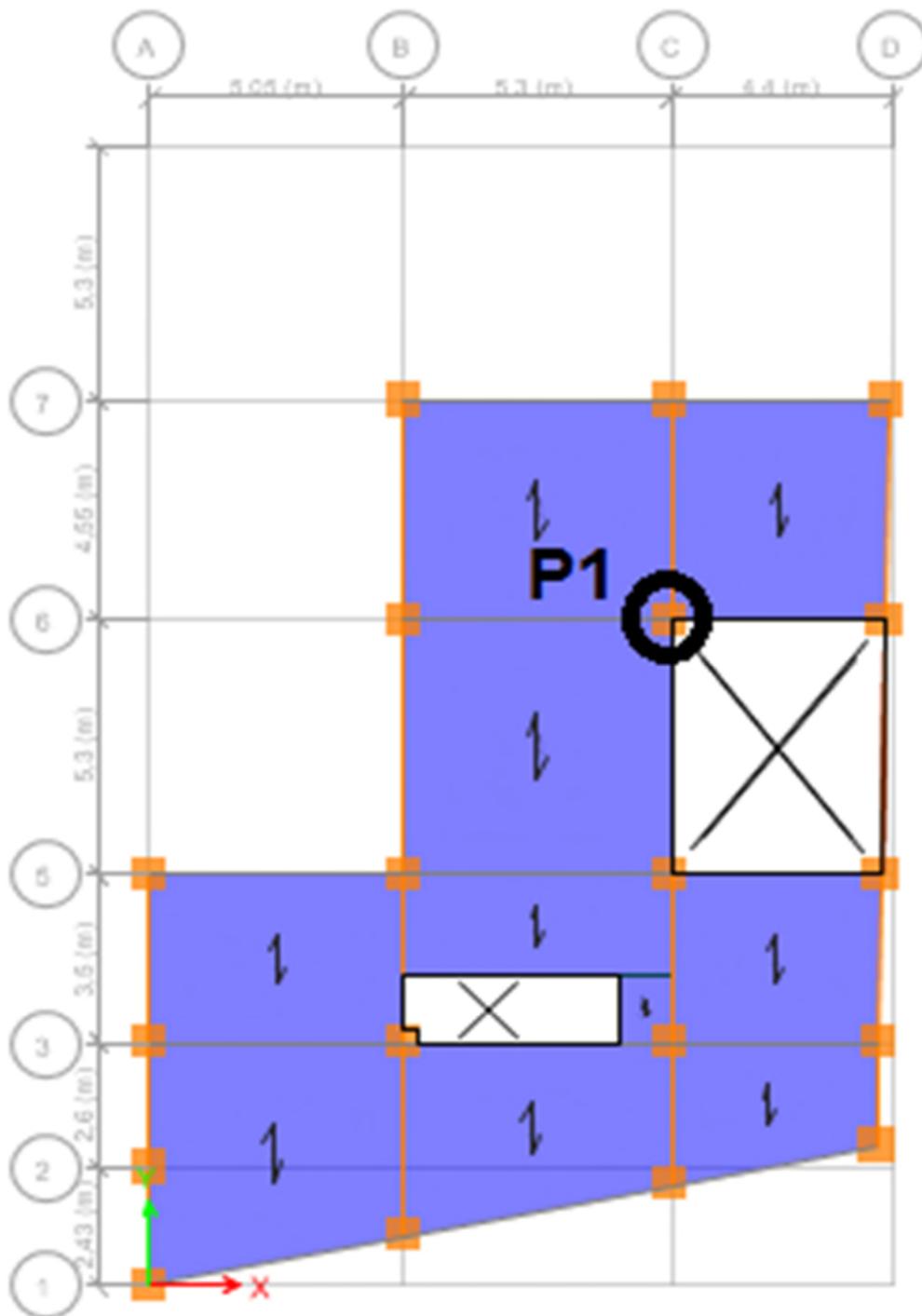
**ORGANIGRAMME -II-**  
**CALCUL D'UNE SECTION EN -TE-**  
 A L'E.L.U EN FLEXION SIMPLE



# **Annexe : 5**

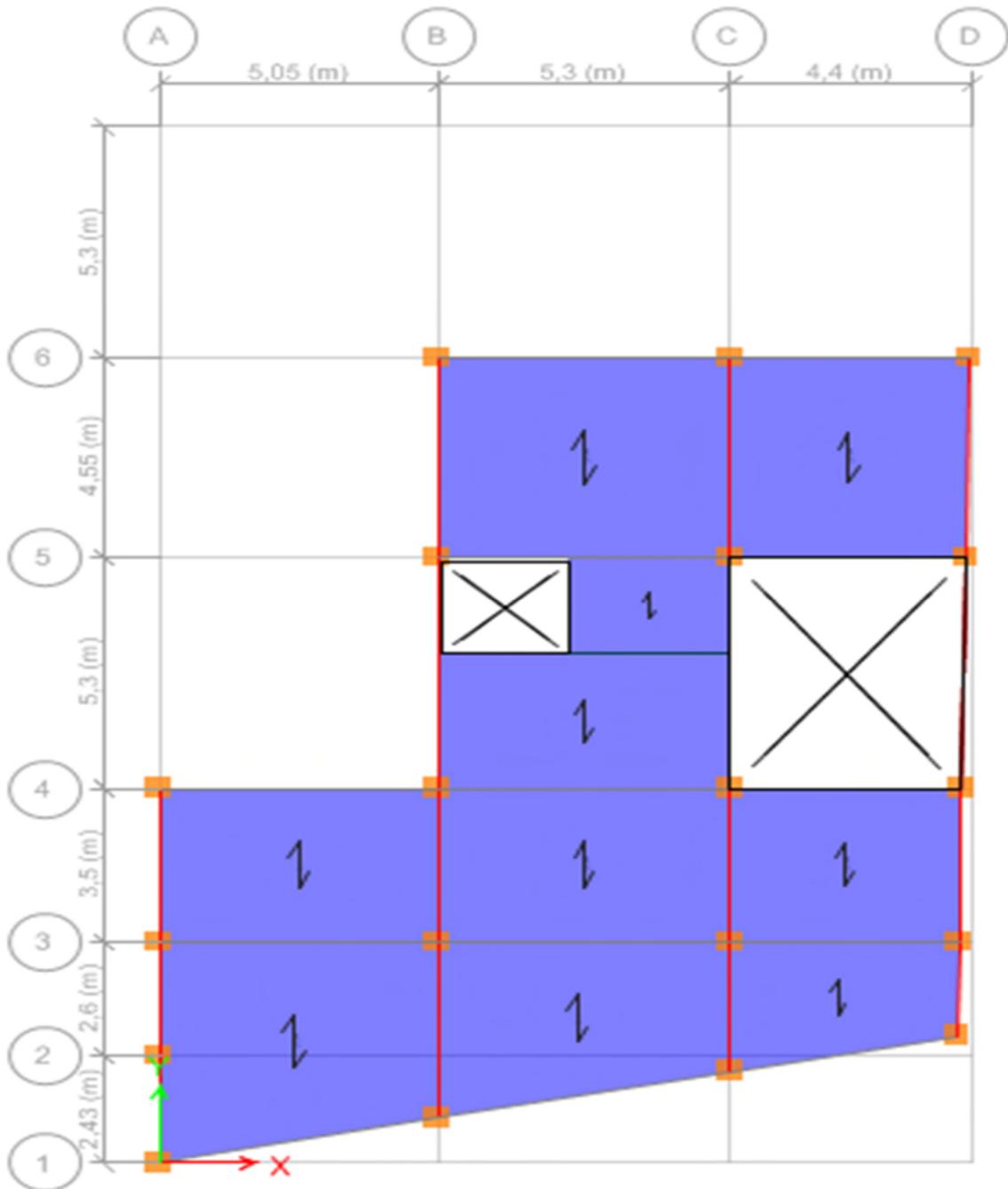
**Plans de disposition des poutrelles, et  
Repérage des dalles pleines**

# Annexe : 5.a



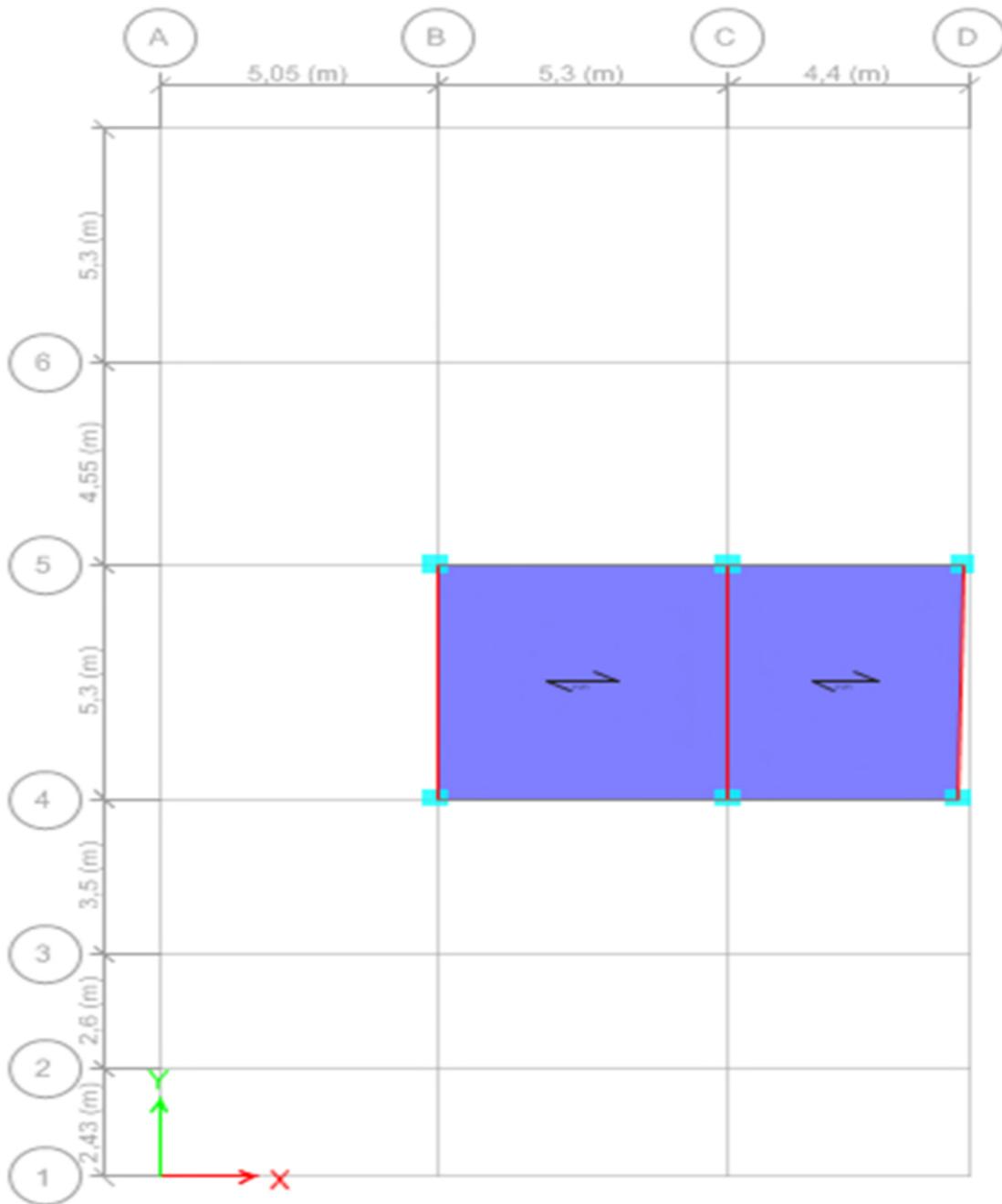
Plan de disposition des poutrelles au Niveau de l'étage 1

# Annexe : 5.b



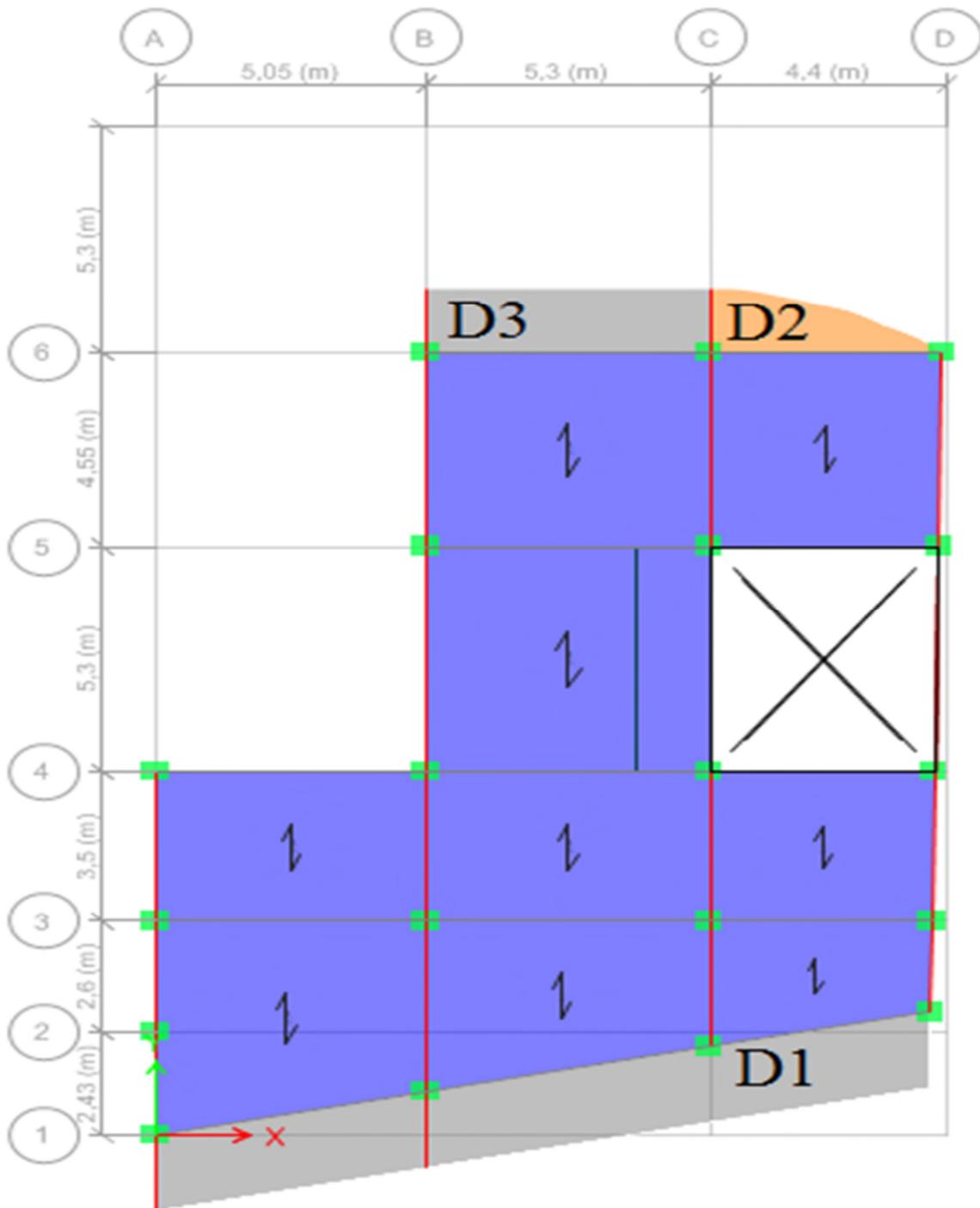
**Plan de disposition des poutrelles au Niveau de l'étage 10(2ème niveau duplexe)**

# Annexe : 5.c



**Plan de disposition des poutrelles au  
Niveau de la toiture**

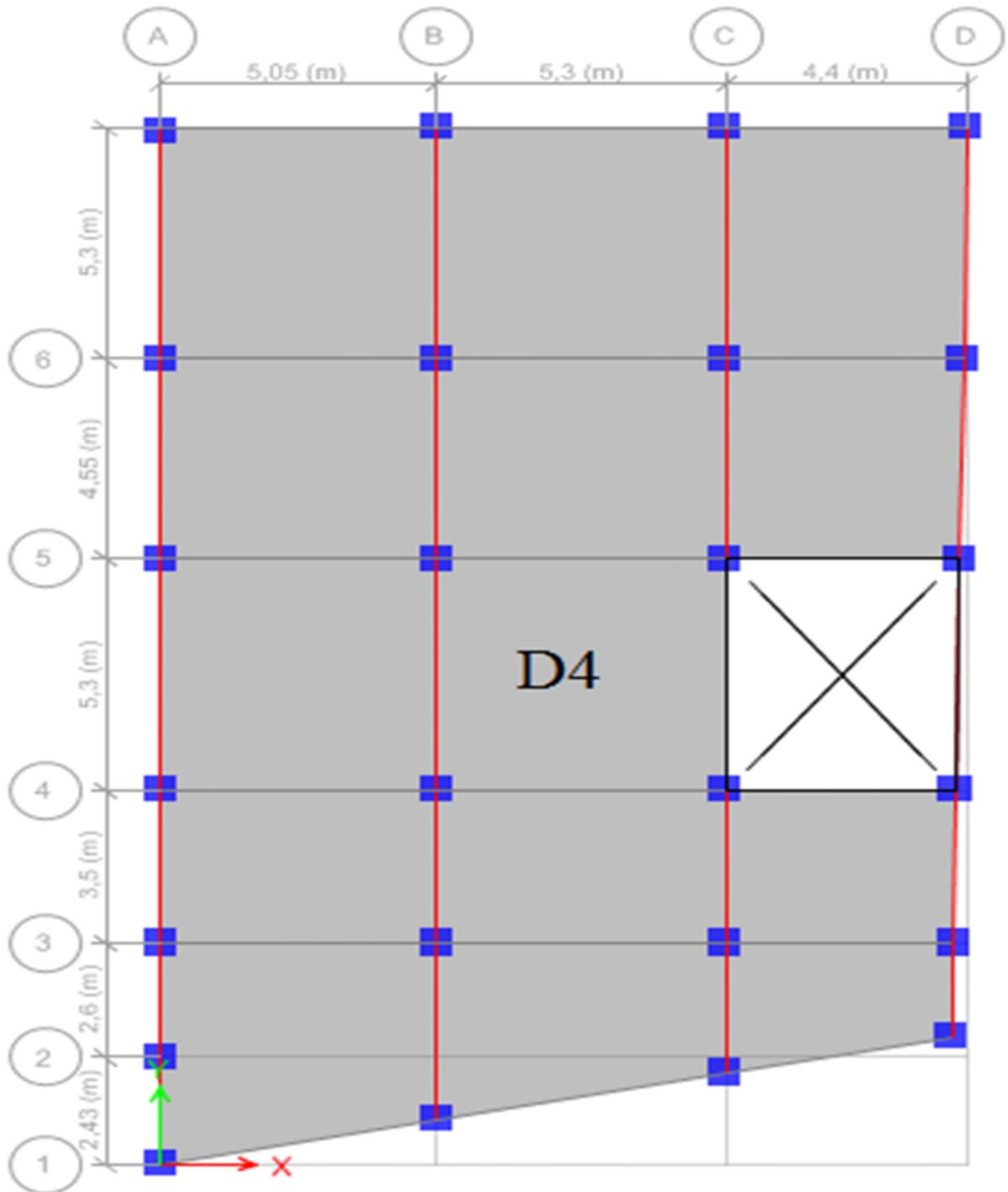
# Annexe : 5.d



**Plan de repérage des dalles pleines :**

**Etage courant**

# Annexe : 5.e



**Plan de repérage de la dalle pleine :**

**Entresol 2**

# Annexe : 6

## Caractéristiques générales de l'ascenseur utilisé

| ASCENSEURS  |                       | ESCALIERS ET ASCENSEURS   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|---|-----------------------|---|-----------|-------|--------------------------|-----------|-------|-----------|---|---|---|---|---|--|--------------|-----------------------|---|---|---|--------------------------|---|---|---|-----------------|----|----|----|----|-----|-----|-----|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------|---|-----|----|-----|-----|------|-----|-----|--------------|---------|-------|--|--|--|--|--|--|---------|-------|--|--|--|--|--|--|------|-------|--|--|--|--|--|--|-------------|---------|-------|--|--|--|--|--|--|---------|-------|--|--|--|--|--|--|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--|--|--|--|--|--|------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|----|--|--|--|--|--|--|-----------------------|---|-------|--|--|--|--|--|--|--------|-----------|-----------|-------|-----------|-----------|-------|-----------|--|-------|-------------|--|--|--|--|--|--|--|-----------|----|----|----|----|----|----|----|--|------------|----|----|----|----|----|----|----|
| <b>DEFINITION DE LA CHARGE, DE LA VITESSE ET DU NOMBRE D'ASCENSEURS</b><br>Nombre total de niveaux desservis y compris hall de départ et parkings : |                       | <b>EXEMPLE :</b> Immeuble de 7 niveaux au-dessus du hall de départ.<br>Caractéristiques de l'immeuble : <ul style="list-style-type: none"> <li>- population à prendre en compte : 140 personnes ;</li> <li>- niveaux desservis à prendre en compte : 8 (hall de départ + 7 niveaux) ;</li> <li>- distance séparant les deux niveaux extrêmes desservis : 19,60 m.</li> </ul> 1. Choix de l'intervalle maximal probable : $I = 80$ secondes.<br>2. Équipement minimal : un ascenseur de charge nominale 1 000 kg.<br>3. Vitesse nominale : on se fixe une limite supérieure de 25 secondes pour le rapport course/vitesse, ce qui correspond à une vitesse nominale de 1,00 m/s au moins.<br>4. La lecture du tableau de DTU 75.1 donne pour un ascenseur 1 000 kg à 1,00 m/s, tous niveaux desservis, les couples de valeurs « P-I » applicables suivants :   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>ETABLISSEMENT DU PROGRAMME D'ASCENSEURS (SUITE)</b>  |                       | <table border="1"> <thead> <tr> <th>P</th> <th>I</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>154</td> <td>178</td> <td>200</td> <td>220</td> <td>239</td> <td>256</td> <td>273</td> <td>290</td> <td>306</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>78</td> <td>90</td> <td>100</td> <td>109</td> <td>117</td> <td>125</td> <td>132</td> <td>138</td> <td>144</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Du fait que, dans le couple de valeurs $P = 154$ et $I = 78$ , $P$ est supérieur à la population à prendre en compte et $I$ inférieur à l'intervalle maximal probable, la solution est satisfaisante.  |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  | P            | I                     | P | I | P | I                        | P | I | P | I               | P  | I  | P  | I  | 154 | 178 | 200 | 220            | 239  | 256  | 273  | 290  | 306  |      |      |      |                        |   | 78  | 90 | 100 | 109 | 117  | 125 | 132 | 138          | 144     |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| P   | I                     | P   | I         | P     | I                        | P         | I     | P         | I | P | I | P | I |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| 154   | 178                   | 200   | 220       | 239   | 256                      | 273       | 290   | 306       |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| 78  | 90                    | 100   | 109       | 117   | 125                      | 132       | 138   | 144       |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>CARACTÉRISTIQUES ET DIMENSIONS</b>   |                       | <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Charge utile</th> <th colspan="4">600 kg ou 8 personnes</th> <th colspan="4">1 000 kg ou 13 personnes</th> </tr> <tr> <th>Course max en m</th> <th>35</th> <th>45</th> <th>60</th> <th>35</th> <th>45</th> <th>60</th> <th>80</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Vitesse en m/s</td> <td>0,63</td> <td>1,00</td> <td>1,50</td> <td>0,63</td> <td>1,00</td> <td>1,50</td> <td>0,63</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Puissance moteur en kW</td> <td>5</td> <td>6,8</td> <td>16</td> <td>6,8</td> <td>10</td> <td>28,5</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Cabine en mm</td> <td>Long. A</td> <td colspan="7">1 100</td> </tr> <tr> <td>Prof. B</td> <td colspan="7">1 400</td> </tr> <tr> <td>Haut</td> <td colspan="7">2 200</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Gaine en mm</td> <td>Long. C</td> <td colspan="7">1 600</td> </tr> <tr> <td>Prof. D</td> <td colspan="7">2 100</td> </tr> <tr> <td>S dalle Q</td> <td>3 700</td> <td>3 600</td> <td>4 000</td> <td>3 700</td> <td>3 800</td> <td>4 000</td> <td>4 000</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Palier</td> <td>Curv P</td> <td>1 400</td> <td>1 500</td> <td>1 700</td> <td>1 400</td> <td>1 500</td> <td>1 700</td> <td>1 700</td> </tr> <tr> <td>U mini</td> <td colspan="7">1 500</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">Machinerie en mm</td> <td>R mini</td> <td>2 200</td> <td>2 200</td> <td>2 200</td> <td>2 200</td> <td>2 400</td> <td>2 400</td> <td>2 400</td> </tr> <tr> <td>T mini</td> <td>3 700</td> <td>3 700</td> <td>3 500</td> <td>4 200</td> <td>4 200</td> <td>4 300</td> <td>4 300</td> </tr> <tr> <td>S m<sup>2</sup> mini</td> <td colspan="7">10</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Efforts globaux en kN</td> <td>H</td> <td colspan="7">2 000</td> </tr> <tr> <td>Trappe</td> <td>950 x 950</td> <td>950 x 950</td> <td>1 450</td> <td>950 x 950</td> <td>950 x 950</td> <td>1 450</td> <td>950 x 950</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Porte</td> <td colspan="7">900 x 2 000</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Sur dalle</td> <td>43</td> <td>50</td> <td>60</td> <td>50</td> <td>60</td> <td>65</td> <td>65</td> </tr> <tr> <td></td> <td>En covette</td> <td>55</td> <td>55</td> <td>55</td> <td>55</td> <td>55</td> <td>55</td> <td>76</td> </tr> </tbody> </table> |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  | Charge utile | 600 kg ou 8 personnes |   |   |   | 1 000 kg ou 13 personnes |   |   |   | Course max en m | 35 | 45 | 60 | 35 | 45  | 60  | 80  | Vitesse en m/s | 0,63 | 1,00 | 1,50 | 0,63 | 1,00 | 1,50 | 0,63 | 1,00 | Puissance moteur en kW | 5 | 6,8 | 16 | 6,8 | 10  | 28,5 |     |     | Cabine en mm | Long. A | 1 100 |  |  |  |  |  |  | Prof. B | 1 400 |  |  |  |  |  |  | Haut | 2 200 |  |  |  |  |  |  | Gaine en mm | Long. C | 1 600 |  |  |  |  |  |  | Prof. D | 2 100 |  |  |  |  |  |  | S dalle Q | 3 700 | 3 600 | 4 000 | 3 700 | 3 800 | 4 000 | 4 000 | Palier | Curv P | 1 400 | 1 500 | 1 700 | 1 400 | 1 500 | 1 700 | 1 700 | U mini | 1 500 |  |  |  |  |  |  | Machinerie en mm | R mini | 2 200 | 2 200 | 2 200 | 2 200 | 2 400 | 2 400 | 2 400 | T mini | 3 700 | 3 700 | 3 500 | 4 200 | 4 200 | 4 300 | 4 300 | S m <sup>2</sup> mini | 10 |  |  |  |  |  |  | Efforts globaux en kN | H | 2 000 |  |  |  |  |  |  | Trappe | 950 x 950 | 950 x 950 | 1 450 | 950 x 950 | 950 x 950 | 1 450 | 950 x 950 |  | Porte | 900 x 2 000 |  |  |  |  |  |  |  | Sur dalle | 43 | 50 | 60 | 50 | 60 | 65 | 65 |  | En covette | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 55 | 76 |
| Charge utile  | 600 kg ou 8 personnes |   |           |       | 1 000 kg ou 13 personnes |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Course max en m       | 35  | 45        | 60    | 35                       | 45        | 60    | 80        |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| Vitesse en m/s  | 0,63                  | 1,00  | 1,50      | 0,63  | 1,00                     | 1,50      | 0,63  | 1,00      |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| Puissance moteur en kW  | 5                     | 6,8   | 16        | 6,8   | 10                       | 28,5      |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| Cabine en mm  | Long. A               | 1 100   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Prof. B               | 1 400   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Haut                  | 2 200   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| Gaine en mm   | Long. C               | 1 600   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Prof. D               | 2 100   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | S dalle Q             | 3 700   | 3 600     | 4 000 | 3 700                    | 3 800     | 4 000 | 4 000     |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| Palier  | Curv P                | 1 400   | 1 500     | 1 700 | 1 400                    | 1 500     | 1 700 | 1 700     |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | U mini                | 1 500   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| Machinerie en mm  | R mini                | 2 200   | 2 200     | 2 200 | 2 200                    | 2 400     | 2 400 | 2 400     |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | T mini                | 3 700   | 3 700     | 3 500 | 4 200                    | 4 200     | 4 300 | 4 300     |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | S m <sup>2</sup> mini | 10  |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| Efforts globaux en kN   | H                     | 2 000   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Trappe                | 950 x 950   | 950 x 950 | 1 450 | 950 x 950                | 950 x 950 | 1 450 | 950 x 950 |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Porte                 | 900 x 2 000   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | Sur dalle             | 43  | 50        | 60    | 50                       | 60        | 65    | 65        |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
|   | En covette            | 55  | 55        | 55    | 55                       | 55        | 55    | 76        |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |
| <b>ASCENSEURS À ENTRAÎNEMENT PAR TREUIL ET CÂBLES</b><br>• SOBETEX<br>• SOBETEX   |                       |   |           |       |                          |           |       |           |   |   |   |   |   |  |              |                       |   |   |   |                          |   |   |   |                 |    |    |    |    |     |     |     |                |      |      |      |      |      |      |      |      |                        |   |     |    |     |     |      |     |     |              |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |      |       |  |  |  |  |  |  |             |         |       |  |  |  |  |  |  |         |       |  |  |  |  |  |  |           |       |       |       |       |       |       |       |        |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |  |  |  |  |  |  |                  |        |       |       |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |                       |    |  |  |  |  |  |  |                       |   |       |  |  |  |  |  |  |        |           |           |       |           |           |       |           |  |       |             |  |  |  |  |  |  |  |           |    |    |    |    |    |    |    |  |            |    |    |    |    |    |    |    |

| Vitesse (m/s)                      | Charges entravées (kg) | Nombre total de niveaux desservis y compris hall de départ et parkings |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------------------|------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                    |                        | 4  | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  |     |     |     |
| 0,01<br>Tous les niveaux desservis | 500                    | 188  | 64  | 164 | 73  | 148 | 81  | 130 | 88  | 126 | 95  | 117 | 101 | 109 | 110 |
|                                    | 600                    | 226  | 71  | 180 | 82  | 176 | 91  | 160 | 100 | 149 | 108 | 130 | 116 | 129 | 134 |
|                                    | 1 000                  | 303  | 89  | 225 | 89  | 200 | 100 | 183 | 109 | 188 | 119 | 157 | 127 | 147 | 156 |
| 1,00<br>1 niveau desservi sur 2    | 500                    | 322  | 87  | 277 | 101 | 246 | 114 | 224 | 125 | 206 | 138 | 175 | 137 | 164 | 166 |
|                                    | 600                    | 414  | 97  | 301 | 105 | 242 | 117 | 230 | 138 | 220 | 150 | 192 | 150 | 179 | 185 |
|                                    | 1 000                  | 463  | 85  | 404 | 108 | 281 | 122 | 251 | 133 | 235 | 144 | 208 | 152 | 186 | 207 |
| 1,60<br>1 niveau desservi sur 2    | 500                    | 446  | 89  | 326 | 87  | 330 | 92  | 324 | 97  | 319 | 101 | 313 | 105 | 310 |     |
|                                    | 600                    | 574  | 90  | 363 | 88  | 358 | 102 | 347 | 109 | 340 | 114 | 334 | 119 | 330 |     |
|                                    | 1 000                  | 624  | 107 | 414 | 100 | 400 | 112 | 390 | 127 | 380 | 123 | 373 | 129 | 368 |     |
| 2,50<br>1 niveau desservi sur 2    | 500                    | 371  | 140 | 254 | 126 | 229 | 134 | 227 | 141 | 216 | 148 | 205 | 153 | 202 |     |
|                                    | 600                    | 419  | 137 | 284 | 136 | 278 | 144 | 261 | 154 | 248 | 161 | 237 | 169 | 235 |     |
|                                    | 1 000                  | 458  | 131 | 314 | 140 | 295 | 149 | 278 | 156 | 265 | 166 | 253 | 174 | 250 |     |
| 4,00<br>Tous les niveaux desservis | 500                    | 245  | 49  | 222 | 54  | 207 | 58  | 197 | 61  | 185 | 65  | 176 | 68  | 167 |     |
|                                    | 600                    | 323  | 62  | 290 | 69  | 267 | 75  | 250 | 80  | 235 | 85  | 224 | 90  | 214 |     |
|                                    | 1 000                  | 394  | 71  | 336 | 80  | 310 | 86  | 295 | 92  | 277 | 101 | 268 | 106 | 258 |     |
| 6,00<br>Tous les niveaux desservis | 500                    | 476  | 79  | 378 | 87  | 340 | 94  | 337 | 101 | 298 | 108 | 285 | 114 | 278 |     |
|                                    | 600                    | 482  | 83  | 426 | 94  | 385 | 104 | 354 | 113 | 333 | 120 | 315 | 127 | 308 |     |
|                                    | 1 000                  | 526  | 87  | 443 | 99  | 404 | 109 | 372 | 118 | 349 | 126 | 333 | 132 | 326 |     |
| 1,00<br>1 niveau desservi sur 2    | 500                    | 182  | 66  | 171 | 70  | 164 | 73  | 158 | 76  | 152 | 79  | 148 | 82  |     |     |
|                                    | 600                    | 244  | 75  | 220 | 79  | 213 | 83  | 206 | 87  | 198 | 91  | 191 | 95  |     |     |
|                                    | 1 000                  | 273  | 88  | 258 | 91  | 245 | 96  | 233 | 103 | 224 | 107 | 214 | 112 |     |     |
| 1,60<br>1 niveau desservi sur 2    | 500                    | 208  | 84  | 209 | 100 | 207 | 103 | 205 | 110 | 203 | 115 | 203 | 118 |     |     |
|                                    | 600                    | 263  | 95  | 265 | 105 | 268 | 111 | 271 | 116 | 263 | 120 | 258 | 124 |     |     |
|                                    | 1 000                  | 346  | 104 | 327 | 110 | 310 | 116 | 295 | 122 | 283 | 127 | 271 | 133 |     |     |
| 2,50<br>1 niveau desservi sur 2    | 500                    | 203  | 115 | 270 | 119 | 249 | 126 | 233 | 132 | 219 | 138 | 205 | 144 |     |     |
|                                    | 600                    | 260  | 124 | 321 | 128 | 291 | 136 | 278 | 145 | 265 | 147 | 252 | 151 |     |     |
|                                    | 1 000                  | 300  | 134 | 361 | 138 | 328 | 144 | 315 | 152 | 302 | 160 | 287 | 168 |     |     |
| 4,00<br>Tous les niveaux desservis | 500                    | 228  | 76  | 219 | 77  | 213 | 79  | 206 | 82  | 198 | 85  | 190 | 89  |     |     |
|                                    | 600                    | 250  | 86  | 241 | 83  | 233 | 86  | 227 | 88  | 220 | 91  | 214 | 95  |     |     |
|                                    | 1 000                  | 270  | 89  | 261 | 82  | 253 | 85  | 245 | 88  | 238 | 91  | 231 | 94  |     |     |
| 6,00<br>Tous les niveaux desservis | 500                    | 309  | 97  | 277 | 101 | 269 | 104 | 262 | 107 | 252 | 111 | 248 | 115 |     |     |
|                                    | 600                    | 325  | 105 | 295 | 108 | 288 | 111 | 281 | 114 | 273 | 116 | 267 | 120 |     |     |
|                                    | 1 000                  | 325  | 111 | 319 | 116 | 306 | 120 | 290 | 124 | 281 | 126 | 270 | 132 |     |     |
| 1,00<br>1 niveau desservi sur 2    | 500                    | 239  | 119 | 255 | 123 | 233 | 128 | 224 | 134 | 216 | 140 | 208 | 140 |     |     |
|                                    | 600                    | 255  | 124 | 271 | 127 | 251 | 132 | 237 | 137 | 228 | 141 | 220 | 144 |     |     |
|                                    | 1 000                  | 271  | 131 | 290 | 133 | 270 | 136 | 257 | 141 | 249 | 144 | 237 | 148 |     |     |
| 2,50<br>1 niveau desservi sur 2    | 500                    | 211  | 97  | 200 | 65  | 194 | 62  | 188 | 66  | 179 | 67  | 174 | 69  |     |     |
|                                    | 600                    | 242  | 96  | 232 | 69  | 225 | 71  | 218 | 74  | 209 | 77  | 203 | 79  |     |     |
|                                    | 1 000                  | 274  | 79  | 263 | 79  | 253 | 79  | 244 | 82  | 235 | 85  | 227 | 86  |     |     |
| 4,00<br>Tous les niveaux desservis | 500                    | 324  | 79  | 289 | 83  | 278 | 87  | 267 | 89  | 259 | 93  | 250 | 96  |     |     |
|                                    | 600                    | 334  | 84  | 314 | 89  | 301 | 93  | 289 | 97  | 280 | 100 | 269 | 104 |     |     |
|                                    | 1 000                  | 340  | 86  | 340 | 94  | 329 | 99  | 317 | 103 | 299 | 107 | 288 | 111 |     |     |
| 6,00<br>Tous les niveaux desservis | 500                    | 395  | 91  | 364 | 94  | 348 | 97  | 334 | 101 | 319 | 105 | 300 | 109 |     |     |
|                                    | 600                    | 408  | 95  | 385 | 104 | 367 | 109 | 351 | 114 | 339 | 114 | 320 | 117 |     |     |
|                                    | 1 000                  | 432  | 100 | 407 | 109 | 389 | 113 | 370 | 119 | 355 | 124 | 341 | 129 |     |     |



# Annexe : 7

## Données de l'étude de sol

P. 7 « Résidence la Rose », Béjaïa ..... Octobre 20

### • CARACTERISTIQUES CHIMIQUES

Pour en savoir plus sur le sol, notamment son agressivité, on a soumis deux (02) échantillons à ces essais chimiques et minéralogiques qui ont donné :

| Sondage | Profondeur                              | Sulfates $SO_4^{--}$ | Carbonates $CaCO_3$ | Chlorures $Cl^-$ | Matières organiques |
|---------|---|----------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| SC 02   | 7 <sup>m</sup> .40 – 7 <sup>m</sup> .80 | Traces               | 6.56                | 0.17             | 1.20                |
| SC 03   | 6 <sup>m</sup> .20 – 6 <sup>m</sup> .60 | Traces               | 2.32                | 0.14             | 1.14                |

Les résultats des analyses chimiques et minéralogiques ci dessus, indiquent une **agressivité Nulle** du sol, selon les normes NF P 18 011 du 06/92.

### V. CALCUL DE FONDATIONS

#### ESTIMATION DE LA CONTRAINTE ADMISSIBLE DU SOL

↓ A partir des résultats obtenus **SUR SITE** :

Les résistances en pointe  $R_p$  étant obtenues suite aux essais au pénétromètre dynamique lourd «PDL», d'où on déduit la contrainte admissible du sol en utilisant la formule empirique :

$$Q = R_p / 20 \quad \text{avec un coefficient de sécurité de 3 (Règles du D.T.U 13.1)}$$

Pour les résistances en pointe les plus défavorables, on aura les contraintes admissibles suivants :

- Assise du bloc **A** et **B** :  
 $\sigma_{adm} = 1.20 \text{ bars}$  pour un ancrage de 4<sup>m</sup>.80 par rapport à la côte du terrain naturel ;
- Assise du bloc **C'** et **C** :  
 $\sigma_{adm} = 1.00 \text{ bars}$  pour un ancrage de 4<sup>m</sup>.20 par rapport à la côte du terrain naturel ;
- Assise du bloc **E** et **D** :  
 $\sigma_{adm} = 1.20 \text{ bars}$  pour un ancrage de 4<sup>m</sup>.20 par rapport à la côte du terrain naturel ;

↓ A partir des résultats obtenus **AU LABORATOIRE** :

Densité humide de  $15.5 \text{ KN/m}^3$  ;  
Angle de frottement  $\varphi_u = 40^\circ$  ;  
Cohésion  $C = 0.15 \text{ bar}$ .

On déduit alors la contrainte admissible du sol en utilisant les formules proposées par Terzaghi pour le cas des semelles filantes. Par contre, pour le cas du radier général, la contrainte admissible est déduite à partir de la formule de G. Philipponnat conformément au D.T.U Français 13.1.

## CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'assiette choisie, pour recevoir les immeubles de la promotion immobilière « Résidence rose », au profit de l'entreprise Promotion Immobilière ALLOUI Said, est d'après nos différents essais « in situ » et au laboratoire, un sol globalement de portance moyennement faible.

Les essais pénétrométriques ont révélé un sous sol hétérogène vis-à-vis de sa résistance, qui est globalement moyenne à faible et atteint des valeurs admissibles à partir de 4 mètres.

Le sous sol est assez compressible, surconsolidé et peut présenter des tassements allant jusqu'à environ 13 cm.

A cet effet, il est préconisé :

- L'emploi de fondations superficielles ;
- Les taux de travail préconisés sont comme suite :
  - Assise du bloc A et B :  
 $\sigma_{adm} = 1.20 \text{ bars}$  pour un ancrage de 4<sup>m</sup>.80 par rapport à la côte du terrain naturel ;
  - Assise du bloc C' et C :  
 $\sigma_{adm} = 1.00 \text{ bars}$  pour un ancrage de 4<sup>m</sup>.20 par rapport à la côte du terrain naturel ;
  - Assise du bloc E et D :  
 $\sigma_{adm} = 1.20 \text{ bars}$  pour un ancrage de 4<sup>m</sup>.20 par rapport à la côte du terrain naturel ;

Par ailleurs, il est recommandé :

- Eviter les travaux de terrassement en périodes de pluies ;
- La réalisation d'un système de drainage adéquat et très rigoureux autour de tout le périmètre bâti est impérative ;
- Vérifier toute infiltration d'eaux à partir du canal (oued Sghir) ;
- Prendre en considération la valeur des tassements dans les VRD et autres équipements ;
- Eviter le pompage excessif avec des pompes très puissantes pendant les travaux, mais en utilisant plusieurs petites pompes dans plusieurs endroits.
- Aménager des espaces verts dans l'assiette, afin de permettre l'évaporation et l'évapotranspiration normales des eaux souterraines ;
- Réalisation d'une forme étanche au pourtour des constructions ;
- La prise en considération de la possibilité d'inondation du terrain en périodes de fortes pluies ;
- La superposition du barycentre des charges appliquées avec le centre de gravité géométrique du radior.

L'Ingénieur Chargé de l'Etude

Ingénieur Charge D'études  
A. DJEDJIG



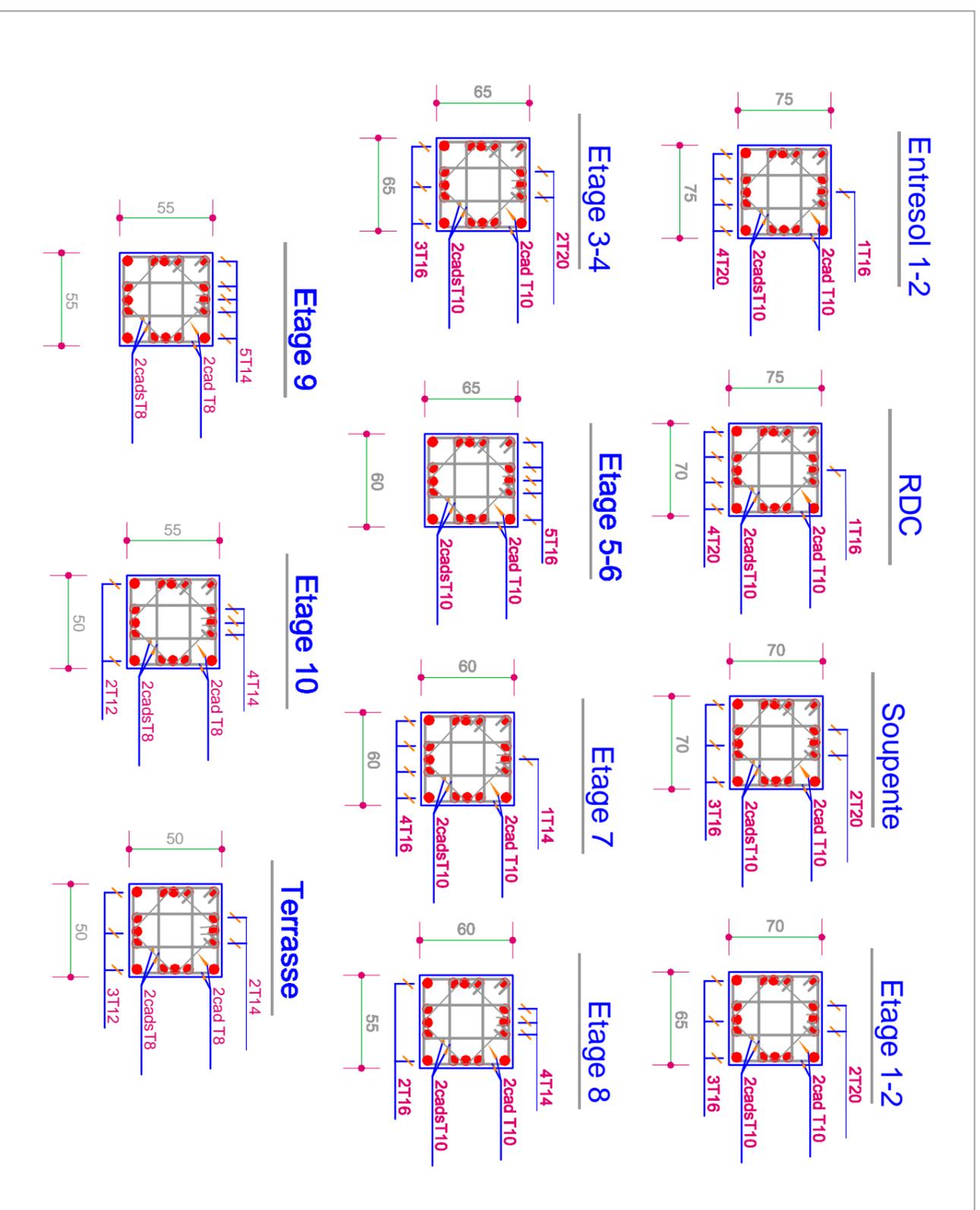
Béjaïa, le .....  
le Directeur de l'Unité

مدير الوحدة  
عز الدين

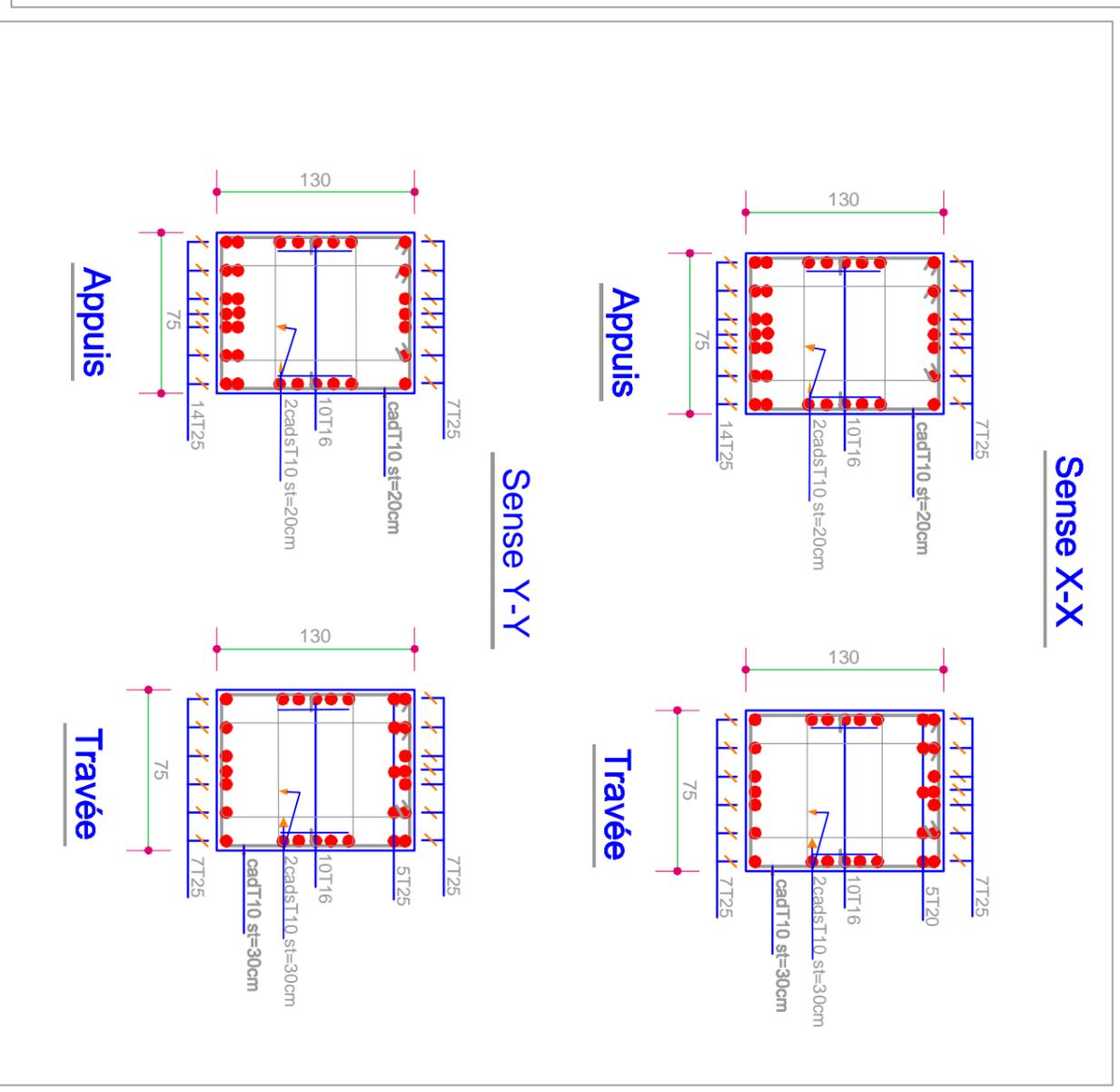
# **Annexe 8 :**

**Schémas de ferrailage poteaux,  
poutres et nervures**

## Schéma de ferrailage des poteaux



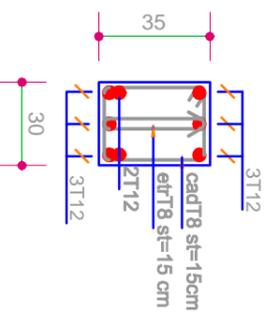
## Schéma de ferrailage des nervures



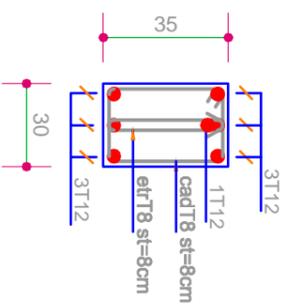
# Schéma de ferrailage des poutres secondaires

## poutres associées aux voiles

### Entresol 2



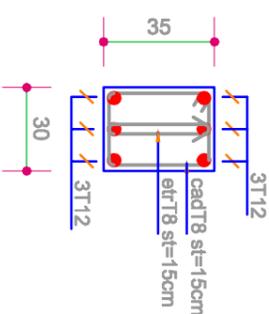
#### Travée



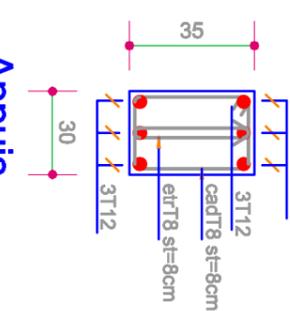
#### Appuis

## poutres non associées aux voiles

### Entresol 2

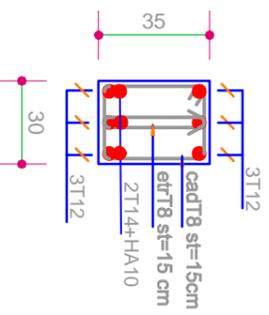


#### Travée

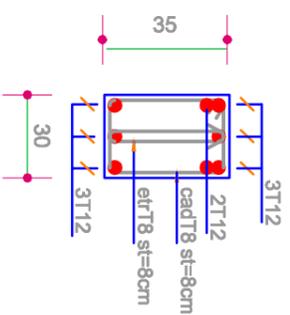


#### Appuis

### RDC

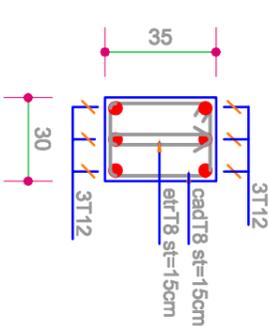


#### Travée

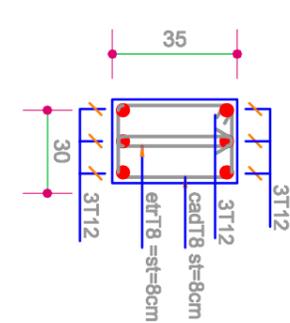


#### Appuis

### RDC

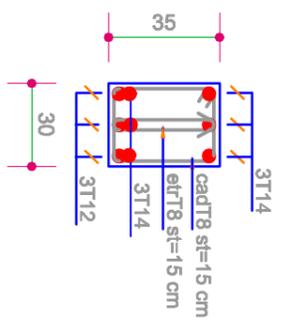


#### Travée

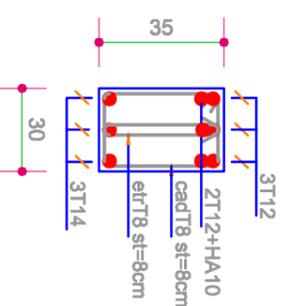


#### Appuis

### Soup-toiture

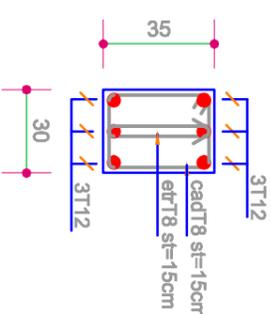


#### Travée

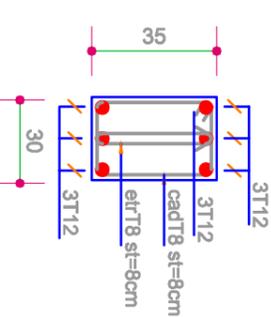


#### Appuis

### Soup-toiture



#### Travée

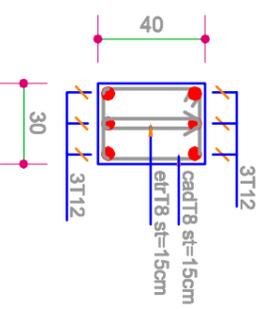


#### Appuis

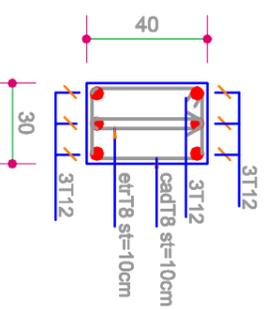
# Schéma de ferrailage des poutres principales

## poutres associées aux voiles

### Entresol 2



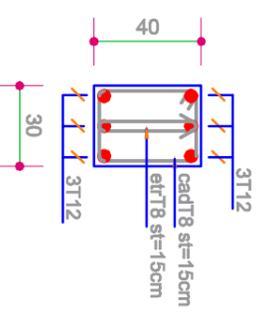
### Travée



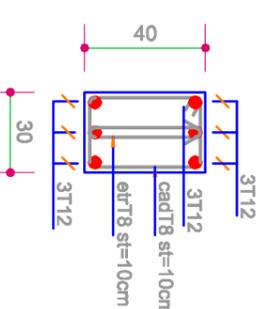
### Appuis

## poutres non associées aux voiles

### Entresol 2

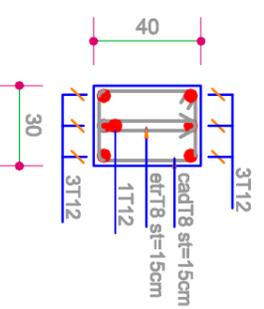


### Travée

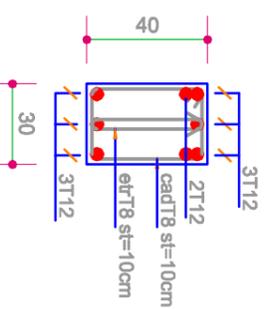


### Appuis

### RDC

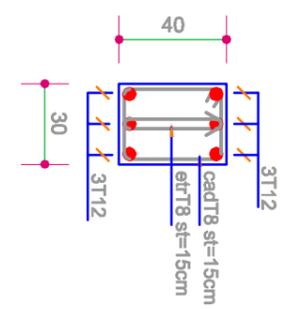


### Travée

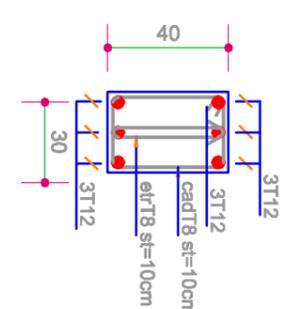


### Appuis

### RDC

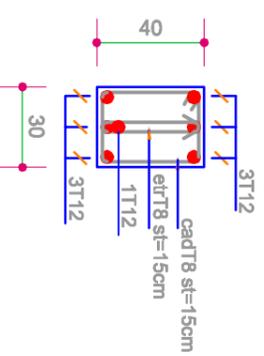


### Travée

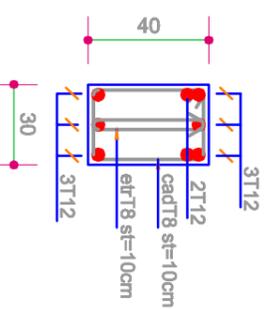


### Appuis

### Soup-toiture

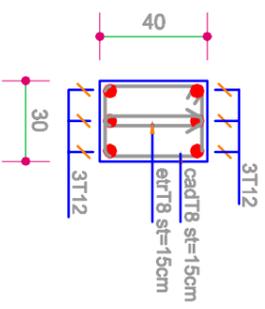


### Travée

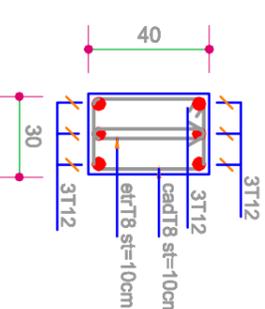


### Appuis

### Soup-toiture



### Travée



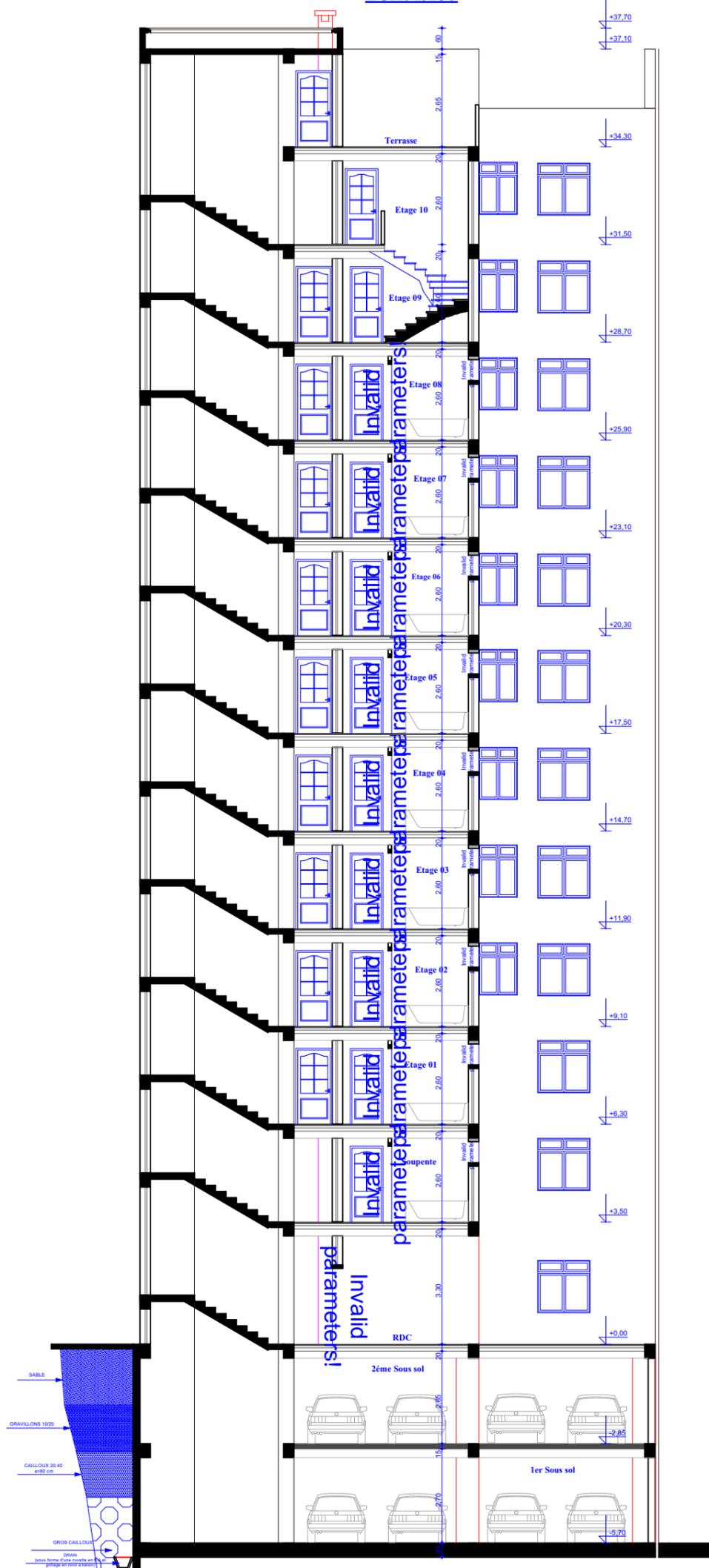
### Appuis

# **Annexe 9 :**

**Plans architecturaux du bâtiment**

Coupe A-A.....  
Bloc E.

ECH: 1/150



Bloc E.  
ECH: 1/150



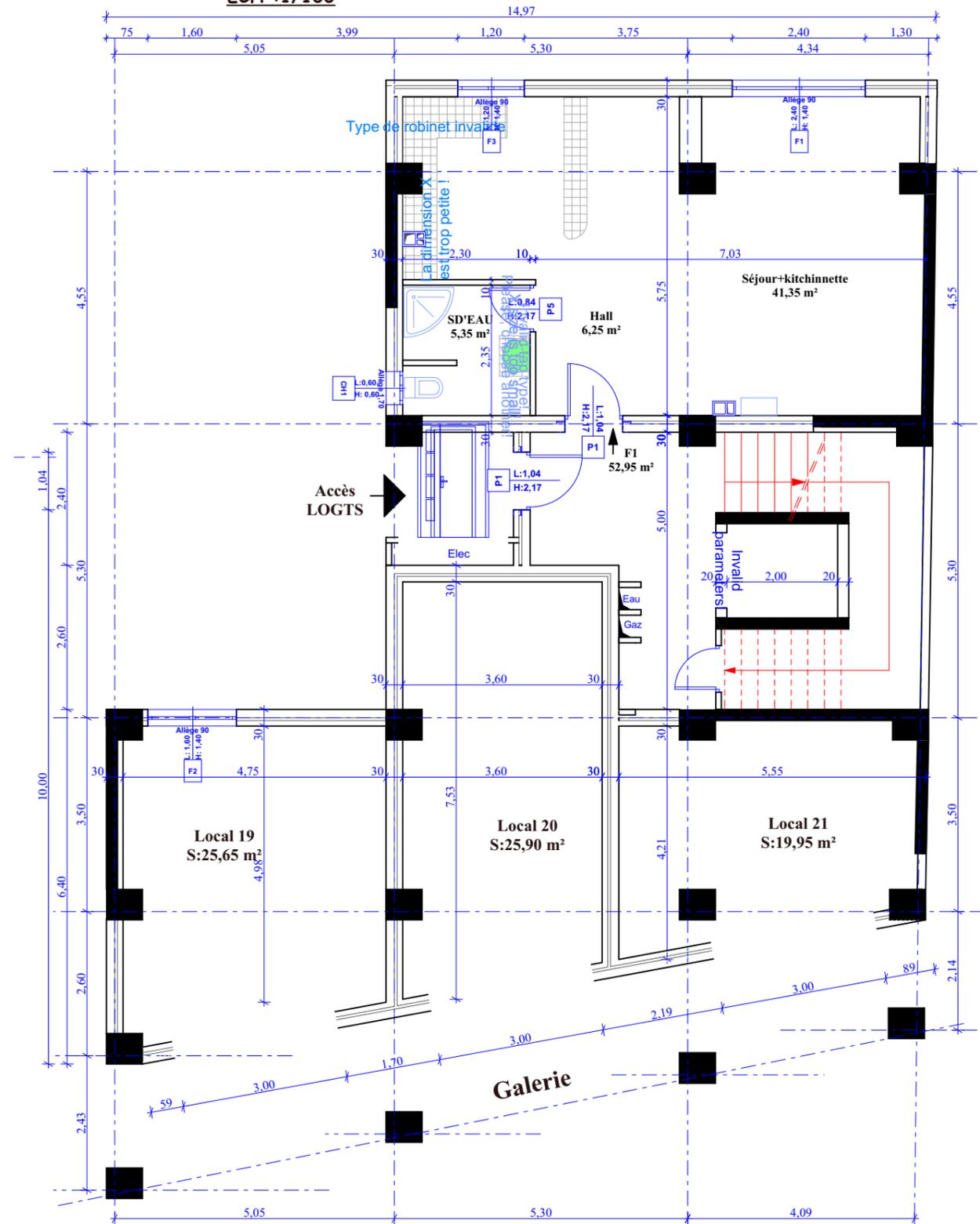
Facade Principale  
.....Bloc E





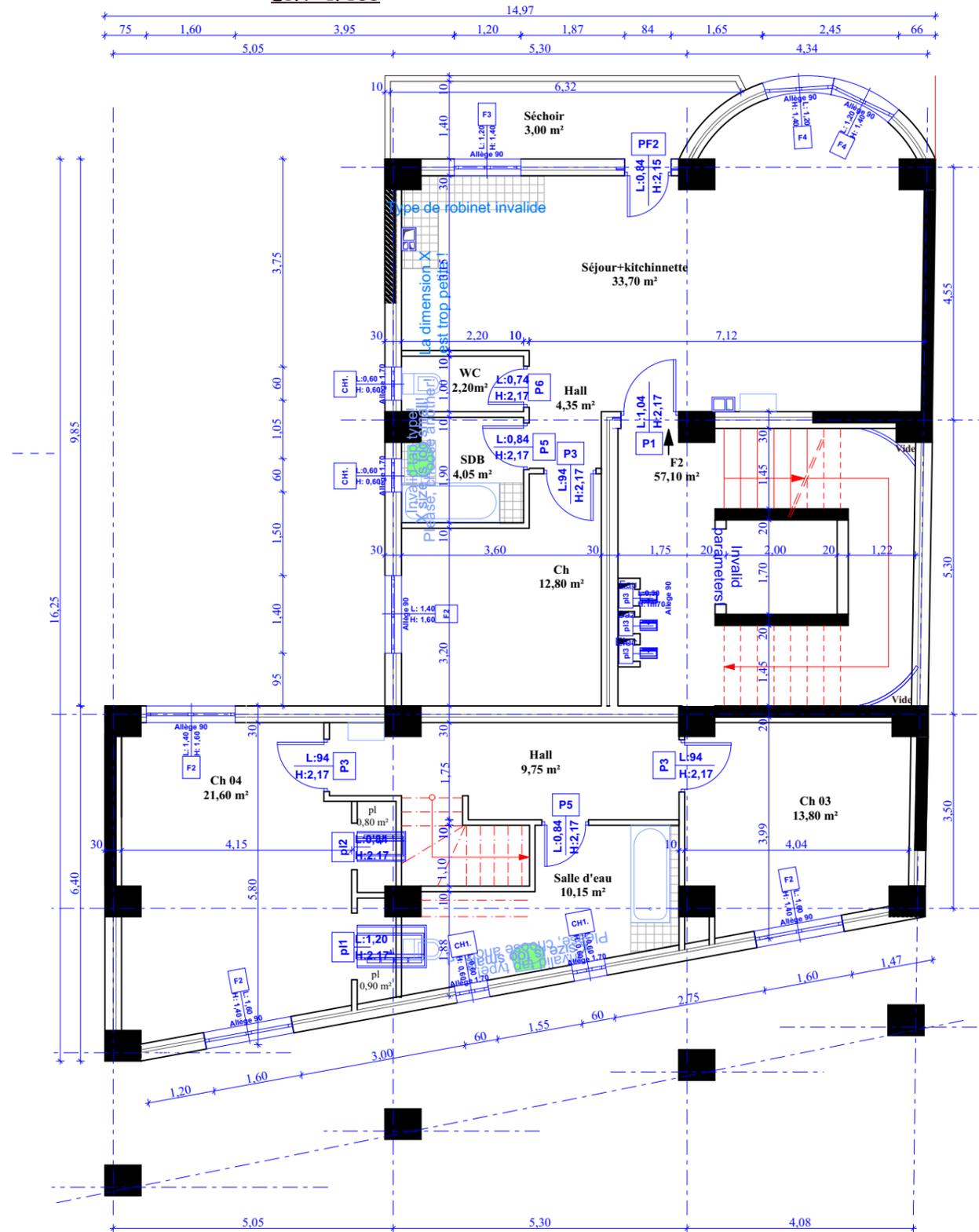
# Vue En Plan R D C

ECH :1/100



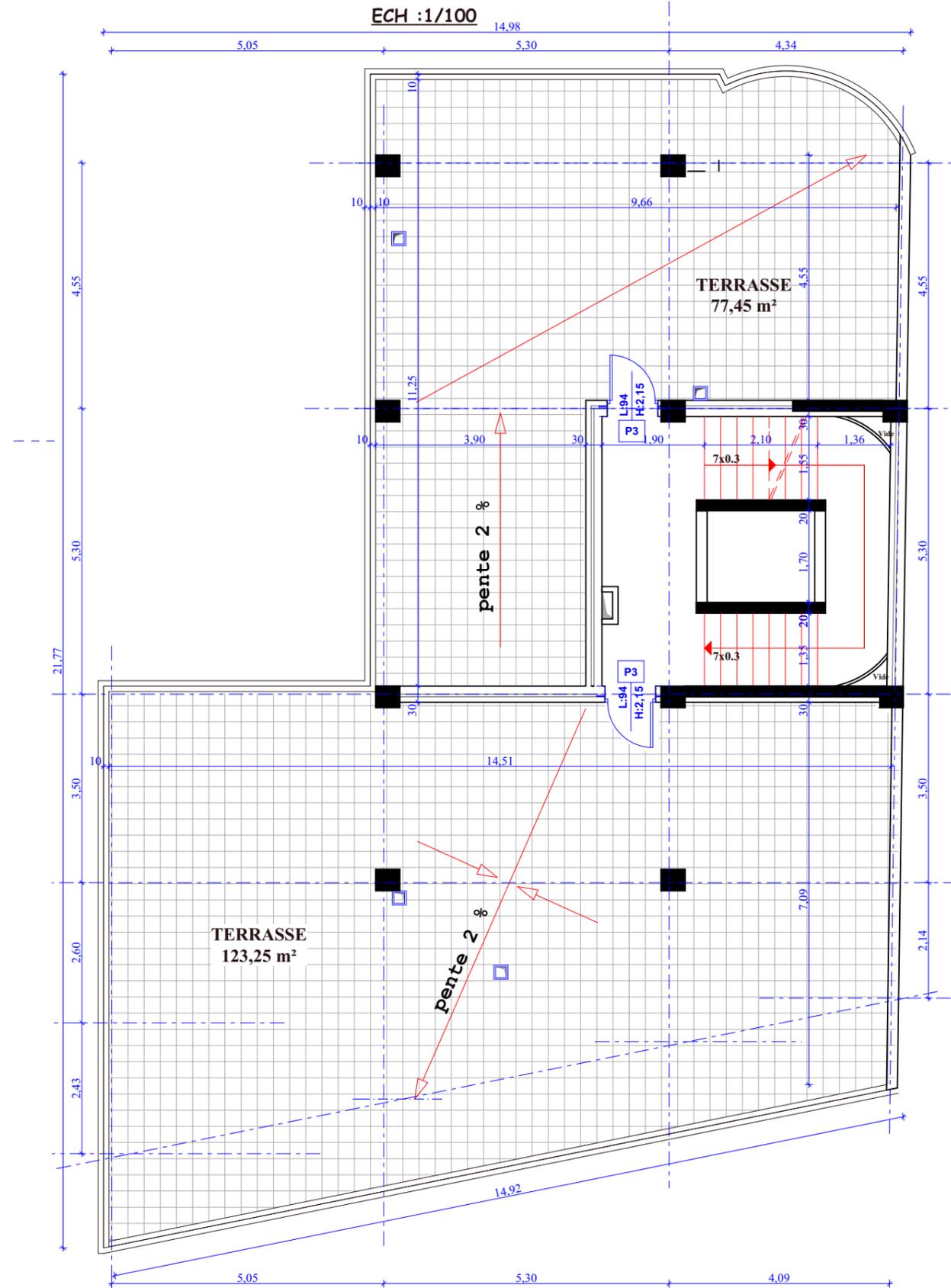
# Vue En Plan SOUPENTE

ECH : 1/100



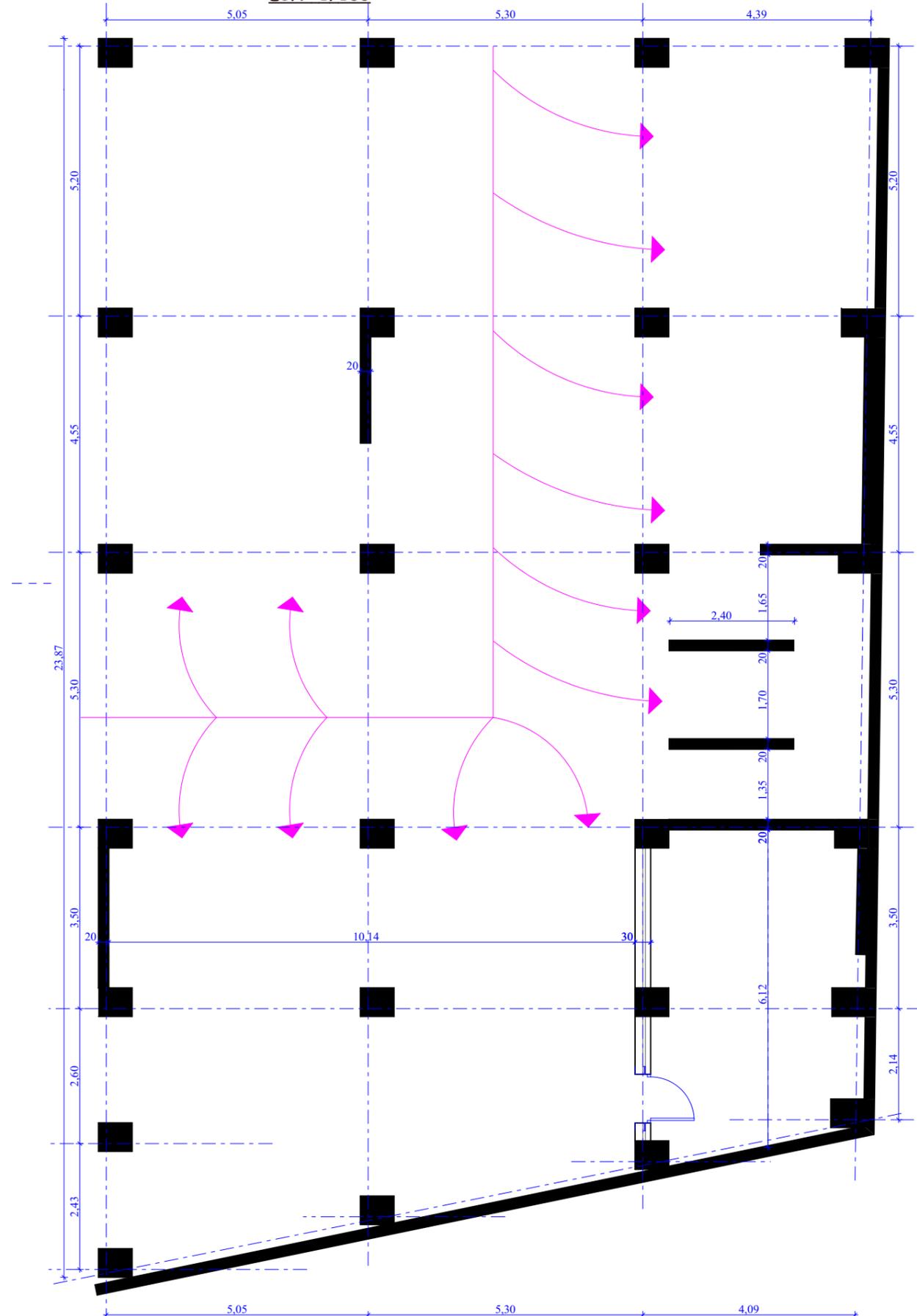
# Vue En Plan TERRASSE ACCESSIBLE

ECH : 1/100



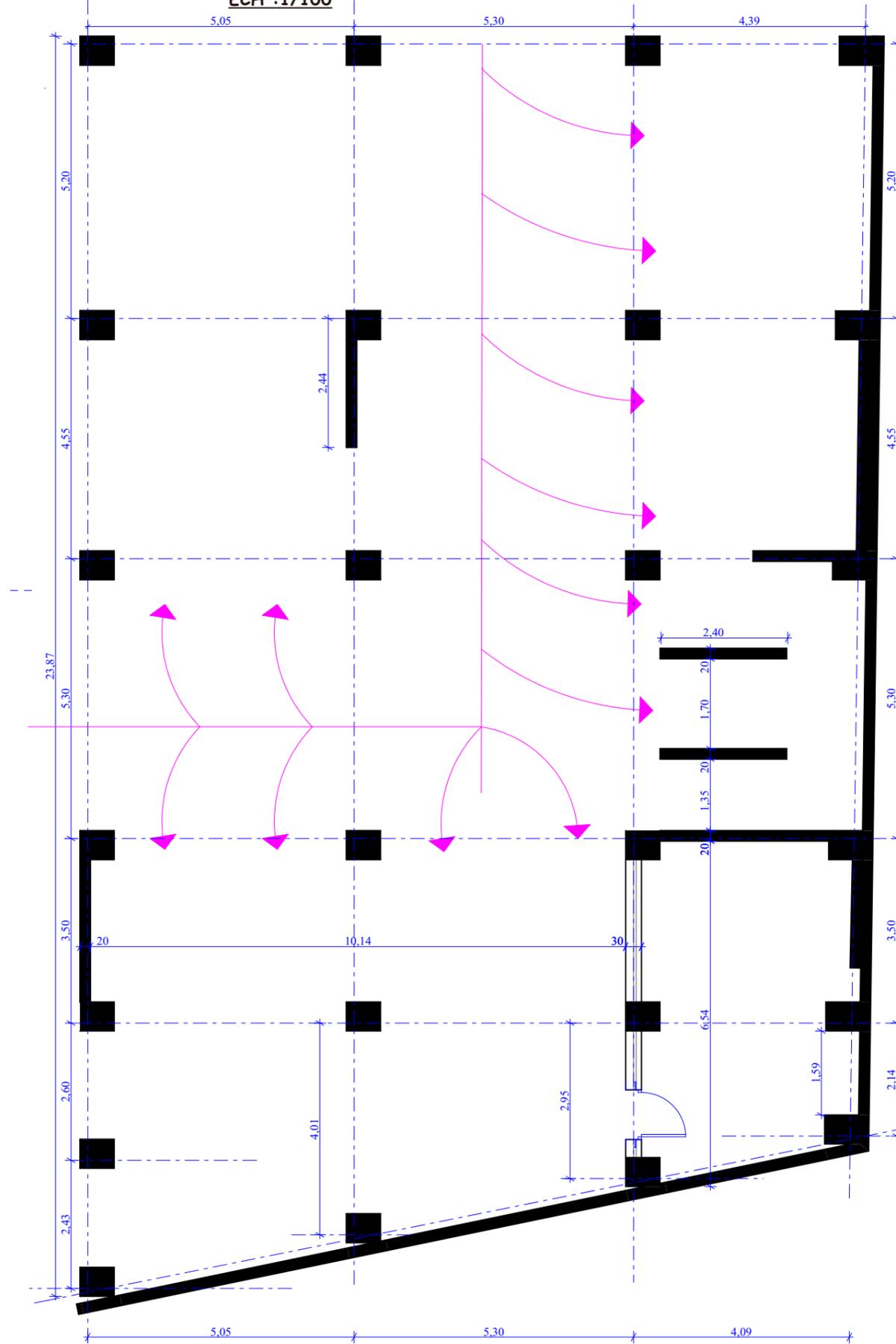
# Vue En Plan S/SOL 1

ECH : 1/100



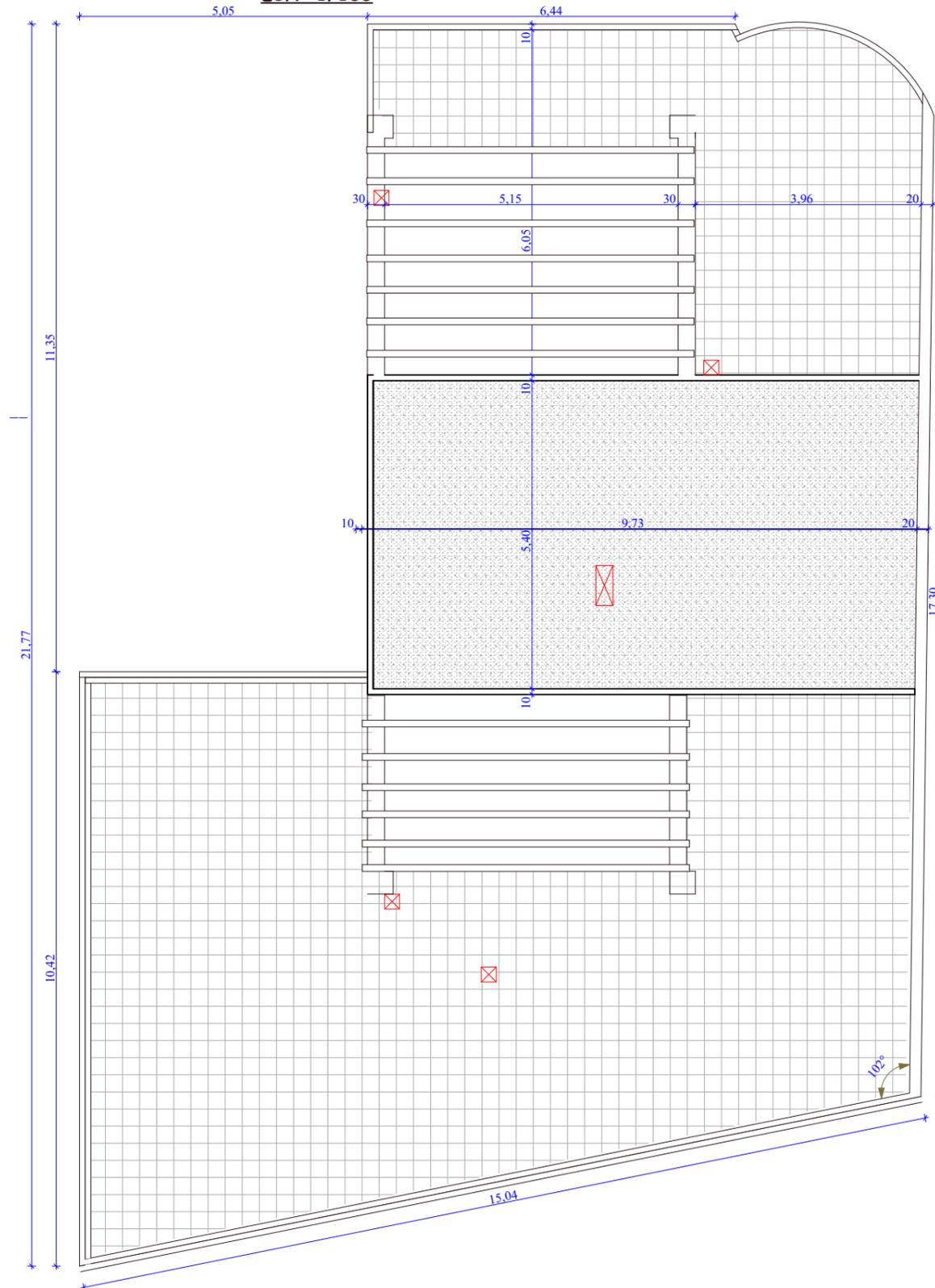
**Vue En Plan S/SOL 02**

**ECH :1/100**



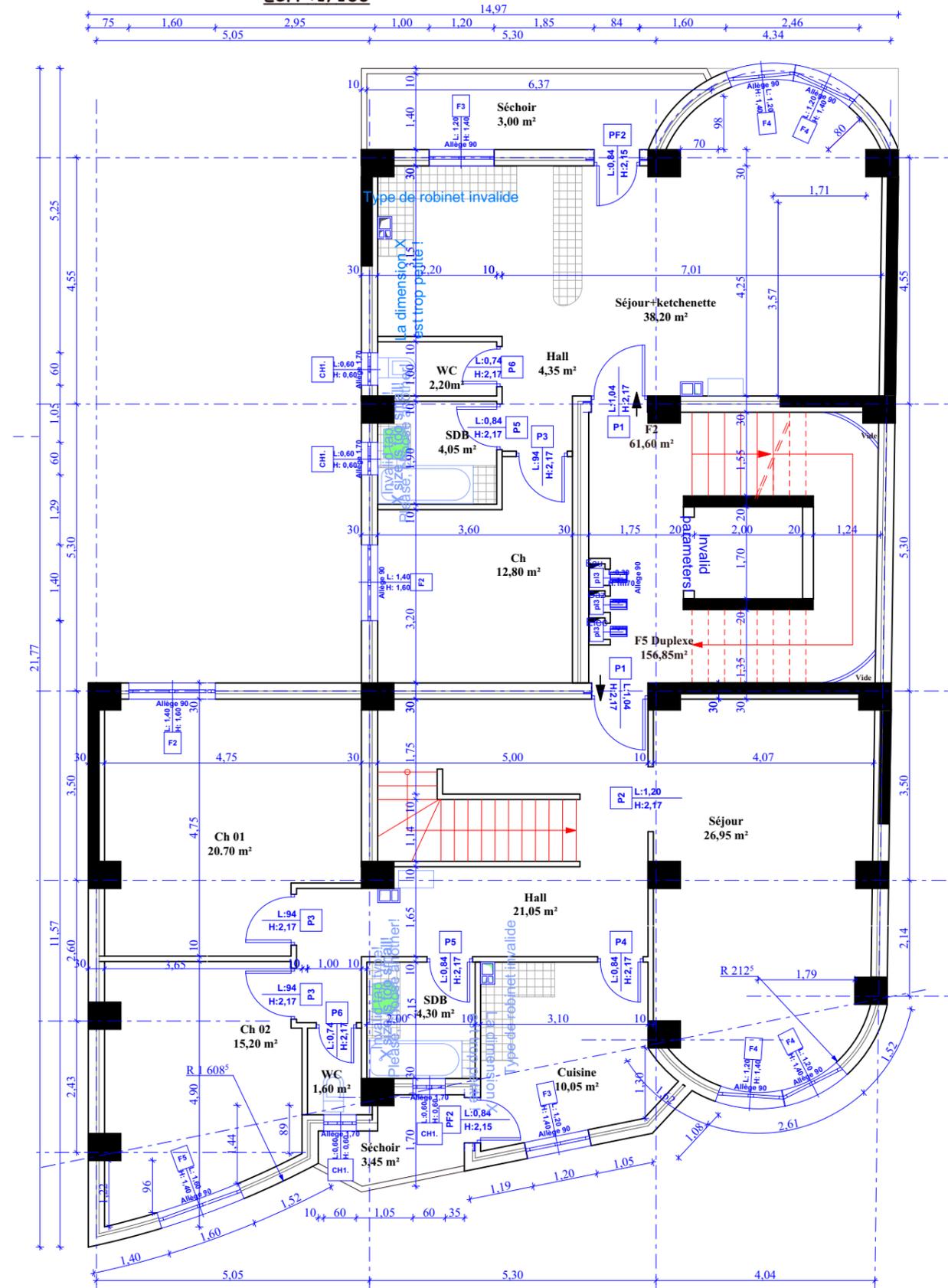
# Vue En Plan TOITURE

ECH : 1/100



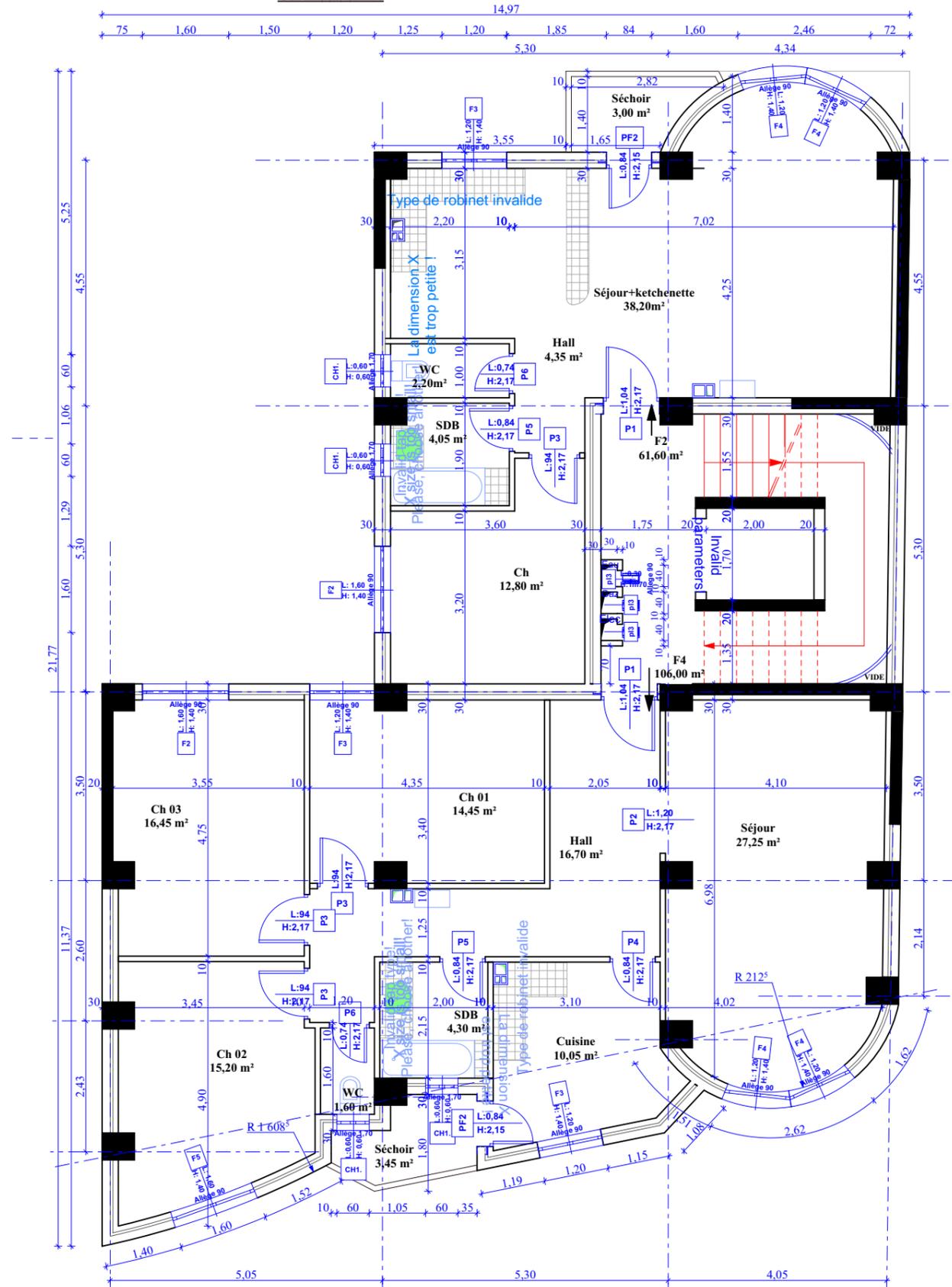
# Vue En Plan ETAGE 01

ECH : 1/100



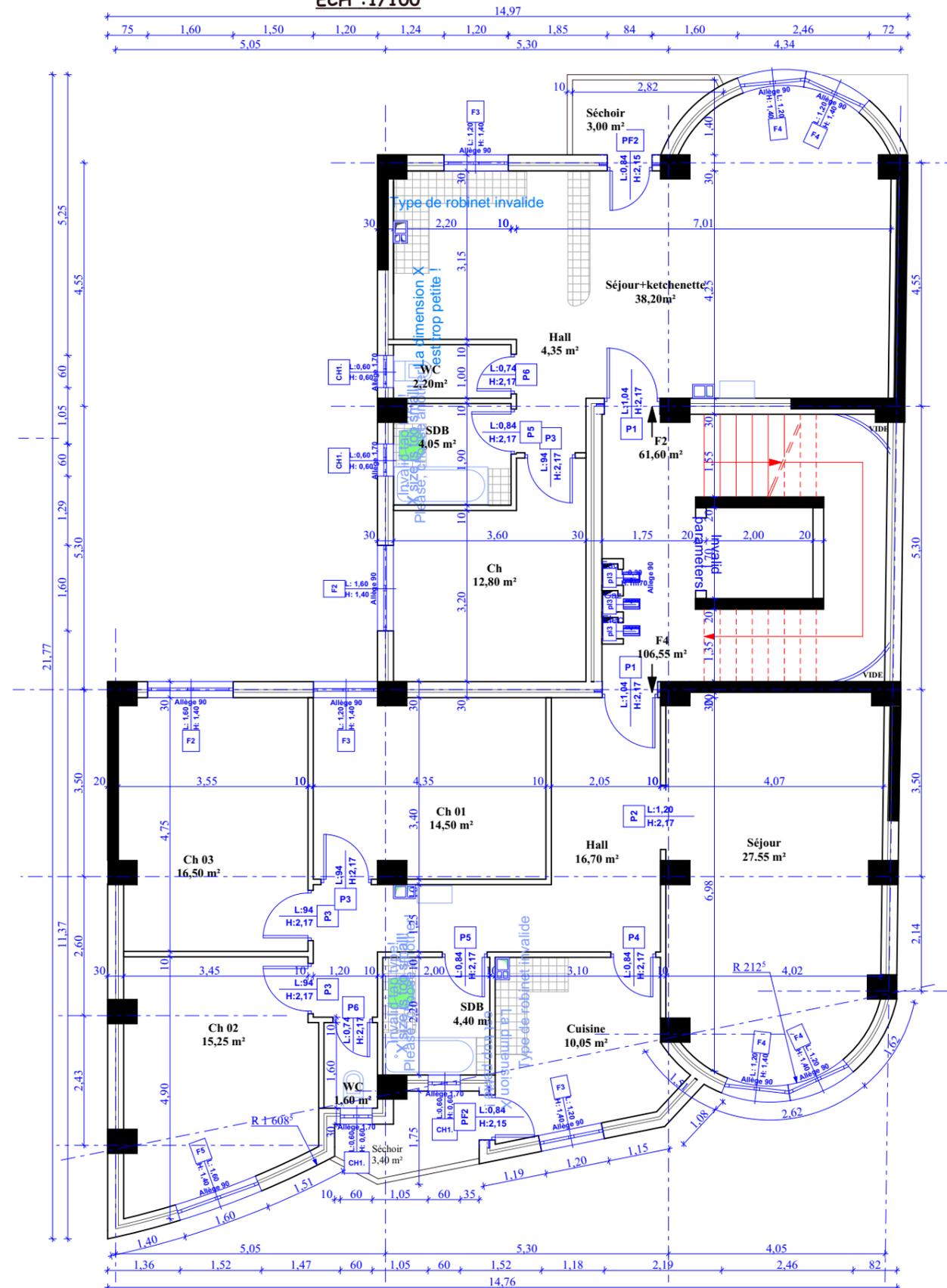
# Vue En Plan ETAGE 02

ECH : 1/100



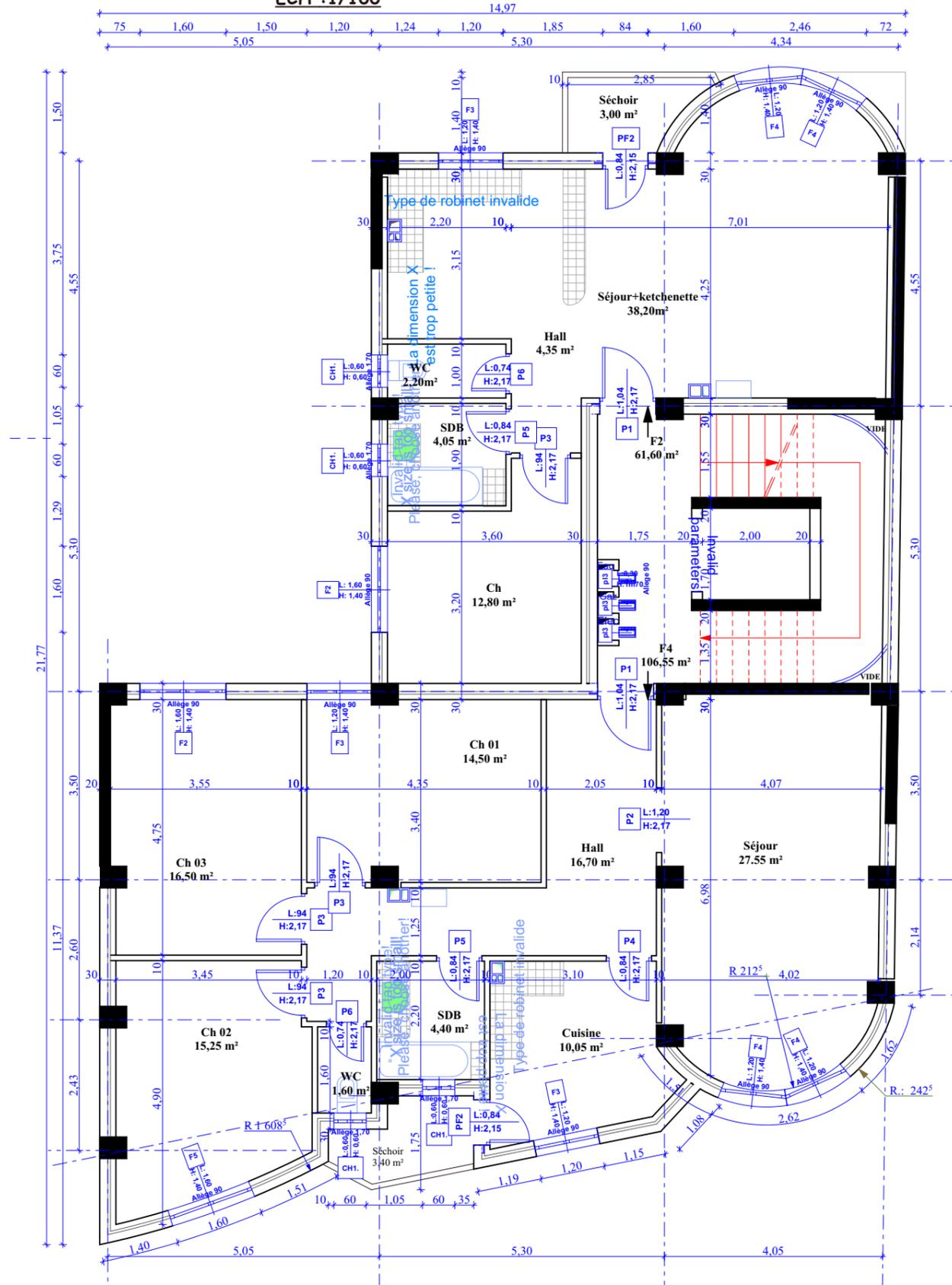
# Vue En Plan ETAGE 03-04

ECH : 1/100



# Vue En Plan ETAGE 05

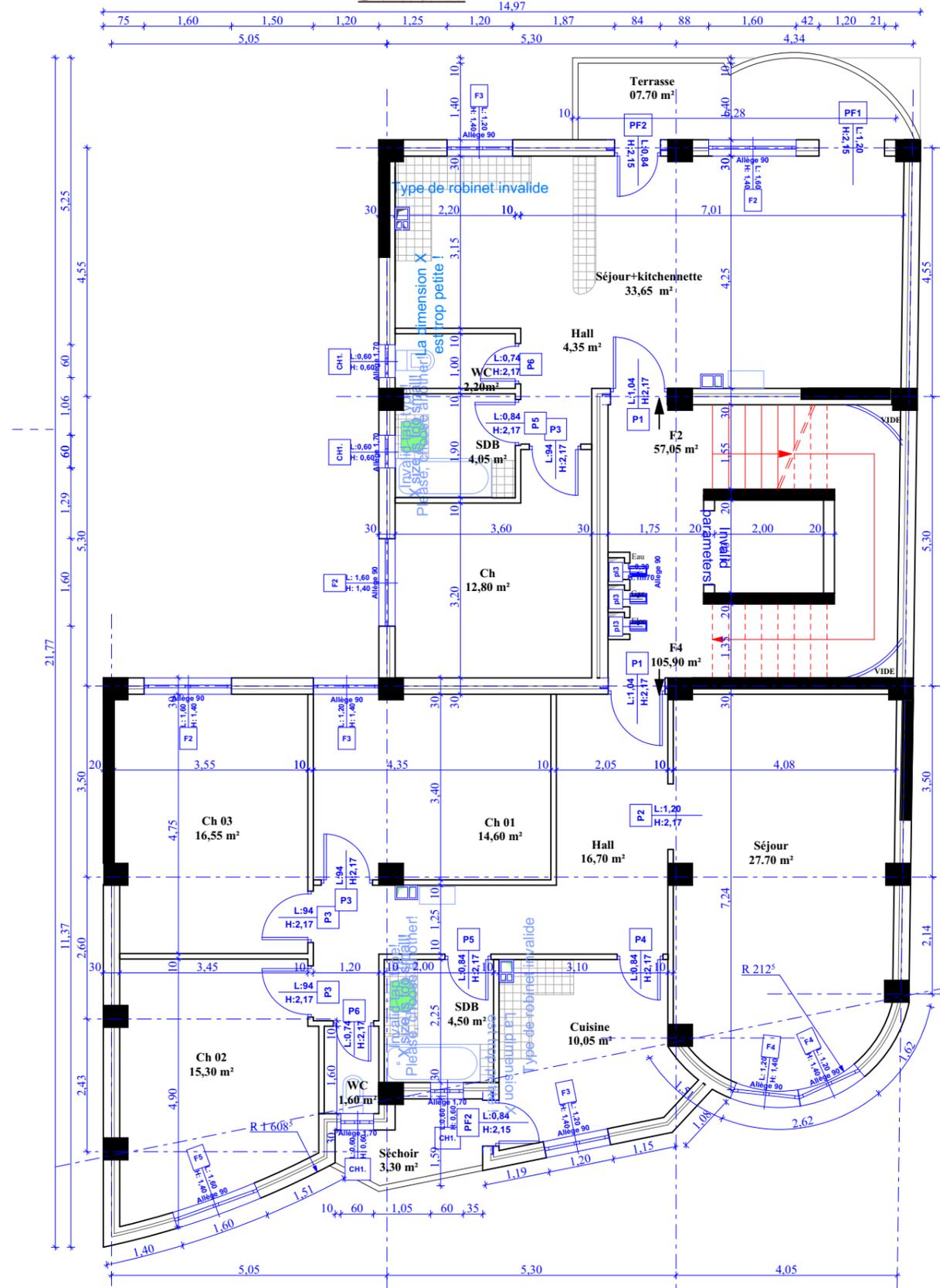
ECH : 1/100





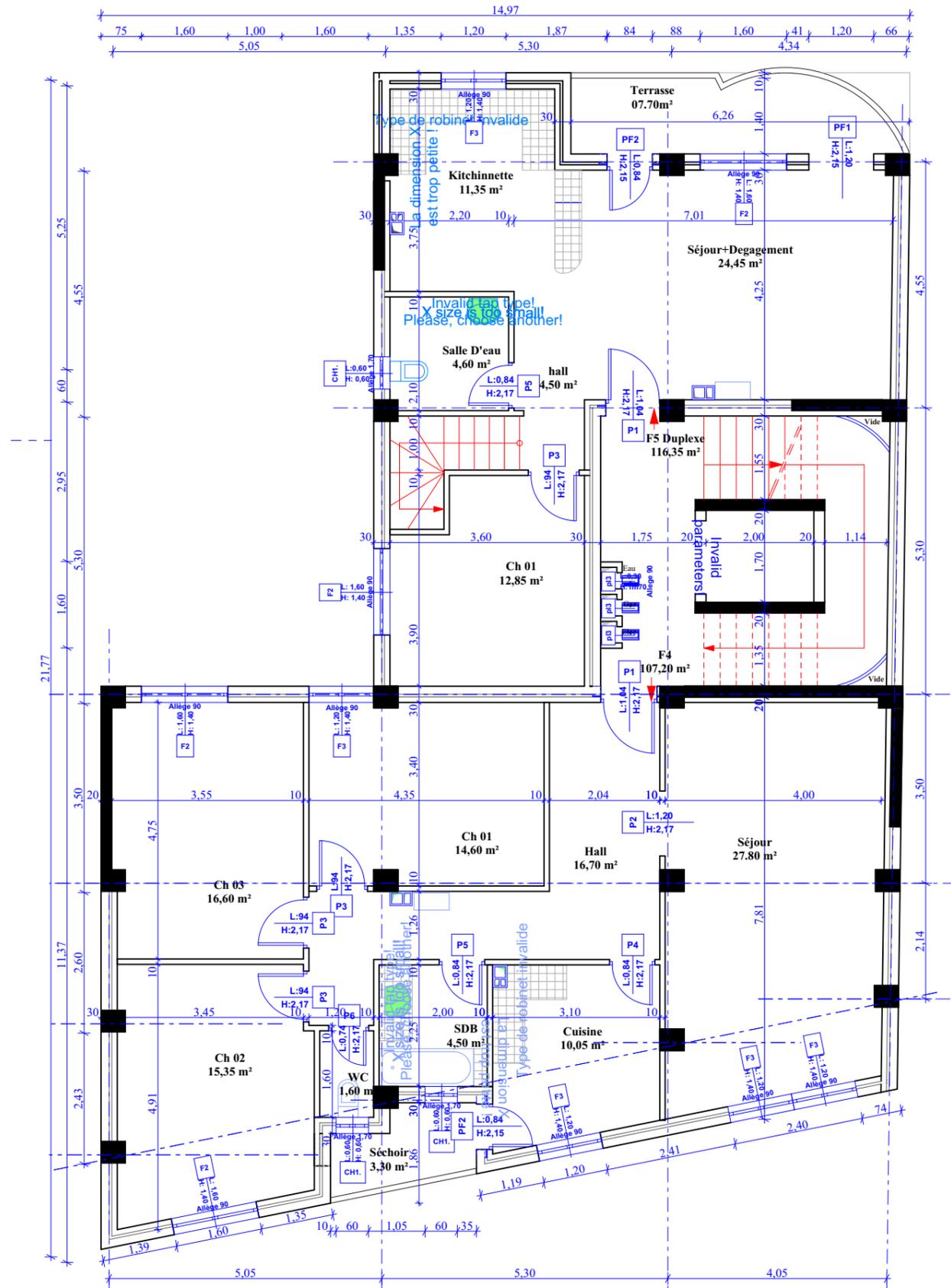
# Vue En Plan ETAGE 07 & 08

ECH :1/100



# Vue En Plan ETAGE 09 1<sup>er</sup> niveau Duplex

ECH : 1/100



# Vue En Plan ETAGE 10<sup>ème</sup> niveau Duplex

ECH : 1/100

