

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الجيلالي بونعامة - خميس مليانة

Université Djilali Bounaama - Khemis Miliana



Faculté des Sciences et Technologies

Département de la Technologie

Spécialité : Génie civil

Option : Structure

Mémoire de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme de *Master*

**Etude d'un bâtiment (R+8+Sous sols) à usage multiple avec la technique de coffrage tunnel**

**Présenté par :**

- Belmecheri sarra
- Kaddour lamis

**Promoteur : Dr Kouider djelloul omar**

Année universitaire 2019/2020

# Remerciements



*Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH** qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer notre très grande gratitude et profond respect à notre promoteur Dr Kouider djelloul omar, pour avoir dirigé ce travail, et pour l'aide précieuse que lui nous apporté, pour tous ses efforts, ses conseils judicieux et pour son attention toute particulière, tout au long de la préparation de ce travail.*

*Nous tenons à remercier les membres jurées pour avoir accepté de faire partie du jury d'examination de notre travail.*

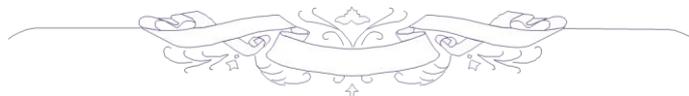
*Nous tenons à remercier Mr khaled, et toute l'équipe de l'entreprise ATLAS ,pour leurs aide précieuse dans la réalisation de ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier notre amie hana, pour leurs aide précieuse dans la réalisation de ce mémoire.*

*Nous remercions de même, tous nos enseignants du département de génie civil, pour tout le savoir que nous avons acquis grâce à eux durant notre formation.*

*Nous tenons à remercier nos parents qui ont été plus que des pères, ils étaient des amis et des frères et toute notre famille*

*Nombreuses sont les personnes qui nous ont apporté de l'aide et leurs soutien, nous tenons à leurs présenter nos remerciements les plus sincères.*



# Dédicace

*Je tiens à dédier ce modeste travail :*

- ◆ *A mon père que Dieu le protège en son vaste paradis. qui n'a jamais cessé de croire en moi et me soutenir moralement et matériellement et pour tous les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et mon bien-être.*
- ◆ *A ma mère que dieu la protège pour moi sans elle je ne suis rien*
- ◆ *A ma sœur Khadîdja et mon frère abdelhak à qui je souhaite le meilleur.*
- ◆ *A mes grands parents, mes tantes et oncles maternels et paternels.*
- ◆ *A mon amie hana qu'elle était toujours la pour moi et me soutenir toujours.*

*Sarra*

# Dédicace

Je tiens à dédier ce modeste travail :

- ◆ *A mon père que Dieu le protège en son vaste paradis.*
- ◆ *A ma sœur RYM que Dieu le protège en son vaste paradis. qui n'a jamais cessé de croire en moi et me soutenir.*
- ◆ *A mon frère ILYES que Dieu le protège en son vaste paradis.*
- ◆ *A ma mère que dieu la protège pour moi sans elle je ne suis rien*
- ◆ *A mes frères SAMI et YACINE à qui je souhaite le meilleur.*
- ◆ *A mes belles sœurs HOURIA et HAYAT.*
- ◆ *A mes petites TASNIM, ILYES et WASSOUL qui je l'aime trop.*

*Lamis*

# LISTES DES SYMBOLES

- $A$  : Coefficient d'accélération de zone, Coefficient numérique en fonction de l'angle de frottement.
- $A_s$  : Aire d'une section d'acier.
- $A_t$  : Section d'armatures transversales.
- $B$  : Aire d'une section de béton.
- $\phi$  : Diamètre des armatures, mode propre.
- $\varphi$  : Angle de frottement.
- $C$  : Cohésion.
- $\bar{q}$  : Capacité portante admissible.
- $Q$  : Charge d'exploitation.
- $\sigma_c$  : Contrainte de consolidation.
- $C_c$  : Coefficient de compression.
- $C_s$  : Coefficient de sur consolidation.
- $K_t$  : Facteur de terrain.
- $Z_0$  : Paramètre de rugosité.
- $Z_{min}$  : Hauteur minimale.
- $C_r$  : Coefficient de rugosité.
- $C_t$  : Coefficient de topographie.
- $C_d$  : Coefficient dynamique.
- $C_e$  : Coefficient d'exposition.
- $C_{pe}$  : Coefficient de pression extérieure.
- $C_{pi}$  : Coefficient de pression intérieure.
- $C_p$  : Coefficient de pression nette.
- $q_j$  : Pression dû au vent.
- $F_{fr}$  : Force de frottement.
- $R$  : Force résultante.
- $\gamma_s$  : Coefficient de sécurité dans l'acier.

- $\gamma_b$  : Coefficient de sécurité dans le béton.
- $\sigma_s$  : Contrainte de traction de l'acier.
- $\sigma_{bc}$  : Contrainte de compression du béton.
- $\bar{\sigma}_s$  : Contrainte de traction admissible de l'acier.
- $\bar{\sigma}_{bc}$  : Contrainte de compression admissible du béton.
- $\tau_u$  : Contrainte ultime de cisaillement.
- $\tau$  : Contrainte tangentielle.
- $\beta$  : Coefficient de pondération.
- $\sigma_{sol}$  : Contrainte du sol.
- $\sigma_m$  : Contrainte moyenne.
- $G$  : Charge permanente.
- $\xi$  : Déformation relative.
- $V_0$  : Effort tranchant a la base.
- $E.L.U$  : Etat limite ultime.
- $E.L.S$  : Etat limite service.
- $N_{ser}$  : Effort normal pondéré aux états limites de service.
- $N_u$  : Effort normal pondéré aux états limites ultime.
- $T_u$  : Effort tranchant ultime.
- $T$  : Effort tranchant, Période.
- $S_t$  : Espacement.
- $\lambda$  : Elancement.
- $e$  : Epaisseur, Indice des vides.
- $N_q, N_\gamma, N_c$  : Facteurs de portance.
- $F$  : Force concentrée.
- $f$  : Flèche.
- $\bar{f}$  : Flèche admissible.
- $D$  : Fiche d'ancrage.
- $L$  : Longueur ou portée.
- $L_f$  : Longueur de flambement.
- $I_p$  : Indice de plasticité.
- $I_c$  : Indice de consistance.

- $W$  : Teneur en eau, Poids total de la structure.
- $S_r$  : Degré de saturation.
- $\gamma_d$  : Poids volumique sèche.
- $\gamma_h$  : Poids volumique humide.
- $\gamma_{sat}$  : Poids volumique saturé.
- $W_{sat}$  : Teneur en eau saturé.
- $W_L$  : Limite de liquidité.
- $W_p$  : Limite de plasticité.
- $d$  : Hauteur utile.
- $F_e$  : Limite d'élasticité de l'acier.
- $M_u$  : Moment à l'état limite ultime.
- $M_{ser}$  : Moment à l'état limite de service.
- $M_t$  : Moment en travée.
- $M_a$  : Moment sur appuis.
- $M_0$  : Moment en travée d'une poutre reposant sur deux appuis libres, Moment a la base.
- $I$  : Moment d'inertie.
- $f_i$  : Flèche due aux charges instantanées.
- $f_v$  : Flèche due aux charges de longue durée.
- $I_{fi}$  : Moment d'inertie fictif pour les déformations instantanées.
- $I_{fv}$  : Moment d'inertie fictif pour les déformations différées.
- $M$  : Moment, Masse.
- $E_{ij}$  : Module d'élasticité instantané.
- $E_{vj}$  : Module d'élasticité différé.
- $E_s$  : Module d'élasticité de l'acier.
- $P$  : Rayon moyen.
- $f_{c28}$  : Résistance caractéristique à la compression du béton à 28 jours d'age.
- $f_{t28}$  : Résistance caractéristique à la traction du béton à 28 jours d'age.
- $F_{cj}$  : Résistance caractéristique à la compression du béton à j jours d'age.
- $\delta$  : Rapport de l'aire d'acier à l'aire de béton.
- $Y$  : Position de l'axe neutre.
- $I_0$  : Moment d'inertie de la section totale homogène

## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| Figure I-1 : Les coffrages verticaux                | 26 |
| Figure I-2 : les coffrages horizontaux              | 27 |
| Figure I-3 : Bâtiment en coffrage tunnel            | 28 |
| Figure I-4 : Talonnettes                            | 29 |
| Figure I-5 : Disposition des armatures              | 30 |
| Figure I-6 : La mise en place des demi-coquilles    | 31 |
| Figure I-7 : Chambre de coffrage                    | 32 |
| Figure I-8 : Solidarisation des deux demi coquilles | 32 |
| Figure I-9 : Mise en place des demi-coquilles       | 33 |
| Figure I-10 : Mise en place des banches pignon      | 34 |
| Figure I-11 : Le décoffrage                         | 34 |
| Figure I-12 : Demi-coquille                         | 35 |
| Figure I-13 : Passerelle de décoffrage              | 36 |
| Figure I-14 : Les banches                           | 37 |
| Figure I-15 : Les Cônes d'entretoise                | 37 |
| Figure I-16 : Les écarteurs de coffrage             | 38 |
| Figure I-17 : Les talonnettes de banches            | 38 |
| Figure I-18 : Les sabots de coffrage                | 39 |
| Figure I-19 : Les tiges de coffrage                 | 39 |

|   |    |
|---|----|
| Figure I-20 : Les aimants de mannequin  | 40 |
| Figure I-21 : Les écarteurs de nappes   | 40 |
| Figure I-22 : Un échafaudage  | 41 |
| Figure I-23 : Installation clés   | 45 |
| Figure I-24 : La grue   | 45 |
| Figure I-25 : Centrale a béton  | 46 |
| Figure I-26 : Locaux  | 46 |
| Figure I-27 : Les plans de génie civil  | 47 |
| Figure I-28 : Salle de réunion  | 47 |
| Figure I-29 : Aires de stockage   | 48 |
| Figure I-30 : Transfère de l'eau vers le haut   | 48 |
| Figure I-31 : Manitou a chariot élévateur   | 51 |
| Figure I-32 : Transports et déchargement de béton jusqu'à 28 mètres en malaxeur-<br>pompe | 52 |
| Figure I-33 : La pelle mécanique  | 52 |
| Figure I-34 : Machine a projeter ciment   | 53 |
| Figure I-35 : Poste de ferrailage avec cisaille   | 53 |
| Figure I-36 : Stockage brique   | 54 |
| Figure I-37 : Les armatures d'acier   | 54 |
| Figure I-38 : Sable + matériaux de finition intérieure                                    | 55 |
| Figure II -1 : Schéma du plancher   | 57 |

|   |    |
|---|----|
| Figure II-2 : Ascenseur   | 58 |
| Figure II-3 : Schéma De L'acrotère                                      | 59 |
| Figure II-4 : Digramme contraintes– déformations de l'acier à l'ELU     | 62 |
| Figure II-5 : Digramme contraintes– déformations de l'acier à l'ELS     | 63 |
| Figure II-6 : Digramme des contraintes– déformations de l'acier à l'ELU | 64 |
|   |    |
| Figure. III-1 : Acrotère  | 66 |
| Figure III-2 : diagrammes des efforts l'ELU                             | 67 |
| Figure III-3 : Ferrailage de l'acrotère                                 | 67 |
| Figure III-4 : Schéma de ferrailage de l'acrotère                       | 71 |
| Figure III-5 : Cage d'escalier  | 73 |
| Figure III-6 : Dimensionnement d'escalier                               | 73 |
| Figure III-7 : Schéma statique d'escalier à E.L.U                       | 76 |
| Figure III-8 : Diagramme des moments et des efforts tranchants à E.L.U  | 77 |
| Figure III-9 : Schéma statique d'escalier à E.L.S                       | 78 |
| Figure III-10 : Diagramme des moments et des efforts tranchants à E.L.S | 79 |
| Figure III-11 : Schéma de position des armatures longitudinales         | 80 |
| Figure III-12 : schéma de ferrailage d'escalier                         | 88 |
|   |    |
| Figure IV-1 : schéma d'un panneau de dalle                              | 90 |
| Figure IV-2 : Dalle sur 4 appuis  | 96 |
| Figure IV-3 : Dalle sur 2 appuis  | 98 |

|   |     |
|---|-----|
| Figure IV-4 : schéma de ferrailage de dalles étage service                | 102 |
| Figure V-1-Méthodologie de calcul par la MMS.                             | 108 |
| Figure V-1 : les étapes du calcul sismique                                | 110 |
| Figure V-1 : modèle de la structure.                                      | 117 |
| Figure V-2 : la dispositions des voiles du modèle                         | 118 |
| Figure VI-1 : le volume des contraintes de zone comprimée.                | 124 |
| Figure VI-2 : le volume des contraintes de traction.                      | 125 |
| Figure VI-4 : diagramme de contrainte sous la combinaison $0.8G\pm E$     | 127 |
| Figure VI-5 : diagramme de contrainte de compression (G+Q+E).             | 128 |
| Figure VII-1 : Vue illustrant les dimensions du panneau le plus sollicité | 153 |
| Figure VII-2 : Schéma de ferrailage de voile périphérique.                | 157 |

### **Liste des tableaux**

|  |    |
|--|----|
| Tableau II-1 : Proportions optimales des granulats                         | 60 |
| Tableau IV.1 : Les charges permanentes du plancher terrasse (inaccessible) | 91 |
| Tableau IV.2 : Les charges permanentes du plancher étage courant           | 91 |
| Tableau IV.3 : Les charges permanentes du plancher RDC                     | 92 |
| Tableau IV-4 : Les charges permanentes du plancher Sous sol                | 92 |

|  |     |
|--|-----|
| Tableau IV-5 : Ferrailage de la dalle pleine sur 4 appuis                      | 98  |
| Tableau IV-6 : Ferrailage de la dalle pleine sur 2 appuis                      | 99  |
| Tableau V-1 : Valeurs des pénalités  | 112 |
| Tableau. V-2 : Période et facteurs de participation massique du modèle initial | 115 |
| Tableau V.3 : Vérification inter étages du modèle final                        | 121 |
| Tableau VI-1 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.1                          | 131 |
| Tableau VI-2 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.2                          | 132 |
| Tableau VI-3 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.3                          | 133 |
| Tableau VI-4 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.4                          | 134 |
| Tableau VI-5 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.5                          | 135 |
| Tableau VI-6 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.6                          | 136 |
| Tableau VI-7 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.7                          | 137 |
| Tableau VI-8 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.8                          | 138 |
| Tableau VI-9 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.A                          | 139 |
| Tableau VI-10 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.L.1                         | 140 |
| Tableau VI-11 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.L.2                         | 141 |
| Tableau VI-12 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.L.A                         | 142 |
| Tableau VII.1: Sections des semelles filantes                                  | 145 |
| Tableau VII-2 : Vérification de la stabilité du radier                         | 149 |
| Tableau VII-3 : Vérification de poinçonnement                                  | 150 |

|  |     |
|--|-----|
| Tableau VII-4 : Le panneau le plus sollicité         | 151 |
| Tableau VII-5 : les moments                          | 151 |
| Tableau VII-6 : Ferrailage du voile périphérique     | 155 |
| Tableau VII-7 : Vérification des contraintes à l'ELS | 156 |

# Sommaire

Introduction générale

## **Chapitre I : la technique de coffrage tunnel et l'organisation de chantier**

|   |    |
|---|----|
| I-1 Introduction                                  | 25 |
| I-2 Le coffrage                                   | 25 |
| I-2-1 Les différents types de coffrage            | 26 |
| a) Le coffrage vertical                           | 26 |
| b) Le coffrage horizontal                         | 26 |
| c) coffrages spéciaux                             | 27 |
| I-3 C'est quoi un coffrage tunnel?                | 28 |
| I-3-1 Etapes d'exécutions                         | 29 |
| I-3-2 Les accessoires de coffrages tunnel         | 35 |
| I-3-3 Pourquoi le système de coffrage de tunnel ? | 42 |
| I-3-4. Inconvénients                              | 44 |
| I-4 Organisation de chantier                      | 44 |
| A)-Le plan d'installation                         | 44 |
| B)-Objectifs du plan d'installation               | 44 |
| C)-Matériaux et matériel utilisés                 | 49 |

|                              |    |
|------------------------------|----|
| D)-Stockage des constituants | 50 |
| E)- Le Stockage du ciment    | 50 |
| F)-Le Stockage des granulats | 50 |
| G)-Le Stockage de l'eau      | 50 |
| H)-Le stockage des adjuvants | 51 |

## **Chapitre II : Présentation de l'ouvrage**

|   |    |
|---|----|
| II.1. Introduction                            | 56 |
| II.2.Présentation De l'ouvrage                | 56 |
| a) Dimension du bâtiment                      | 56 |
| II.3. Classification du bâtiment              | 56 |
| a) Classification selon les zones sismiques   | 56 |
| b) Classification selon leur importance       | 57 |
| c) Classification des sites                   | 57 |
| II.4. Conception de la structure              | 57 |
| 1. Revêtement                                 | 57 |
| 2. Le plancher                                | 57 |
| 3. Escalier                                   | 58 |
| 4. Ascenseur                                  | 58 |
| 5. L'acrotère                                 | 58 |
| 6. Maçonnerie                                 | 59 |
| II.5.Caractéristiques mécanique des matériaux | 59 |

|  |    |
|--|----|
| II.5.1.Béton                               | 59 |
| A. Composition du béton                    | 59 |
| B. Résistance du béton                     | 60 |
| C. Module de déformation longitudinale     | 61 |
| D. Coefficient de poisson                  | 61 |
| E. Poids volumique                         | 62 |
| F. Les contraintes limites de calcul       | 62 |
| II.5.2 Aciers                              | 63 |
| II.5.2.1 Les limites élastiques            | 63 |
| II.5.2.2 Module d'élasticité des aciers    | 63 |
| II.5.2.3 Les contraintes limites de calcul | 64 |
| II.6. Hypothèses de calcul                 | 65 |

### **Chapitre III : Calcul des éléments secondaires**

|  |    |
|--|----|
| III-1 L'acrotère                               | 66 |
| III.1.1 L'action des forces horizontales $Q_h$ | 66 |
| III.1.2 Calcul des efforts                     | 67 |
| III.1.3 Ferrailage de l'acrotère               | 67 |
| III.1.4 Verifications necessaries a E.L.U      | 69 |
| III.1.5 Vérification a L'E.L.S                 | 69 |
| III.1.6 Vérifications de l'effort tranchant    | 71 |

|  |    |
|--|----|
| III-2- Escaliers   | 72 |
| III-2-1 Définition                                       | 72 |
| III-2-2 Terminologie                                     | 72 |
| 1. Dimensionnement d'escalier                            | 73 |
| 2. La longueur de l'escalier                             | 74 |
| III.2. 3.Evaluation des charges et surcharges            | 74 |
| A. Charges permanentes                                   | 75 |
| B. Charge permanente                                     | 75 |
| III-2-4-Combinaisons des charges                         | 75 |
| III.2.5.Ferraillage a l'état limite ultime de résistance | 80 |
| III.2.5.1. Les moments                                   | 80 |
| A. Vérifications nécessaires a E. L. U                   | 81 |
| B. Vérifications nécessaires a E. L.S                    | 82 |
| III-2-6 Ferraillage de la poutre palière                 | 86 |

## **Chapitre IV : Etude de plancher**

|   |    |
|---|----|
| IV- 1- Introduction   | 89 |
| IV-2 Predimensionnement de plancher                         | 89 |
| IV-2-1 Plancher en dalle pleine                             | 89 |
| IV-2-1-1 Epaisseur des dalles « $h_d$ »                     | 89 |
| IV-2-1-2 Calcul des moments dus au poids propre de la dalle | 90 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| IV-2-2   | Descente de charges   | 91 |
| IV-2-2-1 | Les charges permanentes   | 91 |
| IV-2-2-2 | Les charges d'exploitations                                     | 92 |
| IV-2-3   | La combinaison d'action   | 93 |
| 1)       | Planchers terrasse (inaccessible)                               | 93 |
| 2)       | Planchers étage courant   | 93 |
| 3)       | Planchers étage courant   | 93 |
| 4)       | Plancher sous sol   | 93 |
| IV-3     | Plancher dalle pleine   | 94 |
| IV-3-1   | Principe de calcul  | 94 |
| IV-3-2   | Hypothèses de calcul  | 94 |
| IV-3-2-1 | Dalle portant dans un seul sens                                 | 94 |
| IV-3-2-2 | Dalle portant dans deux directions                              | 95 |
| IV-3-    | Calcul des dalles   | 96 |
| IV-3-3-1 | Dalle travaille dans les deux sens                              | 96 |
| A.       | Calcul des moments de RDC                                       | 97 |
| B.       | Ferraillage de la dalle de 4 appuis                             | 98 |
| IV-3-3-2 | Dalle travaille dans un seul sens                               | 98 |
| A.       | Calcul des moments de RDC                                       | 99 |
| IV-3-4   | Les conclusion de ferraillage                                   | 99 |
| A.       | Conclusion sur le ferraillage de la dalle plancher RDC Commerce | 99 |

|   |     |
|---|-----|
| B. Conclusion sur le ferrailage de la dalle plancher étage Service  | 100 |
| C. Conclusion sur le ferrailage de la dalle plancher étage courante | 100 |
| D. Conclusion sur le ferrailage de la dalle plancher terrasse       | 101 |

## **CHAPITRE V : Etude dynamique**

|  |            |
|--|------------|
| V-1 Introduction   | <b>103</b> |
| V-2 Etude de la structure en VLNA                                | <b>103</b> |
| V-2 -1 Principe de la modélisation                               | 103        |
| V-2-2 Caractéristique Dynamiques Propres                         | 103        |
| V-3 Modélisation de la structure                                 | 105        |
| V-3-1 Modélisation de la rigidité                                | 106        |
| V-3-2 Modélisation de la masse                                   | 106        |
| V-3-3 Caractéristiques géométriques et massiques de la structure | 107        |
| V-4 Étude sismique   | 108        |
| V-4-1 Introduction   | 108        |
| V-4-2 Stratégie du calcul sismique                               | 109        |
| V-4-3 Choix de la méthode de calcul                              | 110        |
| V-4-4 Spectre de réponse   | 111        |
| V-5 Résultante des forces sismiques de calcul                    | 113        |

|   |     |
|---|-----|
| V-6 Résultats de l'analyse dynamique du modèle        | 115 |
| V-6-1 Vérification des déplacements inter -étage      | 118 |
| V-7 Justification vis a vis de l'effet (P- $\Delta$ ) | 119 |
| Conclusions   | 121 |

## **CHAPITRE VI : ferrailage des voiles**

|                                      |     |
|--------------------------------------|-----|
| VI-1 Introduction                    | 122 |
| VI-2 Sections Minimales Et Maximales | 122 |
| VI-3 Ferrailage des voiles           | 123 |
| VI-3-1 Voile pleine                  | 123 |
| VI-3-1-1 Principe de calcul          | 123 |
| VI-3-1-2 Exemple de calcul           | 126 |

## **Chapitre VII : Etude de fondation**

|   |     |
|---|-----|
| VII-1 Introduction                              | 143 |
| VII-2 Fonctions assurées par les fondations     | 143 |
| VII-3 Classification des fondations             | 143 |
| VII-4 Critères du choix du système de fondation | 144 |
| VII-5 Semelles filantes                         | 144 |
| VII-6 Radier général                            | 145 |
| VII-6-1 Introduction                            | 145 |
| A) Pré-dimensionnement du radier                | 146 |

|  |     |
|--|-----|
| B) Vérification des contraintes                  | 148 |
| C) vérification de la contrainte de cisaillement | 146 |
| D) Vérification de l'effort de sous pression     | 146 |
| E) Vérification de la stabilité du radier        | 146 |
| F) Calcul du ferrailage du radier                | 150 |
| VII-7 Etude de voile périphérique                | 152 |
| VII-7-1 Introduction                             | 152 |
| VII-7-2 Pré-dimensionnement                      | 152 |
| VII-7-3 Évaluation des charges                   | 152 |
| VII-7-4 Effort dans la dalle                     | 154 |
| VII-7-5 Calcul du ferrailage                     | 155 |
| VII-7-6 Condition de non fragilité               | 155 |
| VII-7-7 Vérification de l'effort tranchant       | 156 |
| VII-7-8 Vérification à l'ELS                     | 156 |
| a. Evaluation des sollicitations à l'ELS         | 156 |
| b. Vérification des contraintes                  | 156 |
| c. Vérification de la flèche                     | 157 |
| Conclusion général                               |     |
| Références bibliographiques                      |     |

## **الملخص**

يهدف هذا العمل الى دراسة عمارة مكونة من طابق تحت أرضي، طابق أرضي زائد ثمانية طوابق ذات استعمال سكني و تجاري باستخدام تقنية صب الخرسانة. تقع العمارة في بلدية دواودة ولاية تيبازة المصنفة في المنطقة 3 وفق قانون الزلازل الجزائري نسخة 2003. حيث قمنا بحساب تقوية العناصر الهيكلية والثانوية بالإضافة إلى دراسة الأساسات التي هي عبارة عن لبشة. كما تطرقنا إلى استعمال برنامج ETABS للتصميم من أجل الدراسة الديناميكية وحساب الجدران.

## **الكلمات المفتاحية:**

صب الخرسانة, قانون الزلازل الجزائري, تقوية العناصر, الأساسات, اللبشة, ETABS, الدراسة الديناميكية, الجدران.

## **Résumé**

Ce travail vise à étudier un bâtiment composé d'un sous-sol, un rez-de-chaussée et huit étages à usage résidentiel et commercial, on utilisant la « coffrage tunnel » technique. Le bâtiment est implanté à la wilaya de TIPAZA commune de DOUAOUDA classée en Zone III selon le règlement parasismique Algérien version 2003. On a ferrailé les éléments structurels, les éléments secondaires ainsi que les fondations qu'elles sont radier générale. On a également utilisé le logiciel ETABS pour l'étude dynamique et le calcul des voiles.

### **Les mots clés:**

Coffrage tunnel, le règlement parasismique Algérien, le ferrailage, les fondations, le radier, ETABS, l'étude dynamique, voiles.

## **Abstract**

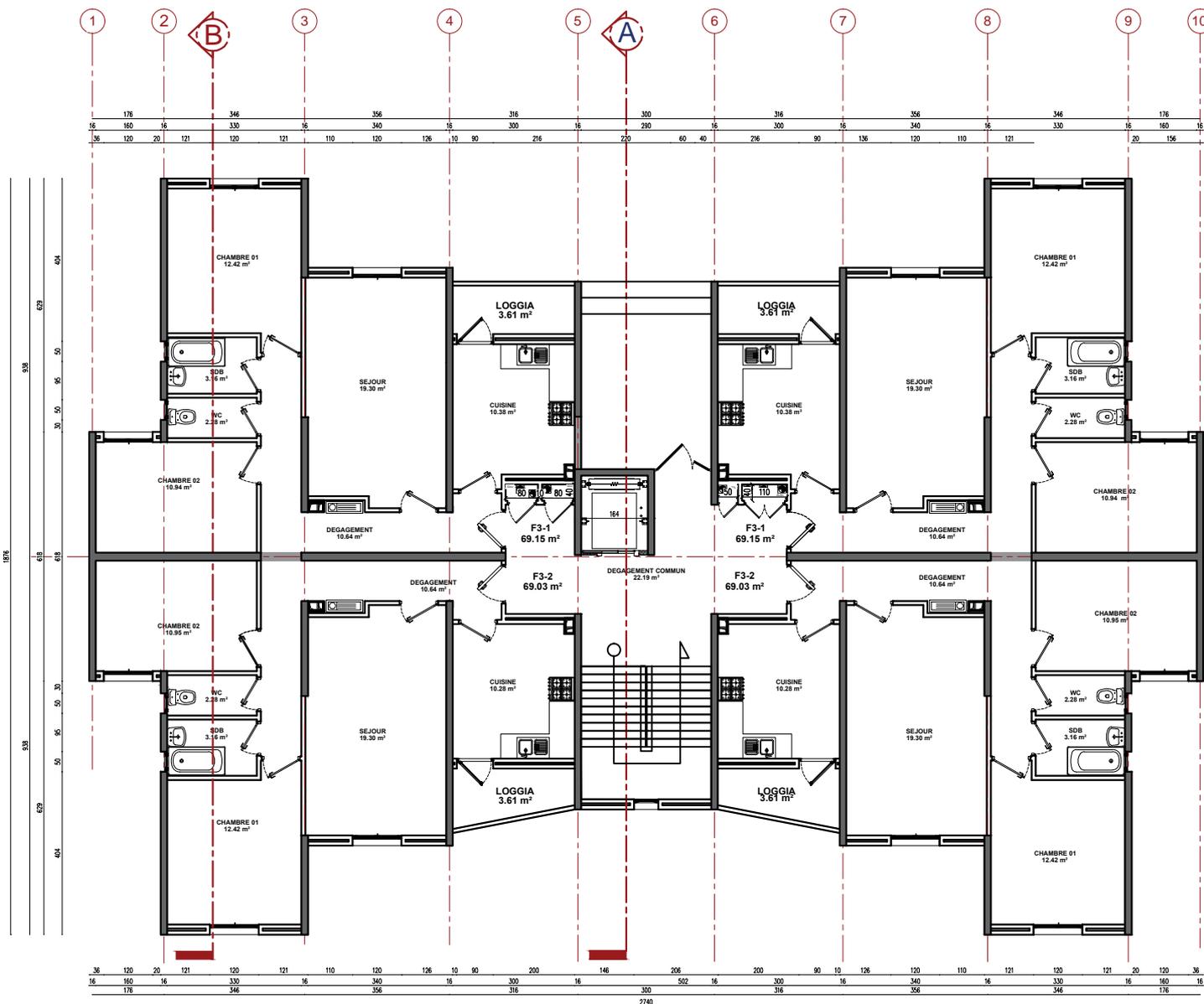
This work aims at studying a building consisting of a basement floor, ground floor plus eight floors for residential and commercial purposes through the use of "tunnel formwork" technique. The building is located in the wilaya of TIPAZA commune of DOUAOUDA classified in Zone III according to the Algerian seismic regulations version 2003. We have calculated the reinforcement of the structural and secondary

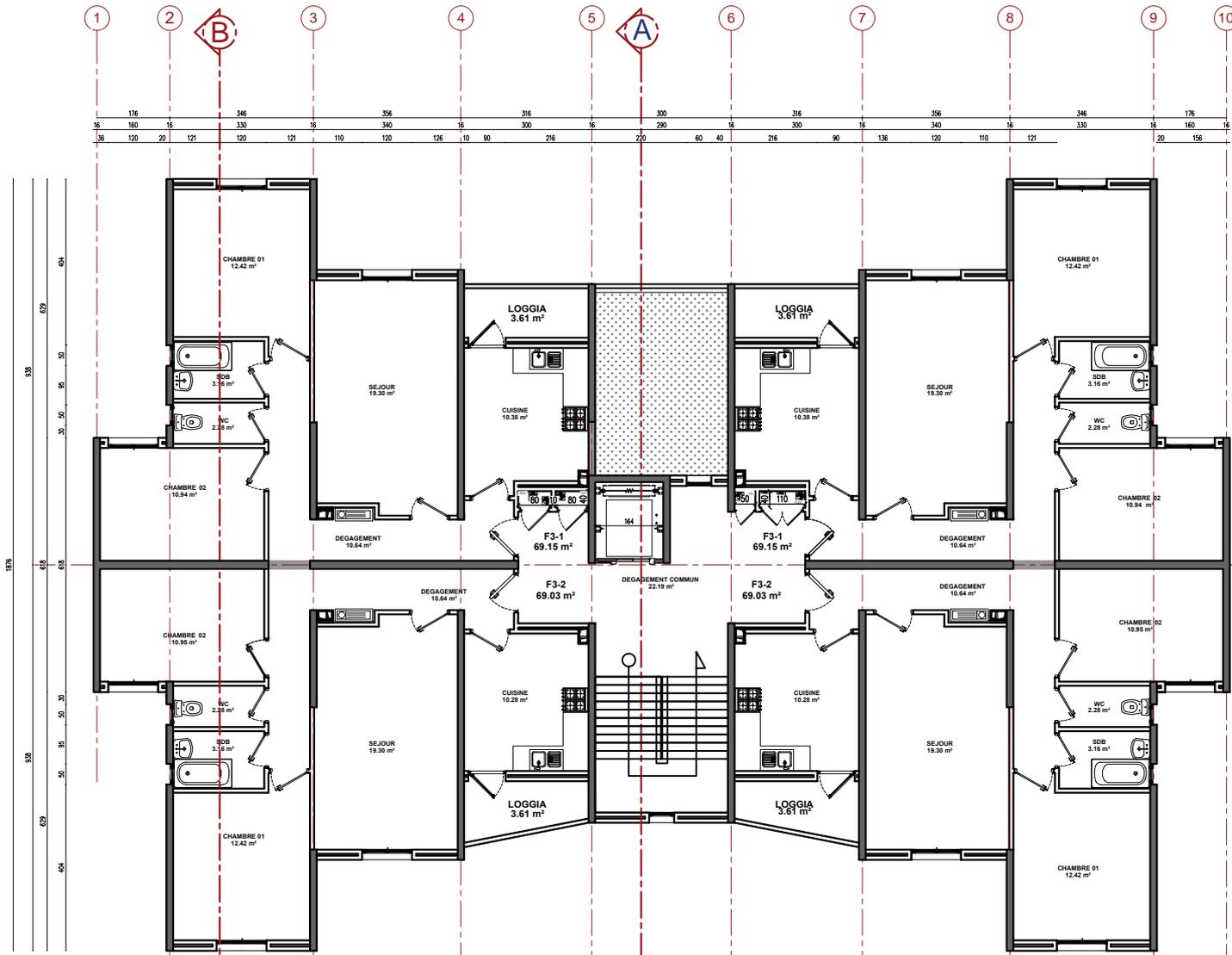
elements and studied the raft foundations as well. We have also used ETABS design program for the dynamic study and calculation of walls.

**Keywords:**

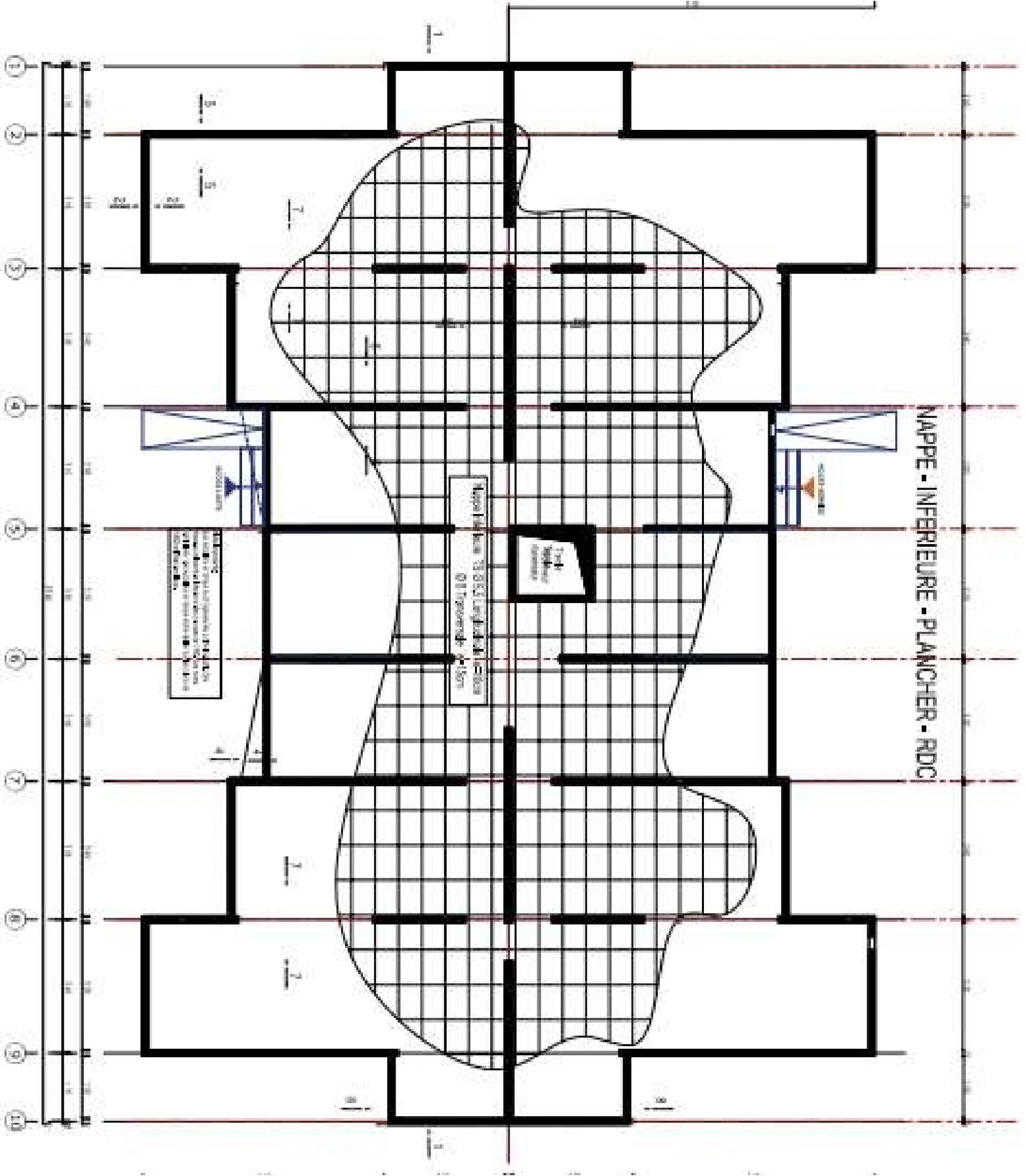
tunnel formwork, Algerian seismic regulations, reinforcement, raft, foundations, ETABS, dynamic study, walls.



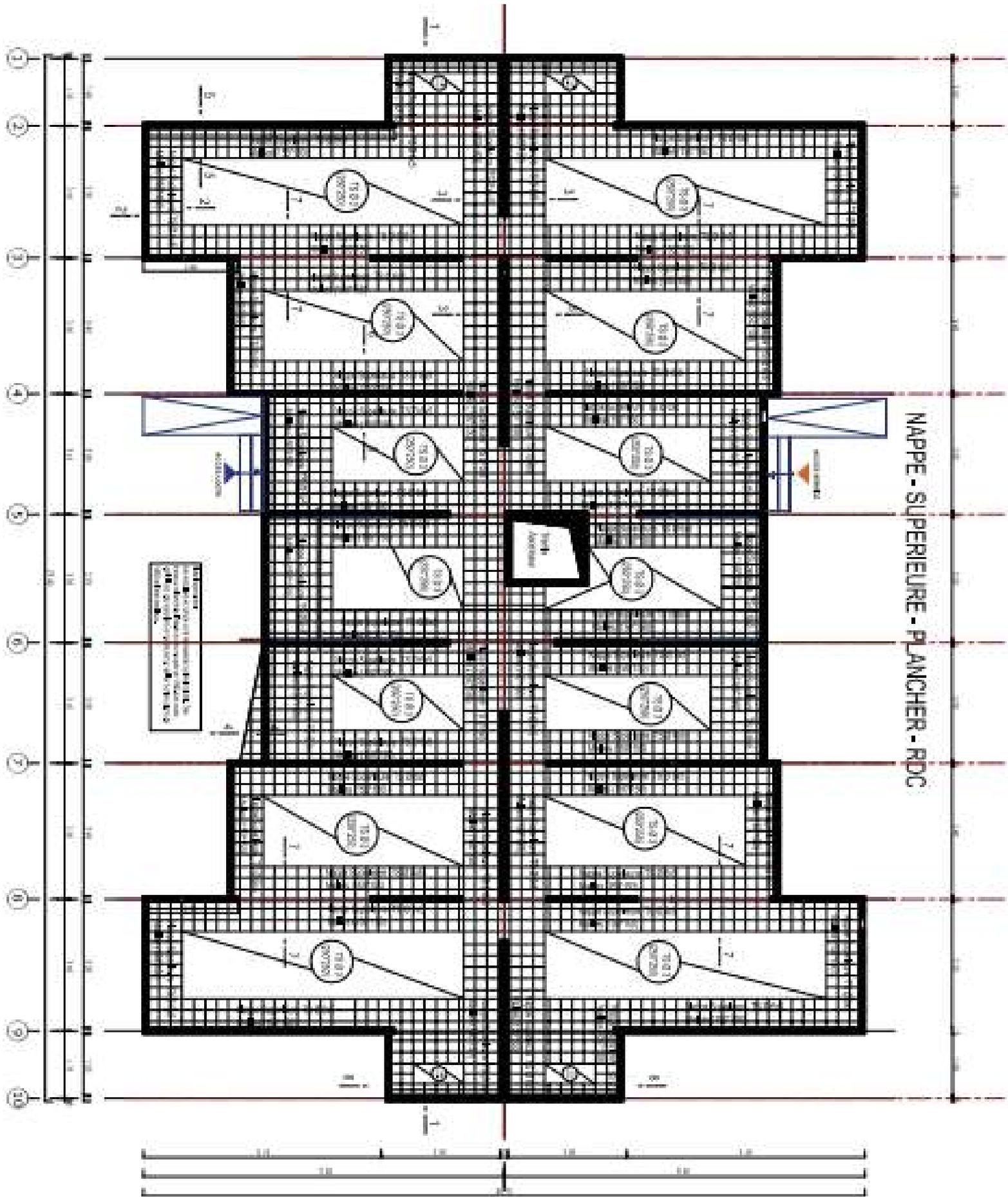




# NAPPE - INFÉRIEURE - PLANCHER - RDC



NAPPE - SUPERIEURE - PLANCHER - RDC



# Introduction général

## Introduction général

La réussite d'un projet de construction repose sur un élément essentiel : des matériaux appropriés. L'évolution humaine et notre niveau de vie ont été influencés par nos choix de matériaux dans la construction de bâtiments.

En fait, la plupart des matériaux utilisés aujourd'hui le sont depuis 400 ans. Le développement des matériels et des matériaux de construction à lui aussi contribué à l'industrialisation de ces techniques.

Après l'apparition du béton il y plus de 100 ans, sa fabrication en grande quantité été devenu facile et rapide sur site grâce à l'emploi des centrales à béton, cela a permis de le mettre en œuvre dans des moules directement sur le chantier de construction.

Parmi les nouvelles techniques utilisées dans la construction, on va traiter la technique de coffrage tunnel qui permet de réaliser des dalles et des voiles dans une même opération sont très utilisées dans les zones sismiques et pour des structures simples et répétitives.

Notre projet est l'étude d'une structure R+8+sous sol réalisé selon la technique «coffrage tunnel », qui sera composé en sept chapitres :

Le premier chapitre parle sur la technique du coffrage tunnel et tout ce qu'est concerne de cette technique ses caractéristiques les matériaux et matériels utilise le domain d'application aussi les avantage et les inconvénients de cette technique.

Le deuxième chapitre consiste a la présentation de notre projet les dimensions et la classification du bâtiment la conception puis les caractéristiques des matériaux utilisé dans la construction.

Le troisième chapitre est consacre a le calcul des éléments non structuraux de la structure (l'acrotère et escalier)

Le quatrième chapitre base sur le calculs des éléments structuraux (plancher et voile).

Le cinquième chapitre c'est la modélisation de la structure par logiciel ETABS pour nous extrayons les caractéristiques dynamiques du bâtiment pour mieux comprendre sont comportement.

Et enfin le sixième chapitre répond au calcul de fondation.

Ce travail se termine par une conclusion qui indique les différents résultats obtenus sur l'étude de bâtiment avec coffrage tunnel.

## CHAPITRE I : La technique de coffrage tunnel et l'organisation de chantier

### *I-1 Introduction*

Le développement des matériels et des matériaux de construction est contribué à l'industrialisation des techniques. Dans ce chapitre on parle d'une nouvelle technique utilisée dans le domaine de construction qui est la technique de coffrage tunnel et tout ce qui concerne cette technique; ainsi on parle sur l'organisation de chantier.

### *I-2 Le coffrage*

Le coffrage est un moule en bois ou en métal qui sert à la mise en œuvre du béton. Il permet de donner la forme voulue au matériau tout en le maintenant durant la phase de séchage. L'intérêt de cette technique est également de donner à l'ouvrage en béton un aspect de surface : brut, lisse, enduit, ou architectonique

Pour être réussi, un coffrage doit répondre à plusieurs critères. Il doit être :

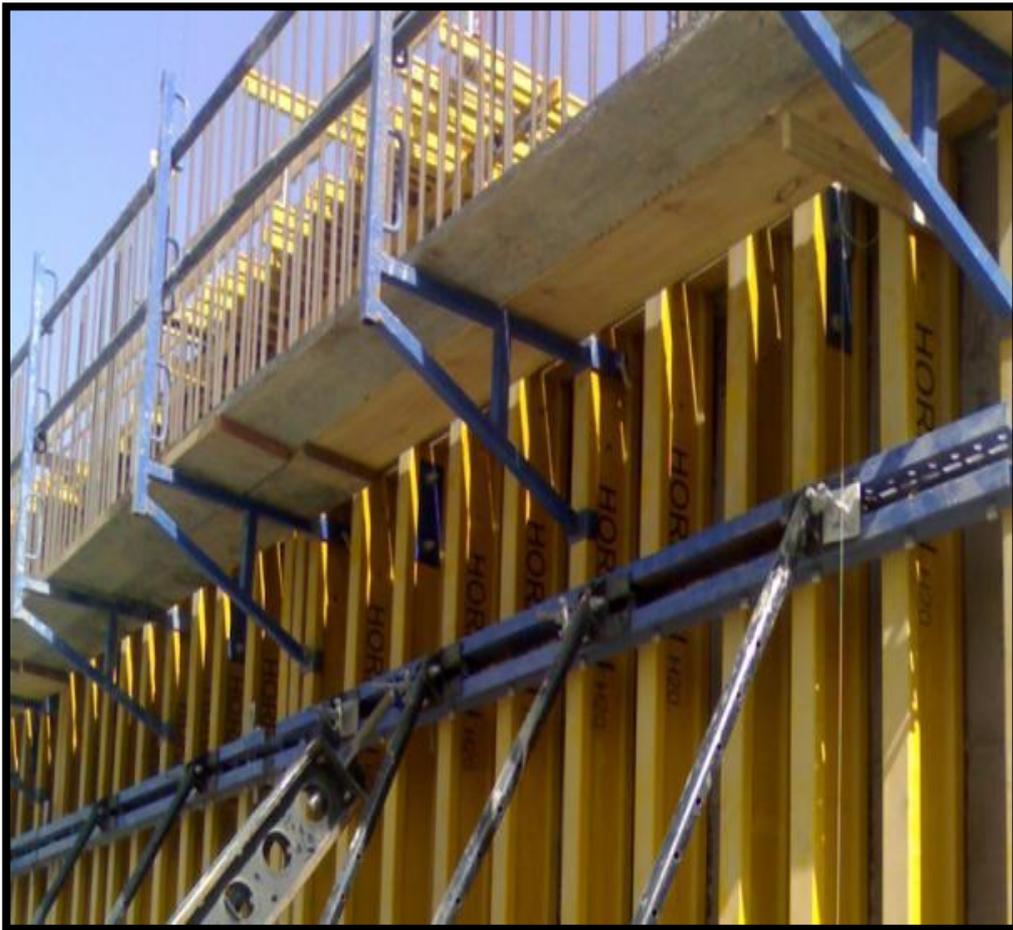
- Étanche : la base, les angles et les panneaux ne doivent pas laisser s'échapper la laitance du béton.
- Stable : la stabilité est primordiale, notamment dans le cadre d'un coffrage vertical de mur banché. On utilise des cales et talonnettes pour s'en assurer. De plus, des écarteurs en acier maintenant la distance entre deux banches de coffrage garantissent une épaisseur identique à tous les niveaux. La banche est un panneau de coffrage constituant le moule provisoire dans lequel on coule le béton (on parle alors de béton banché).
- Robuste : la solidité de la structure est impérative pour supporter la pression du béton lors du coulage et durant le séchage. Un coffrage robuste pourra également être réutilisé.

### ***I-2-1 Les différents types de coffrage***

Dans le domaine de construction il y a plusieurs types de coffrages.

#### ***a) Le coffrage vertical :***

Le coffrage vertical est utilisé lors de l'édification de murs et poteaux. On utilise la plupart du temps une banche de coffrage.



***Figure I-1 : Les coffrages verticaux.***

#### ***b) Le coffrage horizontal :***

Le coffrage horizontal sert principalement à la réalisation de dalles et de poutres. Il repose sur un étaieiment, structure destinée à assurer la solidité de l'ouvrage dans sa phase provisoire.



. *Figure I-2 : les coffrages horizontaux.*

*c) coffrages spéciaux:*

On distingue plusieurs types de coffrage

- **Le coffrage grimant:** Permet de réaliser des ouvrages en hauteur par levées successives. Les coffrages sont déplacés vers le haut au fur et à mesure des coulées de béton.
- **Le coffrage glissant:** Cet outil de coffrage est utilisé pour couler en continu et à faible vitesse une structure en béton. On le rencontre en particulier pour la construction de bâtiments de grande hauteur et de section constante.
- **Le coffrage perdu:** Très courant pour la réalisation d'éléments horizontaux, les coffrages perdus restent en place après le coulage du béton. On désigne également par ces termes les éléments de coffrage non réutilisables, les tubes en carton pour montage de poteaux cylindriques par exemple.
- **Le coffrage tunnel :** Il consiste à couler en une seule fois le béton des murs et les planchers supérieurs d'un ensemble.

### ***I-3 C'est quoi un coffrage tunnel?***

Le système de coffrage tunnel est un système de coffrage en acier où les surfaces face au béton sont fabriquées en tôle et assurant la coulée instantanée du béton rideau et dallage.

De plus, en lien avec ses conditions d'utilisation, le système de coffrage de tunnel est un système où une coulée de béton peut être réalisée chaque jour avec l'élévation au maximum de la sécurité des travailleurs grâce aux systèmes d'échafaudage utilisés et où les coûts de coffrage sont retirés au minimum.

Le système de coffrage de tunnel est utilisé pour la fabrication des bâtiments type foyer, prison, hôpital, logement avec une structure monolithique.

Grâce à ce système, il est possible de verser une couche de béton chaque jour ou tous les 2 jours en fonction de la grandeur de la structure.

Les structures fabriquées avec le système de coffrage de tunnel sont des structures économiques, résistantes contre les séismes, réduisant au minimum les erreurs de fabrication, diminuant intensivement le coût de la main d'œuvre de construction fine.



***Figure I-3 : Bâtiment en coffrage tunnel.***

### ***I-3-1 Etapes d'exécutions***

Afin de mieux comprendre les procédés du coffrage tunnel, nous proposons d'en faire l'analyse étape par étape :

- ***1<sup>ère</sup> étape :***

La mise en œuvre des fondations étant finie, l'installation de coffrage spécial pour couler les amorces de voiles, appelé aussi talonnettes, elles servent de repère pour aligner les demi coquille sur un même niveau.



***Figure I-4 : Talonnettes.***

- ***2<sup>ème</sup> étape :***

Le coulage des talonnettes achevé, commence le ferrailage des voiles (la disposition des treillis soudé ainsi que les différentes armatures de renforcement).



*Figure I-5 : Disposition des armatures.*

**Remarque :**

Les talonnettes seront marquées par un trait appelé « trait de niveau », de telles façons que lors du positionnement des demi-coquilles, leurs bases viennent s’y affleurer pour obtenir un niveau unique pour tous les coffrages.

• **3<sup>ème</sup> étape :**

La mise en place des demi-coquilles face à face sur toute la longueur de la surface à construire et constituer des chambres de coffrage , cette opération délicate nécessite l’emploi de grue, mobile ou fixe, et demande patience, précision ainsi qu’une bonne coordination entre le grutier et le chef de groupe.

Mise en place des divers réserves (porte, fenêtre, équipement électriques) sur les parois verticales qui seront soit découper dans les murs, soit noyer sur son épaisseur.

Disposition des cornes d’entretoise sur les parois verticales, elles sont faites en plastique et permettent de protéger les tiges de solidarisation de deux demi-coquilles opposées (dos à dos) lors du coulage de béton.



*Figure I-6 : La mise en place des demi-coquilles.*

- **4<sup>ème</sup> étape :**

Positionnement de la deuxième demi-coquille face à la première pour former ce qu'on peut appeler une « chambre de coffrage ».

Réglage du niveau de la chambre, en jouant sur le dévissage du vérin à vice en bas du coffrage tout en respectant les traits de niveau.

Réglage de l'horizontalité et la verticalité des demis coquilles pour pouvoir les biens solidariser.



*Figure I-7 : Chambre de coffrage.*

• *5<sup>ème</sup> étape :*

Solidarisé les deux demi coquilles en verrouillant les crochets métallique et en les bloquant à l'aide de boulons conique.

Derniers réglages du niveau, de la verticalité et de l'horizontalité de la 1 ère chambre.



*Figure I-8 : Solidarisation des deux demi coquilles.*

- **6<sup>ème</sup> étape :**

Mise en place de la troisième demi-coquille au dos des premières demi-coquilles.

Régalage de la troisième demi-coquille au même niveau que les premières et les solidariser à l'aide d'entretoises ou de tirants avec écrous spéciaux

Les mêmes étapes précédentes se répèteront pour les demi-coquilles 4, 5... Ainsi de suite.



*Figure I-9 : Mise en place des demi-coquilles.*

- **7<sup>ème</sup> étape :**

Mise en place des banches pignon.

Mise en place du ferrailage des dalles au-dessus des chambres de coffrage et prévoir d'éventuelles réservations (tuyau d'évacuation, cage d'ascenseur, équipement électriques).

Coulage du béton de plancher et des voiles en même temps. Il est impératif de bien vibrer le béton coulé et de descendre le vibreur jusqu'à la base des voiles en cours de coulage.



*Figure I-10 : Mise en place des banches pignon.*

- **8<sup>ème</sup> étape :**

Une fois la prise et le durcissement du béton atteint, le décoffrage peut commencer en utilisant le triangle de levage lié par des câbles a une grue.



*Figure I-11 : Le décoffrage.*

### ***I -3-2 Les accessoires de coffrages tunnel***

Les coffrages tunnels sont des moules métalliques susceptibles de nombreux réemplois et permettant par juxtapositions les uns à côté des autres de couler en une seul fois. Ils sont constitués essentiellement de deux panneaux verticaux (Panneau de pignon) reliés à leur partie supérieure par un panneau horizontal.

Ils peuvent être monoblocs ou composés de deux demi-coquilles que l'on assemble rigidement entre elles par verrouillage au moment du réglage et du bétonnage.

#### ***1- Demi-coquille***

Elément de coffrage est un dièdre droit dont le plan vertical est constitué par un panneau de la hauteur de l'étage et le plan horizontal par un panneau représentant en générale la demi portée de la dalle de plancher. On peut également avoir un troisième panneau vertical latéral quand il s'agit de couler une chambre entouré de trois voiles



***Figure I-12 : Demi-coquille.***

## 2- Passerelle de décoffrage

L'utilisation du coffrage tunnel exige tout autour du chantier un ensemble de passerelles de décoffrage ou de service. De la profondeur d'au moins d'une demi coquille, elles sont installées en bordure de façade par des grues, leurs fonctions principale est de dégager les demi-coquilles après décoffrage, de soutenir les dalles prématurément décoffré (de l'ordre de 4 à 5 jour) tout en assurent la sécurité du personnel.

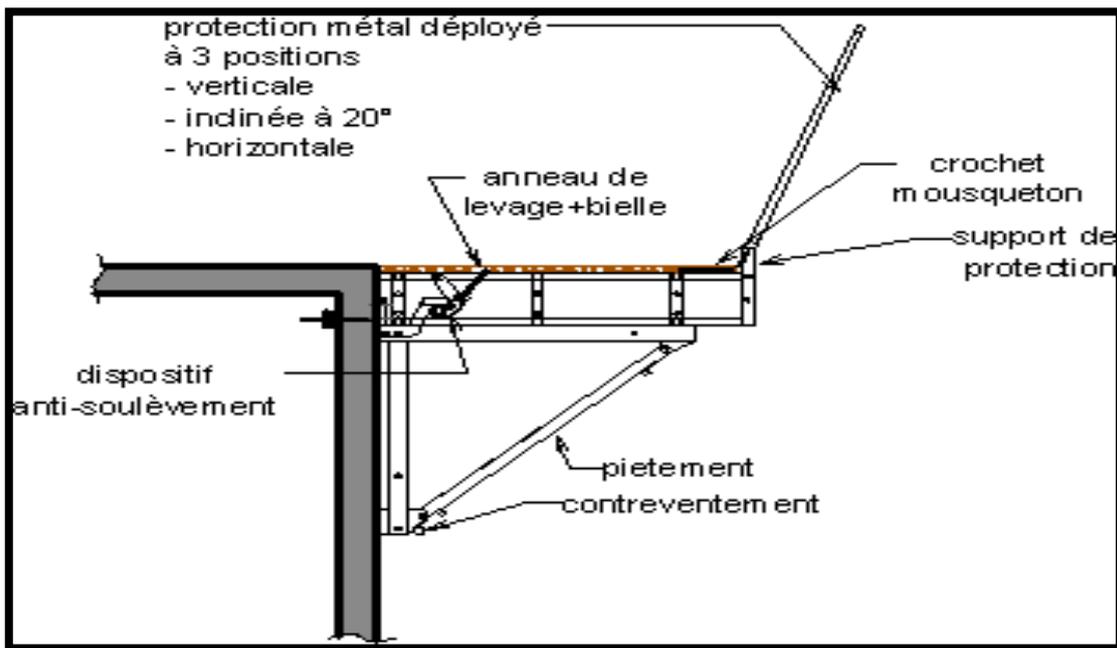


Figure I-13 : Passerelle de décoffrage.

## 3- Les banches

Elles sont des éléments verticaux souvent métalliques servant de moules aux voiles. Elles ont la hauteur du mur à construire. Leur taille dépend des fabricants mais elles sont assemblables pour pouvoir couler la longueur de paroi voulue.

Pour couler un voile il faut bien évidemment poser deux banches, une de chaque côté du mur ou du voile elles peuvent être métalliques ou en bois, elles offrent :

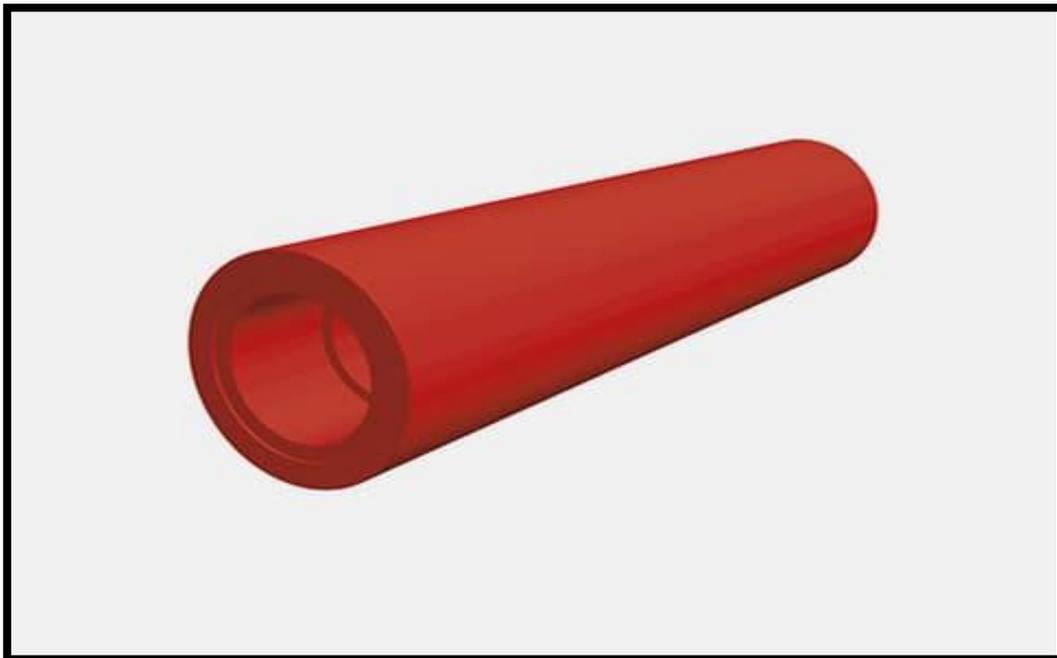
- Une rapidité de mise en place.
- Le monolithisme de la structure.
- Belle aspect de surface.
- Un déplacement rapide des moules.



*Figure I-14 : Les banches.*

#### **4- Les Cônes d'entretoise**

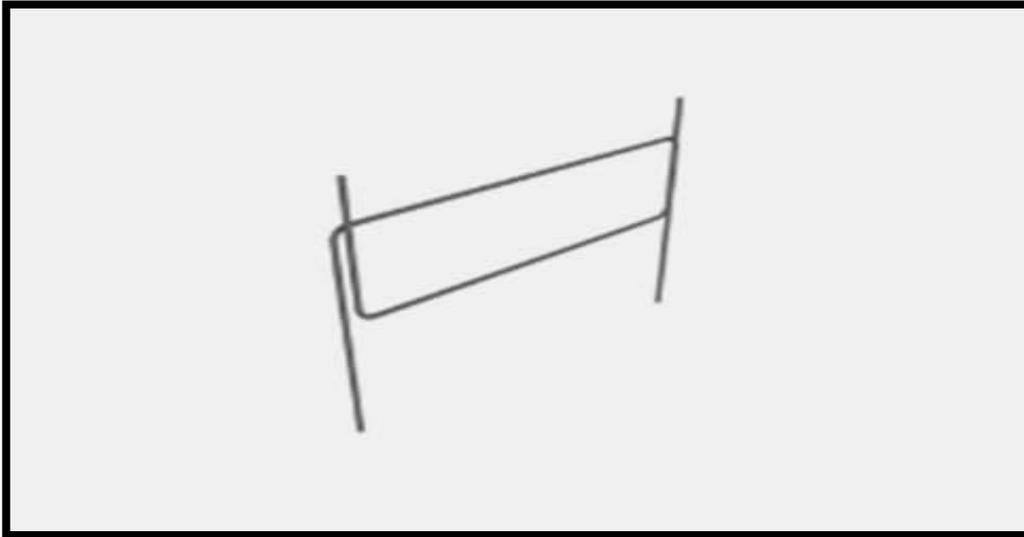
Ces espaceurs récupérables ont deux fonctions, ils maintiennent l'espacement de coffrage et servent de passage pour tout type de tige filetée.



*Figure I-15 : Les Cônes d'entretoise.*

### **5- Les écarteurs de coffrage**

Ces éléments permettent d'assurer un espace entre l'armature et le panneau de coffrage côté « peau ». Il existe en différentes sortes en fonction des ouvrages : les distances pour semelle de fondation, par exemple.



*Figure I-16 : Les écarteurs de coffrage.*

### **6- Les talonnettes de banches**

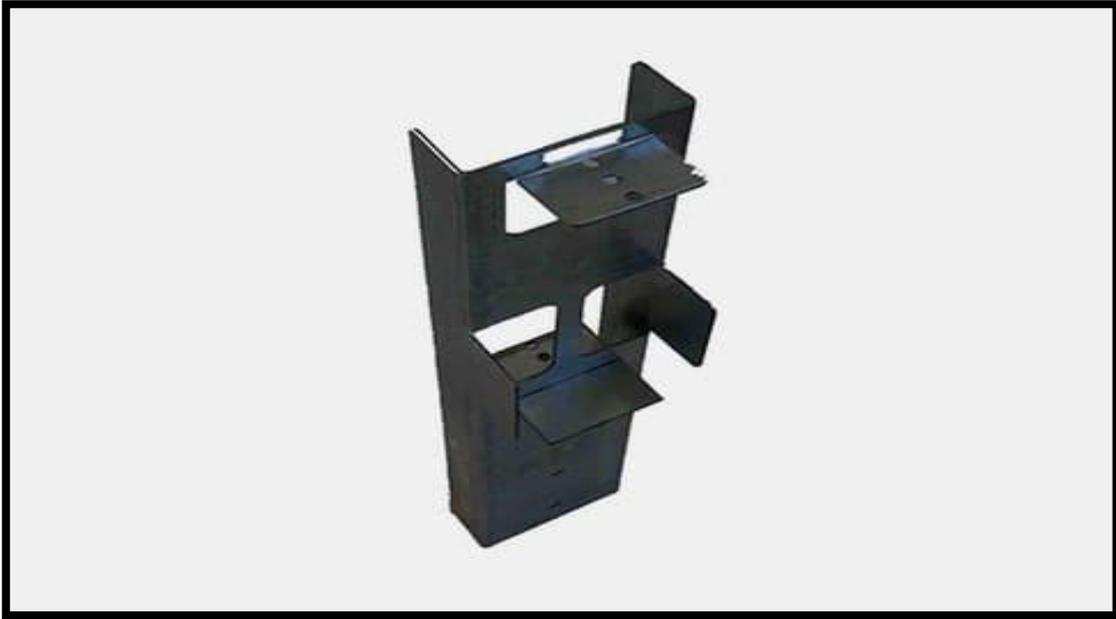
Ces positionneurs de banches fixés au sol permettent de maintenir et caler le coffrage. Les talonnettes garantissent la largeur de la future paroi.



*Figure I-17 : Les talonnettes de banches.*

### **7- Les sabots de coffrage**

Ils servent à maintenir les planches de coffrage lors du coulage d'une dalle en béton.



*Figure I-18 : Les sabots de coffrage.*

### **8- Les tiges de coffrage**

Elles traversent les banches et sont utilisées pour resserrer le coffrage à l'aide d'écrous, de platines d'appui et de clés de coffrage.



*Figure I-19 : Les tiges de coffrage.*

### 9- Les aimants de mannequin

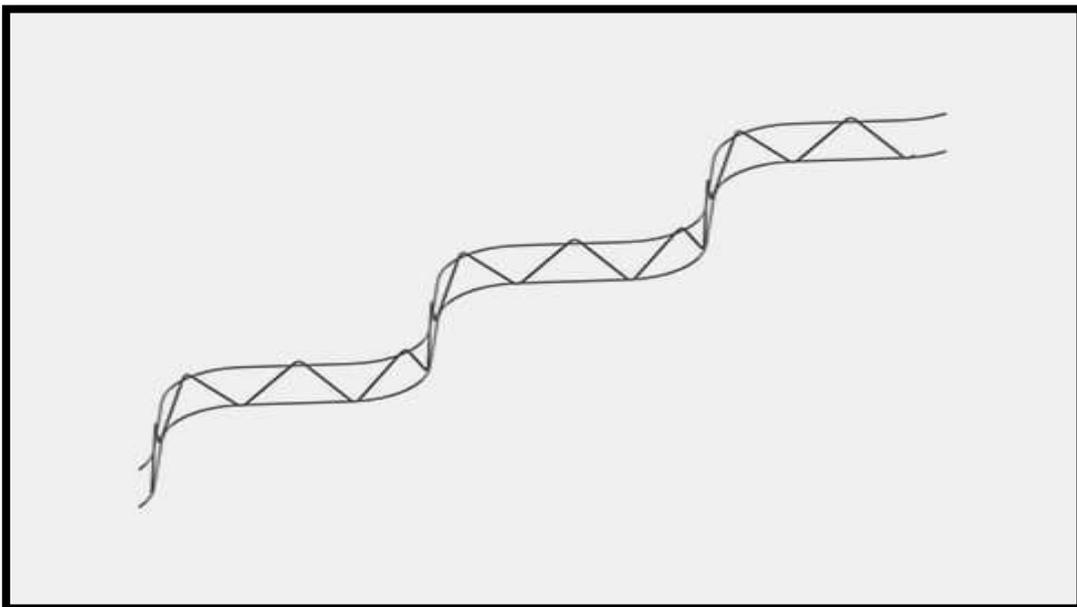
Ils servent à fixer les mannequins de portes et fenêtres ou autres éléments métalliques du coffrage.



*Figure I-20 : Les aimants de mannequin.*

### 10- Les écarteurs de nappes

Ils séparent les nappes de treillis soudé. Ils peuvent s'utiliser à l'horizontale pour les dalles comme à la verticale pour les voiles béton.



*Figure I-21 : Les écarteurs de nappes.*

### 11- *Mannequin*

Il sert à créer la réservation des ouvertures – portes, fenêtres – dans le coffrage des murs banchés. Il s'agit d'un cadre en métal ou bois fixé sur les banches à l'aide d'un aimant.

12- *Peau du coffrage* : Face du panneau de coffrage en contact avec le béton.

### 13- *Un échafaudage*

C'est une construction temporaire constituée de ponts, de passerelles ou de plates-formes soutenus par une charpente en bois, en acier ou en aluminium. Il est destiné à permettre l'accès des artisans du matériel en tous points d'un bâtiment à édifier ou à réparer. Il est décomposé en trois catégories distinctes : fixe, suspendu ou roulant.



*Figure I-22 : Un échafaudage.*

**14- Accélérateur de prise:** C'est un adjuvant. introduit dans l'eau de gâchage, il diminue les temps de début et de fin de prise du ciment dans le béton, en favorisant l'hydratation du liant.

### **I-3-3 Pourquoi le système de coffrage de tunnel ?**

#### **Il est économique....**

- Il est possible de réaliser 500 coulées sur le même projet avec un ensemble de coffrage.
- Il est compatible avec un faible coût avec la réparation des anciens coffrages et l'ajout de nouveaux coffrages aux autres projets semblables.
- Il assure des économies importantes sur les coûts de main d'œuvre lorsqu'il est réalisé avec des maîtres, des auxiliaires et des employés de haute qualification en faible nombre.
- Etant donné qu'il accélère beaucoup la durée de construction, il réduit en grande partie le coût de financement du capital de construction utilisé par rapport aux systèmes classiques.

#### **Rapide et fiable....**

- C'est un système de coffrage de versement des bétons rideaux et dallages lors d'une coulée en période quotidienne de l'entrepreneur. Ainsi, une couche peut être fabriquée chaque jour avec un ensemble de coffrage. Il est possible de réaliser la coulée jusqu'au intervalles nécessités par le projet statique. Il peut fonctionner facilement avec des ouvertures d'intervalle entre 1,5 mètre et 6,5 mètres.
- C'est le système le plus sécurisé connu pour sa résistance face aux tremblements de terre. Il a prouvé une fois encore cette caractéristique lors du tremblement de terre de Marmara en août 1999. De la même manière, c'est le système de construction le plus fiable face aux tempêtes et aux vents violents.

### **Application facile...**

- Il assure l'application au chantier du système de bande avec une organisation bien planifiée.
- Il présente des facilités pour la réalisation des travaux d'électricité et d'installation sanitaire.
- Il est utilisable dans les bâtiments de toutes sortes en réduisant le coût répété de coulée dans principalement les hôtels, les foyers étudiants, les prisons, les casernes.
- Les petits dommages peuvent être réparés par les maitres d'œuvre du travail de soudage.

### **Il assure une haute qualité....**

- Il assure l'application correcte du projet et l'achèvement de la qualité lancée. Il est possible de construire des bâtiment d'une hauteur de 40 étages en versant plus finement le béton rideau sur les couches supérieures.
- Etant donné que les erreurs de mesure sont presque néants lors de la fabrication, il assure une facilité d'application au mur intérieur de panel prêt à l'emploi et du mur de façade préfabriquée. En raison de l'acquisition de lignes de béton très correctes sur les surfaces de coffrage, l'enduit après béton n'est pas nécessaire et les autres opérations de revêtement de papier et les opérations de peinture sont appliquées très facilement et ces opérations sont réalisées aux coûts minimums.

### **Environnementaliste...**

- Ses contributions positives à l'environnement sont connues en raison de la non-utilisation du bois.
- Les frais de chauffage et d'aération sont plus faibles par rapport aux structures conventionnelles.

### ***I-3-4. Inconvénients***

- Ce système ne permet pas d'avoir de grand espace habitable au niveau de chaque logement.
- Il ne permet pas d'effectuer des modifications ou transformations par le propriétaire du logement après la fin des travaux.
- Ce système ne permet pas de changer la disposition des voiles après la conception architecturale.
- Ce système n'offre pas beaucoup de perspective architecturale ou esthétique.

### ***I-4 Organisation de chantier***

La préparation d'un chantier, qui est une phase prédominante, s'assimile à une installation de chantier qui se base sur l'élaboration d'un plan d'installation.

#### ***A)-Le plan d'installation***

Ce plan est en général établi par l'entreprise de gros œuvre sur la base de l'indication figurant notamment au plan générale de coordination –sécurité et protection de la santé .Il doit être approuvé par le maître d'œuvre mais rien ne s'oppose à ce que ce ordonnancement - pilotage coordination et joint au dossier d'appel d'offre si les contraintes du terrain et de l'environnement y obligent .

Ce plan doit recevoir la saintement du coordonnateur de sécurité pour tout ce qui concerne la sécurité et la santé des travailleurs.

#### ***B)-Objectifs du plan d'installation***

- Prévoir le matériel (grues, betterave, silos à ciment, etc....) nécessaire à l'exécution du chantier, et vérifier que les prévisions permettent d'exécuter les travaux en respectant le planning prévu, en particulier le planning des voiries et réseaux divers.
- Prévoir l'aménagement des lieux, afin que ceux-ci puissent recevoir ce matériel dans de bonnes conditions.
- Attribuer à chaque entreprise des surfaces ou elles pourront stocker des matériaux ou du matériel, ou préparer leur travail.
- Permettre d'avoir la vision globale de la future organisation du chantier.

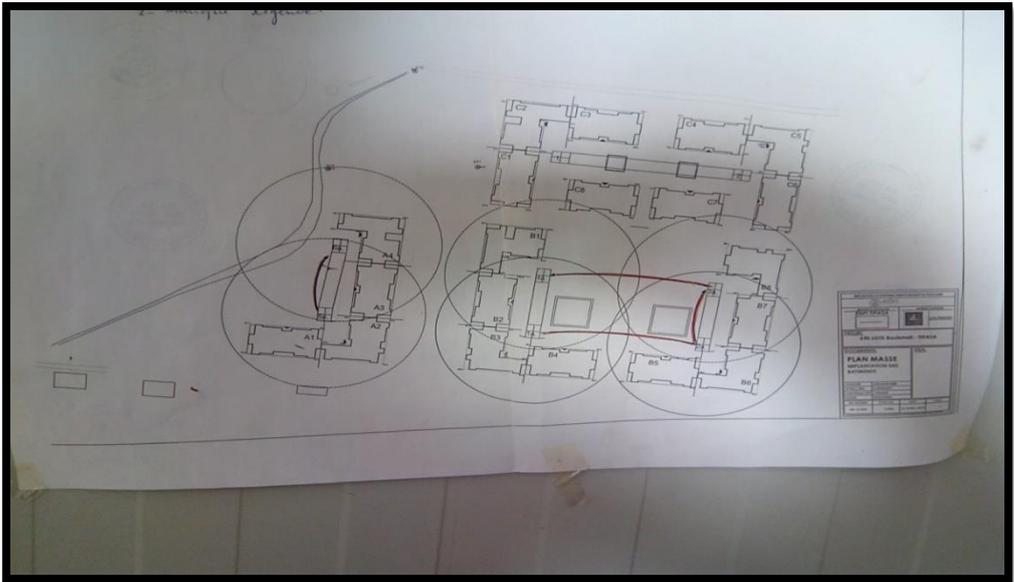


Figure I-23 : Installation clés.



Figure I-24 : La grue.



*Figure I-25 : Centrale à béton.*



*Figure I-26 : Locaux.*



Figure I-27 : Les plans de génie civil.



Figure I-28 : Salle de réunion.



*Figure I-29 : Aires de stockage.*



*Figure I-30 : Transfère de l'eau vers le haut.*

### ***C)-Matériaux et matériel utilisés***

L'installation d'un chantier demande et impose un rythme de travail et pour cela il faut une bonne utilisation des moyens humains et matériels. Les engins et matériels tiennent une place essentielle dans les travaux. L'accumulation progressive des progrès technologiques, tant pour leur puissance et leur précision que pour leur sécurité et le confort de leurs opérateurs. Dans le but de rechercher :

La rapidité, la qualité, l'économie.

#### ***Pour les engins on utilise :***

- Grue à tour
- Pompes à béton
- Camions pompes
- Une centrale à béton
- Camions malaxeurs
- Des minis dumpers
- Deux façonneuses électriques
- Deux cintreuses électriques : elle permet un codage finie sans danger pour l'ouvrier et rapide
- Une cisaille : elle permet des coupes rapide et sans danger pour l'ouvrier.
- La grue pour transporter les aciers rapidement le façonnage des armatures vertical poteaux ce fait sur cette aire par deux ouvriers et il sera acheminé sur le chantier par la grue.
- Poste de menuiserie : cette espace sert à entreposer le bois et à le transformer selon la demande.
- Poste travaux divers : par exemple poste de fabrication des calles de béton utilisé pour empêcher l'armature de bouger et respecter l'enrobage lors du coulage.

#### ***Et pour les matériaux on trouve :***

- Brique, gravier, plâtre
- Les matériaux retenus pour les formulations de béton demandées sont les suivants :
  - Gravillon 3/8 concasse (Carrière SOUK EL HAD )
  - Gravillon 8/15 concasse (Carrière SOUK EL HAD)
  - Sable levé (SOUR EL GHOZLENE)

- Sable fin roule (BOUSSADA)
- Ciment CPJ 42.5 ( MEFTAH)
- Superplastifiant

#### ***D)-Stockage des constituants***

Le choix des constituants qui vont être utilisés pour réaliser un béton déterminé repose sur deux exigences principales:

- L'une, d'ordre technique, dépend des caractéristiques visées (résistance, granulométrie, coloration, etc.)
- L'autre, d'ordre économique tient compte en particulier de la proximité des fournisseurs par rapport au chantier, des coûts compétitifs approvisionnés par route, rail ou voie d'eau, les constituants du béton doivent faire l'objet d'un stockage.

#### ***E)- Le Stockage du ciment***

Le ciment livré en vrac par camion-citerne est déchargé pneumatiquement et stocké dans des silos verticaux de forme cylindrique d'une capacité supérieure à 30 tonnes.

#### ***F)-Le Stockage des granulats***

Il convient d'éviter tout mélange entre des granulats de natures, d'origines ou de classes granulaires différentes.

Le stockage en trémies. Ce mode de stockage permet de grandes réserves de matériaux et de gros débits. Les silos peuvent comporter plusieurs compartiments permettant le stockage de différents granulats.

Leur capacité peut être supérieure à 150 m<sup>3</sup>. Les trémies sont à ciel ouvert, généralement de faible hauteur et aussi hautes que larges. Le stockage en trémie présente les garanties de qualité et de régularité indispensables pour l'obtention de bétons à caractéristiques très régulières (résistances mécaniques, teinte).

#### ***G)-Le Stockage de l'eau***

Si l'on est amené à stocker de l'eau sur le chantier, on veillera à ce qu'elle ne puisse être polluée par des matières organiques ou des sels tels que les chlorures ou les sulfates.

### *H)-Le stockage des adjuvants*

Les adjuvants sont stockés en containers fermés, bien identifiés. Les précautions concernant le stockage par temps froid, ainsi que les dates limites d'emploi doivent être scrupuleusement respectées.



*Figure I-31 : Manitou a chariot élévateur.*



*Figure I-32 : Transports et déchargement de béton jusqu'à 28 mètres en malaxeur-pompe.*



*Figure I-33 : La pelle mécanique.*



Figure I-34 : Machine a projeter ciment.



Figure I-35 : Poste de ferrailage avec cisaille.



*Figure I-36 : Stockage brique.*



*Figure I-37 : Les armatures d'acier.*



*Figure I-38 : sable+matériaux de finition intérieur.*

Il faut toujours se souvenir que le chantier est un lieu clos où des hommes travaillent pour le même objectif, et que la meilleure organisation de chantier ne peut être efficace que si elle est adoptée par le personnel.

On peut dire qu'il n'y a pas de projet parfait pour construire quelle que soit l'avaleur du potentiel humain et matériel de l'entreprise et à l'émergence de plusieurs raisons.

## CHAPITRE II : Présentation de l'ouvrage

### *II-1 Introduction*

L'objet de notre projet est l'étude d'un bâtiment à usage d'habitation et commercial constituée d'un réez-de chaussée et huit étages plus un sous sol (R+8) sera implanté à la wilaya de TIPAZA commune de DOUAOUDA.

Dans le présent chapitre, on présente une description général de notre projet puis on expose les différents caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux utilisés.

### *II-2 Présentation De l'ouvrage*

#### *a) Dimension du bâtiment*

##### *Les dimensions en élévation :*

|                                  |         |
|----------------------------------|---------|
| Hauteur totale du bâtiment.....  | 27,72 m |
| Hauteur du RDC .....             | 3,06 m  |
| Sous sol .....                   | 3,06 m  |
| Hauteur de l'étage courant ..... | 3,06 m  |
| L'acrotère.....                  | 0,60 m  |

##### *Les dimensions en plan*

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| Longueur totale en plan ..... | 27,40 m |
| Largeur totale en plan .....  | 18,76 m |

### *II-3 Classification du bâtiment*

Selon le classement donné par le RPA99 [1] on a :

#### *a) Classification selon les zones sismiques*

Notre bâtiment est implanté à la wilaya de TIPAZA commune de DOUAOUDA, elle est classé en Zone III, une zone quelle a une sismicité élevée.

**b) Classification selon leur importance**

Le bâtiment est un ouvrage courant classé dans le “ groupe 2”, (il est à usage d'habitation et la hauteur ne dépasse pas 48 m).

**c) Classification des sites**

Selon le rapport géotechnique :

- le site est considéré comme site ferme S2
- La Contrainte de sol 0,3 Mpa.

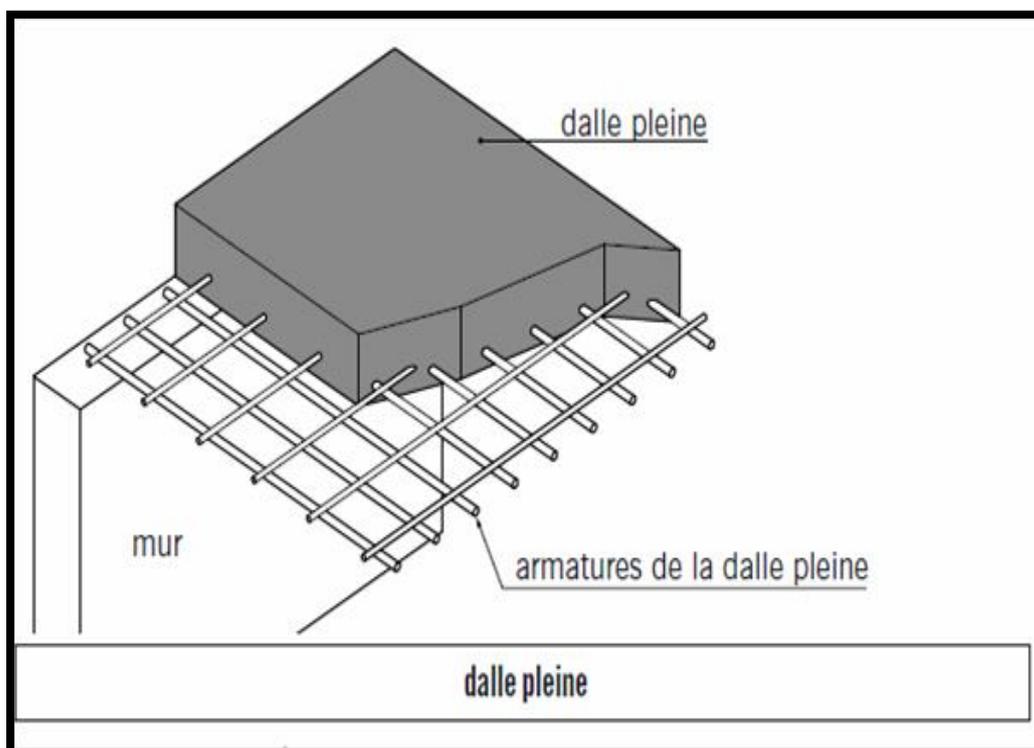
**II-4 Conception de la structure**

**1. Revêtement**

- En carrelage pour les planchers courant.
- En mortier de ciment pour les murs extérieurs, murs des salles d'eau et cage d'escalier.
- En plâtre pour les plafonds et les murs intérieurs.

**2. Le plancher**

On a un seul type des planchers pour le bâtiment en coffrage tunnel. Plancher en dalle pleine.



**Figure II -1 : Schéma du plancher.**

### 3. Escalier

La structure comporte d'un seul type d'escalier (escalier droit), il est constitué de deux volées et un palier de repos qui servent à relier les planchers de tous les étages.

### 4. Ascenseur

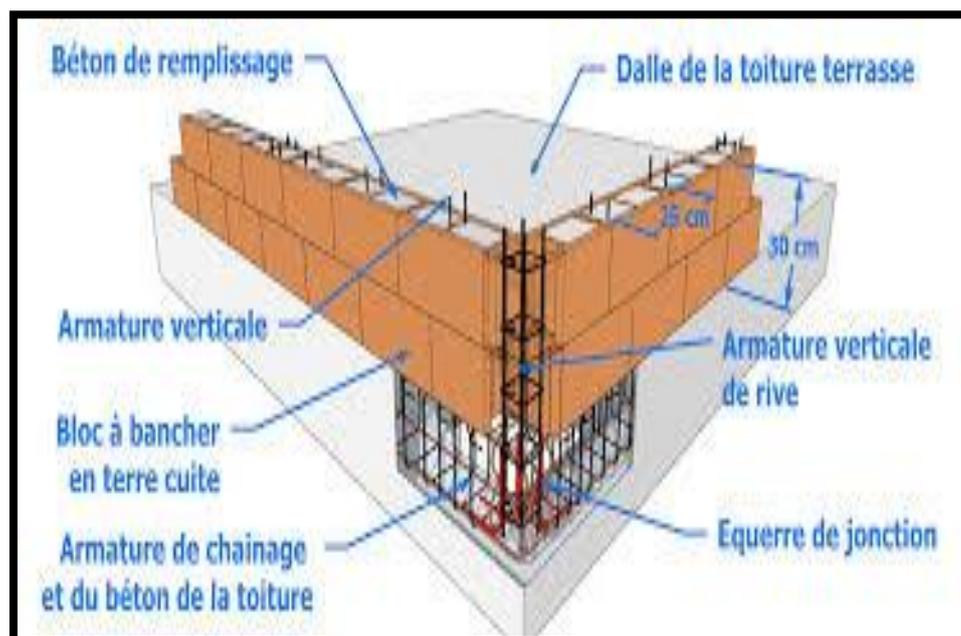
Le bâtiment est équipé d'un ascenseur entouré par des voiles



*Figure II-2 : Ascenseur.*

### 5. L'acrotère

L'acrotère est un élément non structural, il sera calculé comme une console encadrée au niveau du plancher terrasse, le rôle de l'acrotère est de protéger les joints d'étanchéité d'après sa disposition. L'acrotère est soumis à une flexion composée due aux charges suivantes : Son poids propre sous forme d'un effort normal vertical. Une force horizontale due à une main courante  $Q=1\text{kn/ml}$ .



*Figure II-3 : Schéma de l'acrotère.*

## 6. Maçonnerie

La maçonnerie du bâtiment est conçue en briques creuses qui constituent par :

- Murs extérieurs : constituer d'une double paroi en brique séparée par une lame d'air.
- Murs intérieurs : pour les techniques de coffrage tunnel ce sont des voiles.

### II-5 Caractéristiques mécanique des matériaux

#### II-5-1 Béton

##### A. Composition du béton

Le béton est un matériau constitué par le mélange, dans des proportions convenables, de ciment, de granulats (gravier, sable) et d'eau.

Pour sa mise en œuvre, le béton doit être maniable et il doit présenter certains critères à savoir :

- ✓ Une résistance mécanique élevée.
- ✓ Un retrait minimum.
- ✓ Une bonne tenue dans le temps (durabilité).

**Tableau II-1 : composition de béton pour(1m<sup>3</sup>).**

| Composants                           | Poids (kg/m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------|----------------------------|
| S1 : sable cc<br>-c/SOUR EL GHOZLENE | 720                        |
| S2 : sable fin<br>-BOUSSADA          | 180                        |
| Gravier 3/8<br>-SOUK EL HAD          | 280                        |
| Gravier 8/15<br>-SOUK EL HAD         | 560                        |
| Ciment CPJ 42.5<br>MEFTAH            | 400                        |
| Eau potable                          | 180                        |
| Super-plastifiant                    | 1.5%                       |
| E/C                                  | 0.45                       |
| Affaissement au cône d'abram's       | 22cm                       |

### **B. Résistance du béton**

D'après les Règles de BAEL91 modifiée. [2]

Le béton est caractérisé par sa résistance à la compression, et sa résistance à la traction, mesurée « j » jours d'âge.

#### **B.1. Résistance à la compression**

Le béton est défini par sa contrainte déterminée à 28 jours d'âges noté  $f_{c28}$ , est conventionnellement selon **(BAEL91 modifiée 99)**. [2]

Définie par la relation :

- ✓  $J \leq 28$  jours  $\longrightarrow f_{cj} = \frac{j}{4,76 + 0,83j} * f_{c28}$  pour  $f_{c28} \leq 40$  Mpa.
- ✓  $J \leq 28$  jours  $\longrightarrow f_{cj} = \frac{j}{1,4 + 0,95j} * f_{c28}$  pour  $f_{c28} \geq 40$  Mpa.
- ✓  $J \geq 28$  jours  $\longrightarrow f_{cj} = 1,1 * f_{c28}$ .

Pour notre cas en prend  $f_{c28}=25$  Mpa. (BAEL91 modifié 99)[2]

La résistance à la compression est déterminée sur des éprouvettes cylindriques de dimensions  $(16 \times 32)$  cm<sup>2</sup>

### **B.2. Résistance à la traction : noté par ( $f_{ij}$ )**

La résistance du béton à la traction, pour un béton d'une contrainte de compression inférieure à 40 Mpa est conventionnellement définie par la relation :

$$f_{ij} = 0.6 + 0.06 f_{cj} \text{ pour } f_{cj} < 60 \text{ Mpa.}$$

$$f_{ij} = 0.275 * (f_{cj})^{2/3} \text{ pour } < 60 f_{cj} < 80 \text{ Mpa.}$$

Pour  $f_{c28} = 25$  Mpa ;  $f_{t28} = 2,1$  Mpa.

### **C. Module de déformation longitudinale**

Ce module est connu sous le nom de module de "Young ou module de déformations longitudinales"; il est défini sous l'action des contraintes normales d'une longue durée ou de courte durée d'application.

$$E_{ij} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}} \rightarrow \text{instantané}$$

$$E_{ij} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} \rightarrow \text{différé}$$

$$\begin{cases} E_{ij} = 33402,478 \text{ Mpa} \\ E_{ij} = 11235,379 \text{ Mpa} \end{cases}$$

### **D. Coefficient de poisson**

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

$$\nu = \frac{\frac{\Delta L}{L}}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{\text{allongement relatif du coté de la section}}{\text{raccourcissement relatif longitudinal}}$$

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

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

**E. Poids volumique**

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

**F. Les contraintes limites de calcul**

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

L'état limite ultime est défini généralement par la limite de résistance mécanique au-delà de laquelle il y a ruine de l'ouvrage ; dans ce cas, la contrainte est définie par :

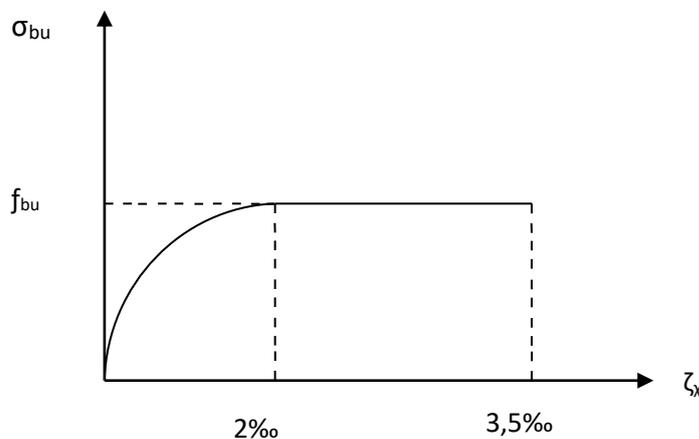
$$f_{bu} = \frac{0,85 \cdot f_{c28}}{\gamma_b}$$

Avec :

$\gamma_b$  : Coefficient de sécurité.

$\gamma_b = 1,5$  cas des situations durables ou transitoires...  $f_{bu} = 14,17 \text{ Mpa}$ .

$\gamma_b = 1,15$  cas des situations accidentelles.....  $f_{bu} = 18,48 \text{ Mpa}$ .



**Figure II-4 : Diagramme contraintes- déformations de l'acier à l'ELU.**

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

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

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

- L'état limite de service de déformation.

La contrainte limite de service est donnée par :  $\sigma_{bc} = 0,6 f_{c28}$

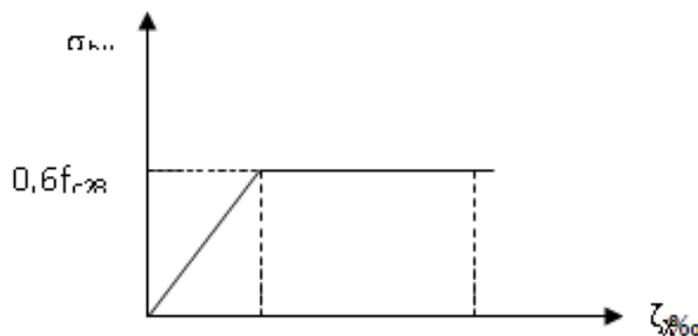
$$f_{c28} = 25 \text{ MPa} \text{ on trouve : } \sigma_{bc} = 15 \text{ MPa}$$

### II-5-2 Aciers

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

Les aciers utilisés pour constituer les pièces en béton armé sont :

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



**Figure II-5 : Digramme** contraintes– déformations de l'acier à l'ELS.

#### II.5.2.1 Les limites élastiques :

- ✓ Les ronds lisses (R.L):  $f_e = 235 \text{ MPa}$
- ✓ Barres à haute adhérence (HA) :  $f_e = 400 \text{ MPa}$ .
- ✓ Treillis soudés (TS) :  $f_e = 520 \text{ MPa}$ .

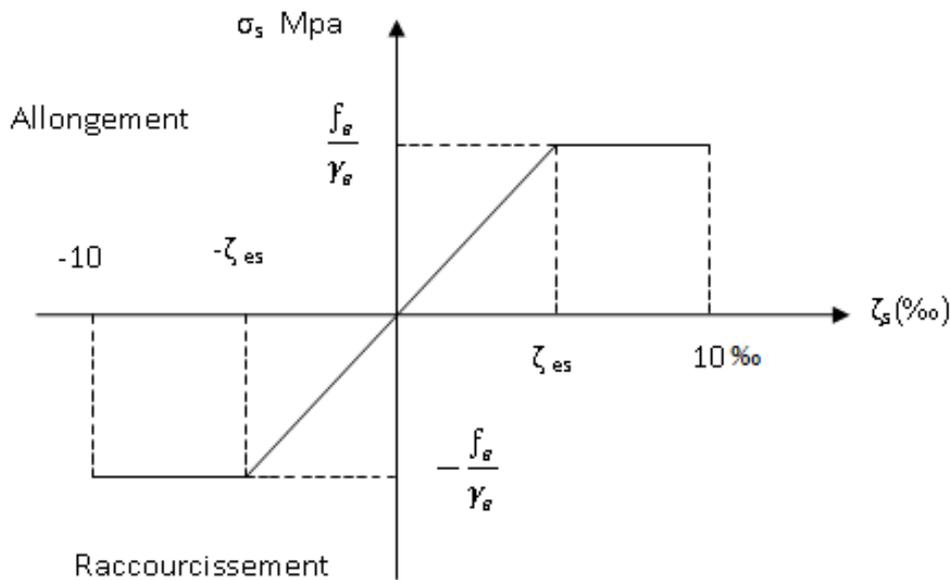
#### II-5-2-2 Module d'élasticité des aciers

Les aciers sont aussi caractérisés par le module d'élasticité longitudinale. Les Expériences ont montré que sa valeur est fixée quelque soit la nuance de l'acier.  $E_s = 2,1.10^5 \text{ MPa}$

**II-5-2-3 Les contraintes limites de calcul**

**a) Contraintes limites à l'état limite ultime (E.L.U)**

On adopte le diagramme contraintes- déformations suivant:



**Figure II-6 : Diagramme des contraintes– déformations de l'acier à l'ELU.**

Avec :

$f_e$  : Contrainte limite élastique.

$\zeta_s$ : Déformation (allongement) relative de l'acier  $\rightarrow \zeta_s = \frac{\Delta L}{L} \sigma_s$ : contrainte de l'acier  $\rightarrow \sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_e}$

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

$\gamma_s := \begin{cases} 1,15 \rightarrow \text{cas des situations durables ou transitoires.} \\ 1,00 \rightarrow \text{cas des situations accidentelles} \end{cases}$

Pour les aciers FeE400 on a :  $\zeta_s = \frac{400}{1,15} * 2,110^{-5} = 1,74\text{‰}$

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

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

Fissuration peu nuisible : pas de vérification.

✓ Fissuration préjudiciable:  $\overline{\sigma}_s = \min \left( \frac{2}{3} f_e; 150\eta \right)$  (MPa)

✓ Fissuration très préjudiciable :

✓  $\eta$  : Coefficient de fissuration

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

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

**II-6-Hypothèses de calcul**

Le calcul en béton armé aux états limites ultimes est basé sur les hypothèses suivantes:

- Les sections droites restent planes après déformations.
- Il n'y a pas de glissement entre les armatures d'acier et le béton.
- Le béton tendu est négligé dans le calcul de la résistance à cause de sa faible résistance à la traction.
- Le raccourcissement unitaire du béton est limité à 3,5 ‰ en flexion simple ou composée et à 2‰ dans le cas de la compression simple.
- L'allongement unitaire dans les aciers est limité à 10‰.
- La contrainte de calcul, notée " $\sigma_s$ " et qui est définie par la relation : est égale à :

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s}$$

Rond lisse

$$\begin{cases} \sigma_s = 204,34 \text{ MPa} & \text{Situation durable} \\ \sigma_s = 235 \text{ MPa} & \text{Situation accidentelle} \end{cases}$$

## CHAPITRE III : calcul des éléments secondaires

### III-1- L'acrotère

L'acrotère est un relief constitué par un muret situé en bordure de la toiture, dans le prolongement de ses murs de façade.

Généralement en béton, ce petit muret d'un minimum de 15 centimètres de hauteur, permet de coller une étanchéité à chaud côté extérieur et possède des passages pour l'évacuation des eaux de pluie.

Sur une toiture-terrasse, accessible ou non, il peut également être plus haut et permet de dissimuler un équipement technique ou de fixer un garde-corps.

Sur l'acrotère peut se fixer une couvertine, élément de protection et d'étanchéité de la partie supérieure. La couvertine joue le rôle de dispositif empêchant les eaux de ruissellement et de rejaillissement de s'introduire derrière les relevés d'étanchéité. Elle est un élément essentiel à la pérennité des toitures-terrasses et des façades.

#### III-1-1 L'action des forces horizontales $Q_h$ : ( $F_p$ )

L'action des forces horizontales est donnée par :  $F_p = 4 * A * C_p * W_p$  [2]

Avec :

A : Coefficient d'accélération de zone obtenu dans le tableau (4-1) pour la zone et le groupe d'usage appropriés [ $A=0,25$ ] : groupe 2.

$C_p$  : Facteur de force horizontale donnée par le tableau (6-1) [2] [ $C_p=0,3$ ].

$W_p$  : Poids de l'acrotère = 2,229 kN.

$F_p = 4 \times 0,25 \times 0,3 \times 2,229 = 0,668 \text{ kN}$ .

$Q_u = \text{Max}(1,5Q ; F_p)$

$$\begin{cases} F_p = 0,668 \text{ kN} \\ 1,5Q = 1,5 \text{ kN} \end{cases} \Rightarrow Q_u = 1,5 \text{ kN}$$

Donc pour une bande de 1 m de largeur :

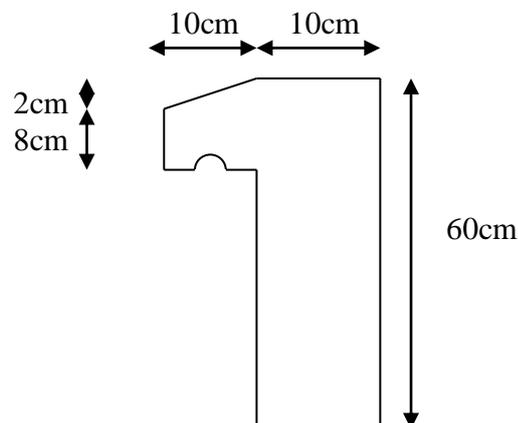


Figure. III.1 : Acrotère.

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

$G=2,229\text{kN/ml}$  et  $Q=1,5\text{KN/ml}$

### III-1-2 Calcul des efforts

Pour une bande de 1m de largeur :

#### E.L.U

$$N_u = 1,35G = 1,35 \times 2,229 = 3,009 \text{ KN}$$

$$M_u = 1,5 \times Q \times h \times L = 1,5 \times 1 \times 0,60 \times 1 = 0,90 \text{ KN.m}$$

$$T_u = 1,5 \times Q \times L = 1,5 \times 1 \times 1 = 1,5 \text{ KN}$$

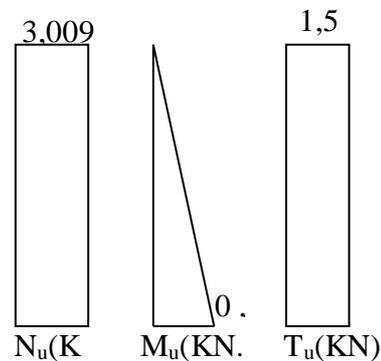


Figure II-2 : diagrammes des efforts l'ELU .

#### E.L.S

$$N_{ser} = G \times L = 2,229 \times 1 = 2,229 \text{ KN}$$

$$M_{ser} = Q \times h \times L = 1 \times 0,6 \times 1 = 0,60 \text{ KN.m}$$

$$T_{ser} = Q \times L = 1 \times 1 = 1 \text{ KN}$$

### III-1-3-Ferraillage de l'acrotère

$h = 10\text{cm}$  ;  $b = 100\text{cm}$  ;  $f_{c28} = 25\text{MPa}$  ;  $\sigma_{bc} = 14,16\text{MPa}$  ;  $c = c' = 2\text{cm}$  ;  $f_e = 400\text{MPa}$

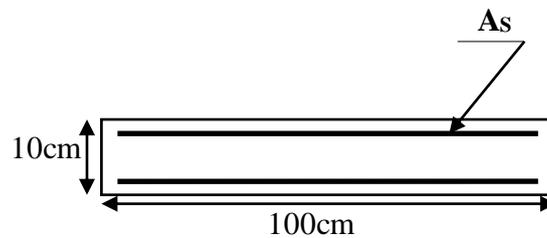


Figure III-3 : Ferraillage de l'acrotère

#### a) Calcul de l'excentricité

$$\left\{ \begin{array}{l} e_0 = \frac{M_u}{N_u} = \frac{0,9}{3,009} = 29,91\text{cm} \\ \frac{h}{2} - c = \frac{10}{2} - 2 = 3\text{cm} \end{array} \right. \Rightarrow e_0 > \frac{h}{2} - c \Rightarrow \text{Section partiellement comprimée.}$$

Le centre de pression se trouve à l'extérieur de la section.

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

Les armatures seront calculées à la flexion simple en équilibrant le moment fictif  $M_f$ .

### b) Calcul du moment fictif « $M_f$ »

$$M_f = M_u + N_u \left( \frac{h}{2} - \dot{c} \right) = 0,9 + (3,009 * 0,03) = 0,99 \text{KN.m}$$

$$\mu_{bu} = \frac{M_u}{b * d^2 * f_{bu}}$$

$$f_{bu} = \frac{0,85 * f_{c28}}{\gamma_b} = \frac{0,85 * 25}{1,15} = 14,16 \text{Mpa.}$$

### c) calcul d

$$d = 0,9. h = 0,9 \times 10 = 9 \text{ cm}$$

$$d = 0,09 \text{ m}$$

$$\mu_{bu} = \frac{0,99 * 10^{-3}}{1 * (0,09)^2 * 14,16} = 0,0086$$

$$\gamma_b = \frac{M_u}{M_{ser}} = \frac{0,9}{0,6} = 1,5$$

$$\mu_{lu} = (0,3367 * \gamma_b) - 0,1711$$

$$\mu_{lu} = (0,3367 * 1,5) - 0,1711 = 0,33$$

$$\mu_{bu} = 0,0086 < \mu_{lu} = 0,33$$

**Donc:**  $A_s=0$        $\Rightarrow$  Pivot A       $\zeta=10\%$

Les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1,25 * (1 - \sqrt{(1 - (2 * \mu_{bu}))}) = 1,25 * (1 - \sqrt{(1 - (2 * 0,0086))}) = 0,0107$$

$$Z = d (1 - (0,4 * \alpha)) = 0,09 (1 - (0,4 * 0,0107)) = 0,08961 \text{ m}$$

$$z = 89,61 \text{ cm}$$

$$\mu_{bu} = 0,0086 < 0,186$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 347,8 \text{Mpa}$$

### d) Section d'armature tendue

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

$$A_s = \frac{M_u}{\sigma_s * z} = \frac{0,99 * 10^{-3}}{347,8 * 0,089} = 31 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 0,31 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = A's = 0$$

$$A_{s2} = A_{sf} - \frac{N_u}{\sigma_s} = 0,31 - \frac{3,009 * 10^{-3}}{347,8} = 30,99 \text{ mm}^2$$

$$\text{Donc } \begin{cases} A_{s1} = 0 \text{ cm}^2 \\ A_{s2} = 30 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

### III-1-4 Verifications necessaries a E.L.U

- **Condition de non fragilité**

$$A_s \geq A_{min} = \text{Max} \left\{ \frac{b * h}{1000}; 0,23 * b * d * \frac{f_{t28}}{f_e} \right\}$$

$$A_s \geq A_{min} = \text{Max} \left\{ \frac{0,1 * 0,1}{1000}; 0,23 * 0,1 * 0,09 * \frac{2,1}{400} \right\} = 1,00 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 0,31 \text{ cm}^2 \geq A_{min} = 1,00 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots(\text{C.N.V})$$

Donc : on opte finalement pour 4T8=2,01cm<sup>2</sup>

$$S_t = \frac{b - 2c - 5\phi}{4} = \frac{100 - 2 * 2 - 5 * 0.8}{4} = 23 \text{ cm}$$

On prend S<sub>t</sub> = 20 cm

- **Armatures de répartitions :**

$$A_R \geq \frac{A_s}{4} \Rightarrow A_R \geq 0,50 \text{ cm}^2$$

On choisi 4T8=2,01cm<sup>2</sup> avec un espacement : S<sub>t</sub> =  $\frac{60-5}{3} \approx 18 \text{ cm}$

### III-1-5 Vérification a L'E.L.S :

$$M_{ser} = 0,6 \text{ KN.m}$$

$$N_{ser} = 2,229 \text{ KN}$$

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

$$e_{ser} = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} = \frac{0,6}{2,229} = 0,269 \text{ m}$$

$$e_0 = 26,91 \text{ cm} > (h/6) = 1,67 \text{ cm}$$

### a) Calcul de moment fictif

$$M_{f_{ser}} = N_{ser} * (e_{ser} + d - (h/2))$$

$$M_{f_{ser}} = 2,229 * (0,269 + 0,09 - (0,1/2)) = 0,688 \text{ KN.m}$$

### b) Calcul des Armatures en Flexion simple (fissuration préjudiciable)

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 * f_{c28}$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 * 25 = 15 \text{ Mpa}$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = \min(2/3 f_e; \eta 150) = 240 \text{ Mpa}$$

$$\alpha_{rb} = \frac{15\bar{\sigma}_{bc}}{15\bar{\sigma}_{bc} + \sigma_s} = \frac{15*15}{15*15+240} = 0,483$$

### c) Calcul du moment réduit du béton $M_{rd}$

$$M_{rd} = \mu_{rd} b * d^2 * \bar{\sigma}_{bc}$$

$$\mu_{rd} = \frac{\alpha_{rd}}{2} \left(1 - \frac{\alpha_{rd}}{3}\right) = \frac{0,483}{2} \left(1 - \frac{0,483}{3}\right) = 0,202$$

$$M_{rd} = 0,202 * 1 * (0,09)^2 * 15 = 24,54 \text{ KN.}$$

$$M_{rd} = 24,54 \text{ KN.m} > M_{f_{ser}} = 0,688 \text{ KN.m}$$

Donc  $A_{ser} = 0$  (la section n'est pas besoin d'aciers comprimés)

$$z_d = d \left(1 - \frac{\alpha_{rd}}{3}\right) = 0,09 \left(1 - \frac{0,483}{3}\right) = 0,075 \text{ m}$$

$$\bar{\sigma}_s = 240 \text{ Mpa}$$

$$A_{ser} = \frac{M_f}{\bar{\sigma}_{bc} * z_b} = \frac{0,688 * 10}{240 * 0,075} = 38,22 \text{ cm}^2$$

### d)-Calcul en flexion composée

$$A_{f_{ser}} = A_{ser} - \frac{N_{ser}}{\alpha_{rd}} = 38,22 - \frac{2,229}{0,483} = 33,60 \text{ cm}^2$$

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

### e)-Condition non fragilité

$$A_{\min} = \frac{0,23 \times f_{t28} \times (e_{\text{ser}} - 0,45d) \times b \times d}{f_e \times (e_{\text{ser}} - 0,185)} = 2,956 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \text{Max} \begin{cases} A_f = 1,086 \text{ cm}^2 \\ A_{f_{\text{ser}}} = 0,33 \text{ cm}^2 \\ A_{\min} = 2,956 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$A_s = 2,956 \text{ cm}^2$$

### f) Choix des armatures :

$$A_s = 3,02 \text{ cm}^2 \quad A_s = 6\text{T8}$$

$$S_t = \frac{b - 2c - 5\phi}{4} = \frac{100 - 2 \times 2 - 5 \times 0,8}{4} = 23 \text{ cm} \quad \text{Avec : } S_t = 20 \text{ cm}$$

### III-1-6 Vérifications de l'effort tranchant

La contrainte de cisaillement est donnée par la formule suivante :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b * d} \leq \bar{\tau}_u = \text{Min}(0,1f_{c28}; 4 \text{ Mpa}) = 2,5 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u = \frac{1,5 * 10^3}{1000 * 90} = 0,016 \text{ Mpa} < \bar{\tau}_u = 2,5 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{vérifiée}$$

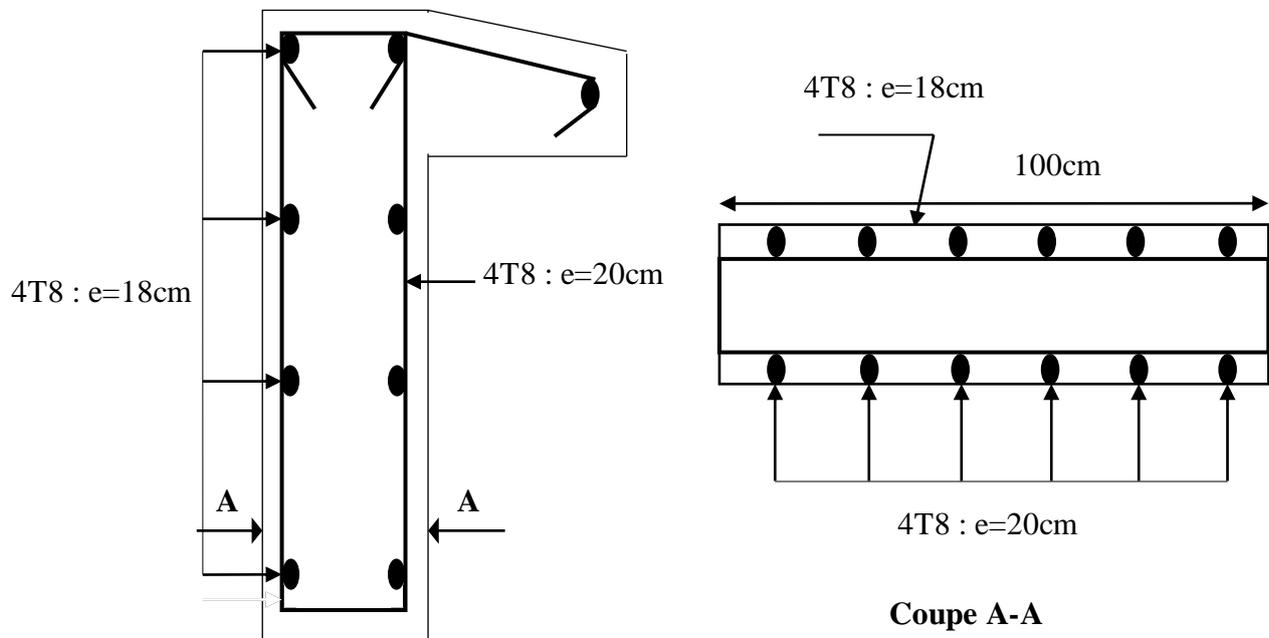


Figure III-4 : Schéma de ferrailage de l'acrotère.

### III-2- Escaliers

#### III-2-1 Définition

Un escalier est une suite de plans horizontaux disposés en gradins, afin de permettre le passage à pied entre les différents niveaux du bâtiment.

Dans notre structure il y un seul type d'escaliers.

#### III-2-2 Terminologie

**La volée** : c'est la partie d'escalier comportant une suite ininterrompue de marches égales et située entre deux paliers successifs, une volée ne doit pas comporter plus de 20 à 22 marches et moins de 3 marches.

**Le palier** : c'est la partie horizontale d'un escalier, arrêtant la suite des marches au droit d'un étage, ou entre les étages, pour assurer l'accès à chaque niveau intermédiaire (palier d'arrivée ou palier intermédiaire).

**La paillasse** : c'est la dalle en pente supportant les marches d'une volée.

**Le jour** : c'est la largeur en plan du vide entre deux volées parallèles.

**La marche** : c'est la surface délimitée par la foulée et l'emmarchement.

**La contre marche** : c'est la partie verticale prenant place entre deux marches.

**L'emmarchement** : c'est la largeur utile d'une volée, elle est fonction de la destination de l'escalier..

**Le collet** : c'est le nom donné au bord limitant l'escalier du côté jour.

**La foulée** : c'est la distance horizontale comprise entre chaque contre marche.

**La ligne de foulée** : c'est la projection en plan du trajet suivi par une personne empruntant l'escalier, pour les escaliers dont la largeur de l'emmarchement n'excède pas 1,00 m, la ligne de foulée se trouve au milieu de l'emmarchement.

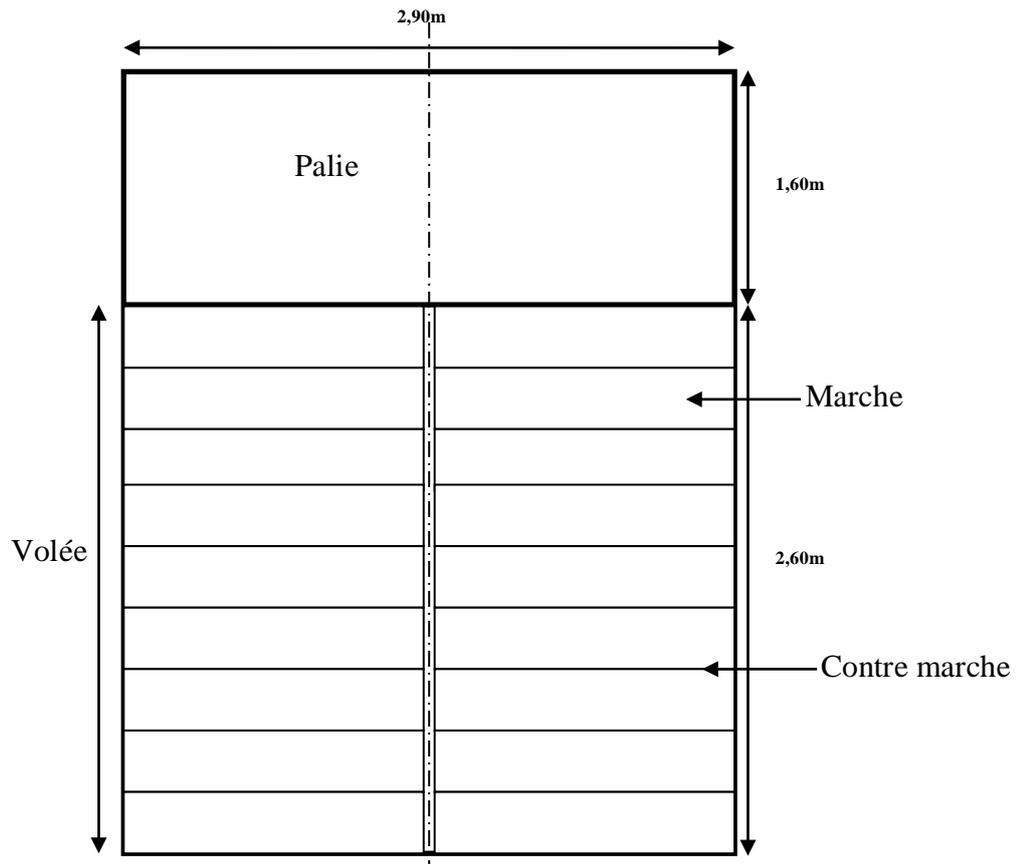


Figure III-5 : Cage d'escalier

## 1. Dimensionnement d'escalier

Pour le dimensionnement de la marche « G » et la hauteur de contre marche « h », on utilise la formule de « **BLONDEL** ».

$$59 \leq G + 2H \leq 64$$

$$H = h * n \Rightarrow h = H/n$$

$$L = G(n - 1) \Rightarrow G = \frac{L}{n - 1}$$

Avec :

n : nombre de contre marches.

n - 1 : nombre de marches.

H : Hauteur à monter.

L : longueur de la foulée

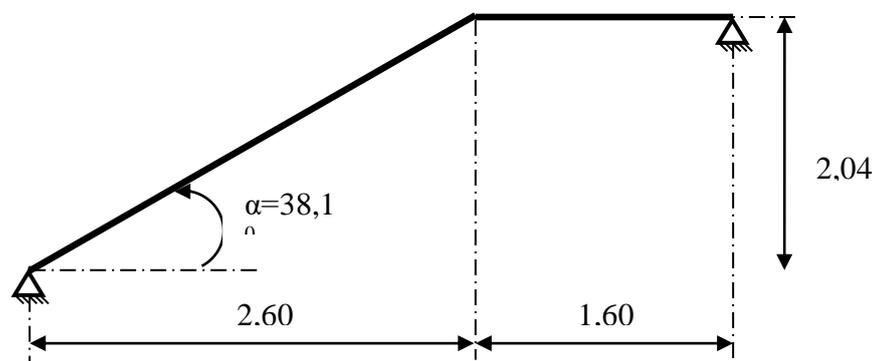


Figure III-6 : Dimensionnement d'escalier.

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

h : longueur de la contre marche.

G : longueur de la marche

$$59 \leq \frac{2H}{n} + \frac{L}{n-1} \leq 64$$

$$64n^2 - n(64 + 2H + L) + 2H = 0$$

$$64n^2 - n(64 + 2 * 204 + 260) + 2 * 204 = 0$$

$$64n^2 - 732n + 408 = 0$$

$$\Delta = B^2 - 4.A.D = 732^2 - 4 * 64 * 408 = 431376$$

$$\sqrt{\Delta} = \sqrt{293764} = 656,79$$

$$n_1 = \frac{732 + 937,87}{2 * 64} = 11$$

On prend :  $n = 11 \Rightarrow n-1 = 10$

$$h = \frac{H}{n} = \frac{204}{11} = 18\text{cm}$$

$$G = \frac{L}{n-1} = \frac{260}{11-1} = 26\text{cm}$$

Vérification :  $59 \leq 26 + 2 * 18 \leq 64 \dots\dots\dots (C.V)$

### 1. La longueur de l'escalier

- **Epaisseur de la paillasse et le palier**

$$\frac{l}{30} \leq e \leq \frac{l}{20} \Rightarrow \frac{490,47}{30} \leq e \leq \frac{490,47}{20} \Rightarrow 16,34 \leq e \leq 24,52\text{cm}$$

$$l = \sqrt{L^2 + H^2} + 160 = \sqrt{204^2 + 260^2} + 160 = 490,47 \text{ cm}$$

On prend donc l'épaisseur **e = 20 cm**

- **Angle d'inclinaison de la paillasse**

$$\tan \alpha = \frac{L}{H} = \frac{204}{260} = 0,784 \Rightarrow \alpha = 38,1^0$$

### III-2-3 Evaluation des charges et surcharges : [7]

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

### A. Charges permanentes

#### 1) Palier

- Poids propre du palier(e=20cm) .....  $25 \times 0,20 = 5 \text{ kN/m}^2$
- Mortier de pose (e=3cm) .....  $20 \times 0,03 = 0,60 \text{ kN/m}^2$
- Carrelage (e=2cm) .....  $20 \times 0,02 = 0,40 \text{ kN/m}^2$
- Enduit de ciment (e=2cm) .....  $18 \times 0,02 = 0,36 \text{ kN/m}^2$

$$\Sigma G = 6,36 \text{ KN/m}^2$$

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

#### 2) Paillasse

### B. Charge permanente

- Poids propre de la paillasse .....  $25 \times 0,20 / \cos(38,1) = 6,35 \text{ kN/m}^2$
- Poids propre de la marche .....  $22 \times 0,17/2 = 2,13 \text{ kN/m}^2$
- Carrelage (2cm) .....  $20 \times 0,02 = 0,40 \text{ kN/m}^2$
- Mortier de pose (2cm) .....  $20 \times 0,02 = 0,40 \text{ kN/m}^2$
- Enduit de ciment .....  $18 \times 0,02 = 0,36 \text{ kN/m}^2$
- garde corps en maçonnerie .....  $= 1,62 \text{ kN/m}^2$

$$\Sigma G = 11,95 \text{ KN/m}$$

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

### III-2-4 Combinaisons des charges

#### A - E.L.U

$$P_{U1} = 1,35G_1 + 1,5Q$$

$$P_{U1} = 1,35 * 6,36 + 1,5 * 2,5 = 12,336 \text{ KN/m}$$

$$P_{U3} = 1,35G_2 + 1,5Q$$

$$P_{U3} = 1,35 * 11,95 + 1,5 * 2,5 = 19,88 \text{ KN/m}$$

### 1-Schéma statique

#### 2- Les réactions

$$R_{Ax} = 0$$

$$R_{Ay} = 39,44\text{KN}$$

$$R_{cy} = 31,97\text{ KN}$$

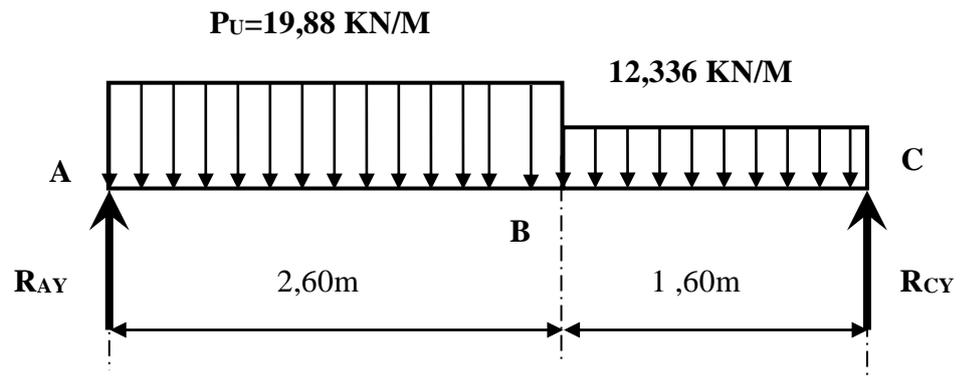


Figure III-7 : Schéma statique d'escalier à E.L.U.

#### 3- Moments et l'effort tranchant

##### Coupe 1-1 : $0 \leq x \leq 2,60\text{m}$

$$\begin{cases} T(0) = 39,44\text{KN} \\ T(2,6) = -12,24\text{KN} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M(0) = 0 \\ M(2,6) = 35,34\text{KN.m} \end{cases}$$

##### Coupe 2-2 : $0 \leq x \leq 1,60\text{m}$

$$\begin{cases} T(0) = 31,97\text{KN} \\ T(1,6) = 12,24\text{KN} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M(0) = 0 \\ M(1,6) = 35,34\text{KN.m} \end{cases}$$

#### 4 - Le moment maximal en travée :

$$T = 0 \Rightarrow x = 2,59\text{m}$$

$$M_{\max} = M(2,59) = 41,42\text{KN.m}$$

Les moments fléchissant et les efforts tranchants sont donnés par la figure III-8

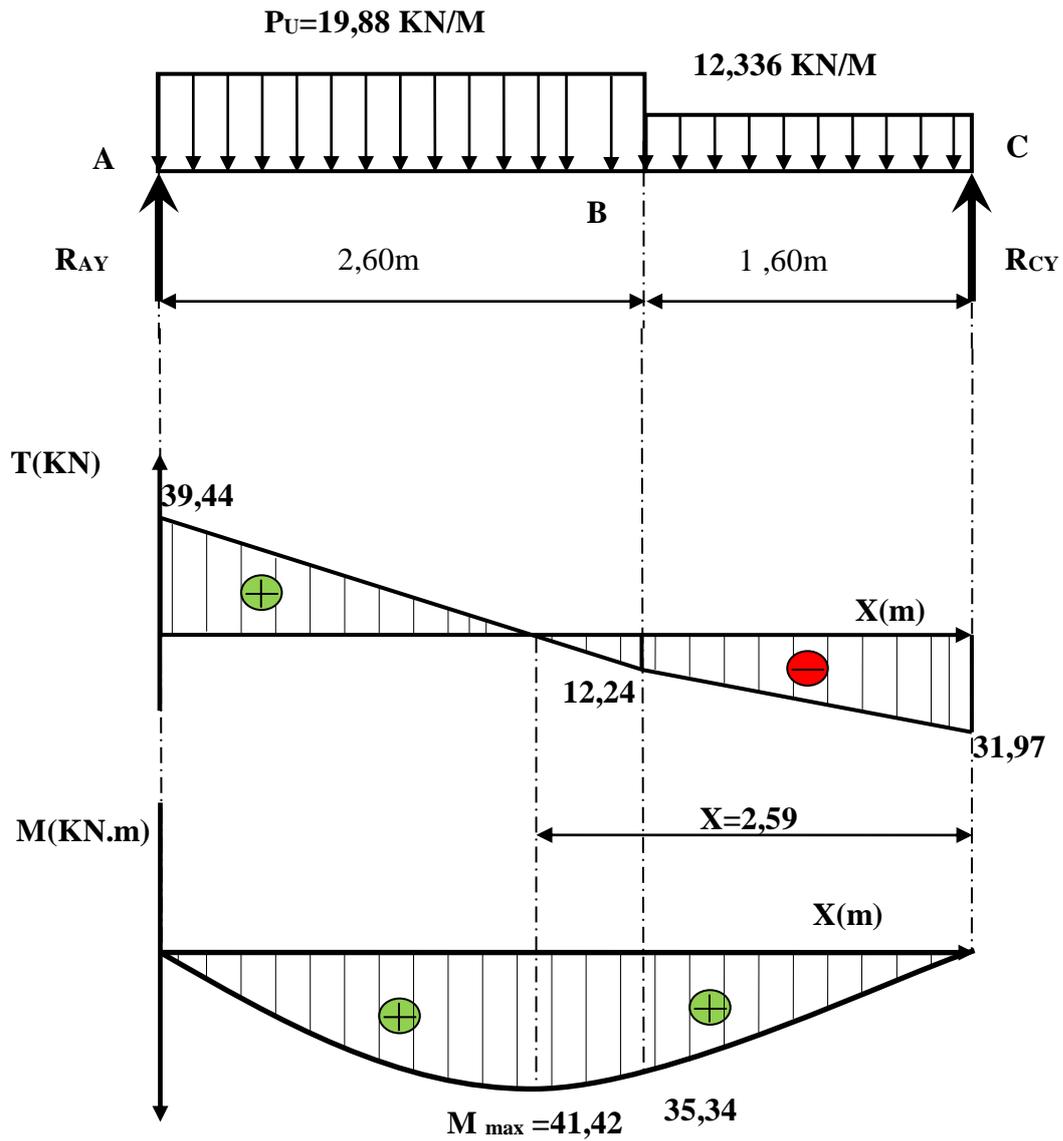


Figure III-8 : Diagramme des moments et des efforts tranchants à E.L.U.

*B -L'E.L.S*

$$P_U = G + Q$$

$$P_{U1} = 6,36 + 2,5 = 8,86 \text{ kN/m}$$

$$P_{U2} = 11,95 + 2,5 = 14,45 \text{ kN/m}$$

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

### 1-Schéma statique

#### 2- Calcul de réactions

$$R_{Ax} = 0$$

$$R_{Ay} = 28,64\text{KN}$$

$$R_{Cy} = 23,1\text{ KN}$$

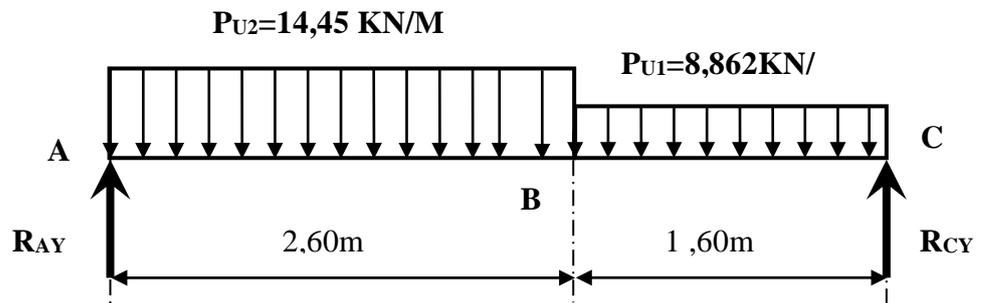


Figure III-9 : Schéma statique d'escalier à E.L.S.

#### Coupe 1-1 : $0 \leq x \leq 2,6\text{m}$

$$\begin{cases} T(0) = 28,64\text{KN} \\ T(2,4) = -8,93\text{KN} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M(0) = 0 \\ M(2,4) = 25,62\text{KN.m} \end{cases}$$

#### Coupe 2-2 : $0 \leq x \leq 1,60\text{m}$

$$\begin{cases} T(0) = 23,1\text{KN} \\ T(1,6) = 8,93\text{KN} \end{cases}$$

$$\begin{cases} M(0) = 0 \\ M(1,5) = 25,62\text{KN.m} \end{cases}$$

#### 4 - Le moment maximal en travée

$$T = 0 \Rightarrow x = 2,6\text{m}$$

$$M_{\max} = M(2,6) = 30,10\text{KN.m}$$

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

Les moments fléchissant et les efforts tranchants sont donnés par la figure III-10

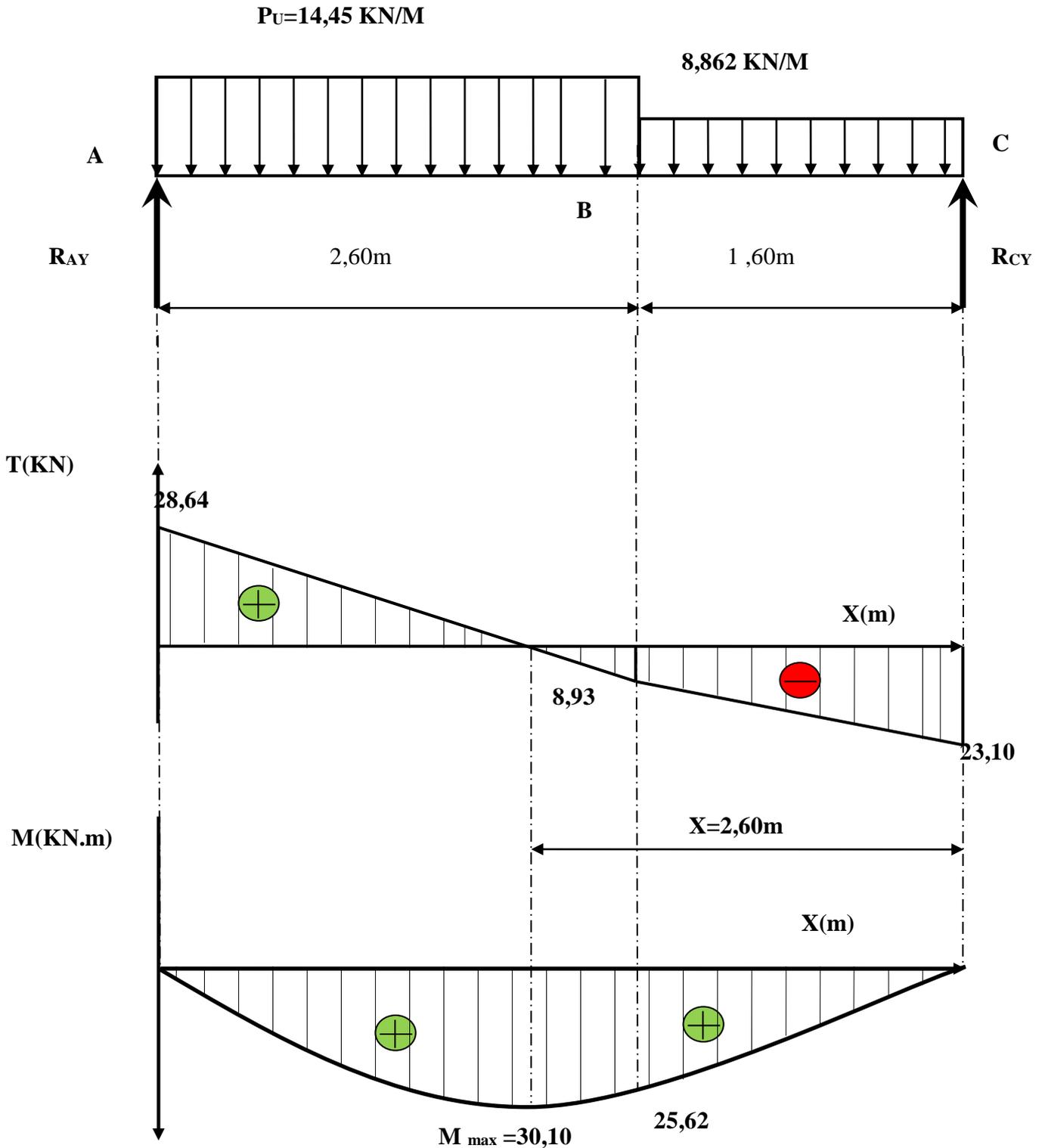


Figure III-10 : Diagramme des moments et des efforts tranchants à E.L.S.

### III-2-5 Ferrailage a l'état limite ultime de résistance

Le ferrailage se fait en flexion simple pour une bande de 1 m de largeur.

#### III-2-5-1 Les moments

##### E.L.U

$$\text{En travée } M_t = 0,8 * M_{u \max} = 0,8 * 41,42 = 33,13 \text{KN. ml}$$

$$\text{En appuis } M_a = 0,2 * M_{u \max} = 0,2 * 41,42 = 8,28 \text{KN. ml}$$

##### E.L.S

$$\text{En travée } M_t = 0,8 * M_{s \max} = 0,8 * 30,1 = 24,08 \text{KN. ml}$$

$$\text{En appuis } M_a = 0,2 * M_{s \max} = 0,2 * 30,1 = 6,02 \text{KN. ml}$$

#### 1-En travée

avec : La fissuration est peu nuisible.

$$b = 100 \text{cm}; h = 20 \text{cm}; f_e = 400 \text{ Mpa}; d = 0,9h = 18 \text{ cm}; f_{c28} = 25 \text{ Mpa};$$

$$f_{bc} = 14,16 \text{ Mpa}; c = 2 \text{cm}.$$

#### ➤ Armatures longitudinales

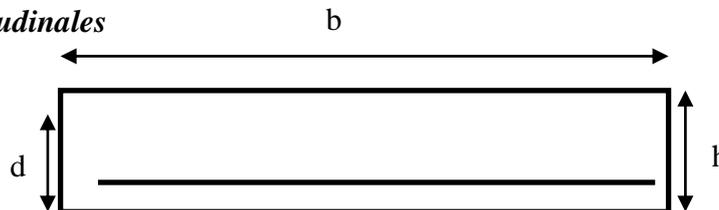


Figure III-11 : Schéma de position des armatures longitudinales.

$$\mu_{bu} = \frac{M_t}{b * d^2 * f_{bu}} = \frac{33,13 * 10^{-3}}{1 * (0,18)^2 * 14,16} = 0,0722$$

$$\gamma_b = \frac{M_u}{M_{ser}} = \frac{33,13}{24,08} = 1,37$$

$$\mu_{lu} = (0,3367 * \gamma_b) - 0,1711$$

$$\mu_{lu} = (0,3367 * 1,37) - 0,1711 = 0,29$$

$$\mu_{bu} = 0,0601 < \mu_{lu} = 0,29$$

$$\text{Donc: } \hat{A}_s = 0$$

⇒ Pivot A

$$\zeta = 10\%$$

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

Les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1,25 * (1 - \sqrt{(1 - (2 * \mu_{bu}))}) = 1,25 * (1 - \sqrt{(1 - (2 * 0,0601))}) = 0,0775$$

$$Z = d (1 - (0,4 * \alpha)) = 0,18(1 - (0,4 * 0,0775)) = 0,17442 \text{ m}$$

$$Z = 17,44 \text{ cm}$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 347,8 \text{ Mpa}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\sigma_s * z} = \frac{33,13 * 10^{-3}}{347,8 * 0,1744} = 5,46 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 5,46 \text{ cm}^2 \text{ On prend } A_s = \mathbf{6T 12} = \mathbf{6,79 \text{ cm}^2}$$

### ➤ *L'espacement*

$$\text{esp} \leq \frac{100}{6} = 16,67 \text{ cm}$$

On prend **S<sub>t</sub>=16cm**

### ➤ *armatures de répartitions*

$$A_R \geq \frac{A_s}{4} \Rightarrow A_R \geq 1,697 \text{ cm}^2$$

On choisi **4T12 = 4,52cm<sup>2</sup>** avec un espacement : **S<sub>t</sub> =  $\frac{100}{4} = 25 \text{ cm}$**

### *A. Vérifications nécessaires a E. L. U*

#### *a) Condition de non fragilité*

$$A_s \geq A_{min} = \text{Max} \left\{ \frac{b * h}{1000}; 0,23 * b * d * \frac{f_{t28}}{f_e} \right\}$$

$$A_s \geq A_{min} = \text{Max} \left\{ \frac{100 * 20}{1000}; 0,23 * 100 * 18 * \frac{2,1}{400} \right\} = 2,17 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 4,21 \text{ cm}^2 \geq A_{min} = 2,17 \text{ cm}^2 \dots\dots\dots(\text{C.V})$$

#### *b) Vérification de l'effort tranchant*

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

La contrainte de cisaillement est donnée par la formule suivante :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b * d} \leq \bar{\tau}_u = \text{Min} \left( \frac{0,2f_{c28}}{\gamma_b}; 5\text{Mpa} \right) = 3,64\text{Mpa}$$

$$\tau_u = \frac{39,44 * 10^3}{1000 * 180} = 0,219\text{Mpa} < \bar{\tau}_u = 2,5\text{Mpa} \dots \dots \dots \text{vérifiée}$$

### c) Vérification des armatures transversales

$$\tau_u = 0,219\text{Mpa} < 0,05f_{c28} = 1,25\text{Mpa} \dots \dots \dots \text{vérifiée}$$

Donc les armatures transversales ne sont pas nécessaires

### B. Vérifications nécessaires a E. L.S

La fissuration est considérée comme peu nuisible; donc il n'est pas nécessaire de vérifier d'ouverture des fissures.

#### 01. Vérification des contraintes du béton

$$\sigma_b \leq \bar{\sigma}_b$$

$$\sigma_b = y * \frac{M_{ser}}{I} \leq \bar{\sigma}_b = 0,6 * f_{c28} = 15 \text{ Mpa}$$

Avec :  $n=15$ ;  $c=2\text{cm}$  ;  $d=18 \text{ cm}$  ;  $b=100 \text{ cm}$  ;

$A_s=6,79 \text{ cm}^2$ ;  $A'=0$ ;  $M_s=25,05 \text{ KN.m}$

#### 02. Position de l'axe neutre

L'équation s'écrit :

$$\frac{by^2}{2} - n * A_s(d - y) = 0$$

$$\frac{100y^2}{2} - 15 * 6,79(18 - y) = 0$$

$$100y^2 - 203,7y + 3666,6 = 0$$

Solution :

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

$$\Delta = 1,5 * 10^6 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 1228,06 \Rightarrow y_1 = -7,15; y_2 = 5,12 \rightarrow y = 5,12 \text{ cm}$$

### 03. Moment d'inertie

$$I = \frac{by^3}{3} - n * A_s(d - y)^2$$

$$I = 21370,26 \text{ cm}^4$$

Donc :

$$\sigma_b = y * \frac{M_{ser}}{I} = 5,12 * \frac{30,1 * 10^3}{21370,26} = 1,408 \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{C.V}$$

### 2-En Appuis:

La fissuration est peu nuisible,  $b = 100 \text{ cm}$ ;  $h = 20 \text{ cm}$ ;  $f_e = 400 \text{ Mpa}$

$d = 0,9h = 18 \text{ cm}$ ;  $f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$ ;  $f_{bc} = 14,16 \text{ Mpa}$ ;  $c = 2 \text{ cm}$ .

$$\mu_{bu} = \frac{M_a}{b * d^2 * f_{bu}} = \frac{8,28 * 10^{-3}}{1 * (0,18)^2 * 14,16} = 0,018$$

$$\gamma_b = 1,37$$

$$\mu_{lu} = (0,3367 * \gamma_b) - 0,1711$$

$$\mu_{lu} = (0,3367 * 1,37) - 0,1711 = 0,29$$

$$\mu_{bu} = 0,015 < \mu_{lu} = 0,29$$

**Donc:**  $\hat{A}_s = 0 \Rightarrow$  Pivot A  $\zeta = 10\%$

Les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1,25 * (1 - \sqrt{(1 - (2 * \mu_{bu}))}) = 1,25 * (1 - \sqrt{(1 - (2 * 0,015))}) = 0,0188$$

$$Z = d(1 - (0,4 * \alpha)) = 0,18(1 - (0,4 * 0,0188)) = 0,17864 \text{ m}$$

$$Z = 17,86 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\sigma_s * z} = \frac{8,28 * 10^{-3}}{347,8 * 0,1786} = 0,000133 \text{ m}^2$$

$$A_s = 1,33 \text{ cm}^2$$

On prend  $A_s = 3T 10 = 2,36 \text{ cm}^2$

### 01. L'espacement

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

$$\text{esp} \leq \frac{100}{3} = 33,33\text{cm}$$

On prend  $S_t=30\text{cm}$

### 02. Armatures de répartitions

$$A_R \geq \frac{A_S}{4} \Rightarrow A_R \geq 0,59\text{cm}^2$$

On choisi  $4T8 = 2,01\text{cm}^2$  avec un espacement :  $S_t = \frac{100}{4} = 25\text{cm}$

### A. Vérifications nécessaires à E. L. U

#### a) Condition de non fragilité

$$A_s \geq A_{\min} = \text{Max} \left\{ \frac{b * h}{1000}; 0,23 * b * d * \frac{f_{t28}}{f_e} \right\}$$

$$A_s \geq A_{\min} = \text{Max} \left\{ \frac{100 * 20}{1000}; 0,23 * 100 * 18 * \frac{2,1}{400} \right\} = 2,17\text{cm}^2$$

$$A_s = 2,36\text{ cm}^2 \geq A_{\min} = 2,17\text{ cm}^2 \dots\dots\dots(\text{C.V})$$

#### b) Vérification de l'effort tranchant

La contrainte de cisaillement est donnée par la formule suivante :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b * d} \leq \bar{\tau}_u = \text{Min} \left( \frac{0,2f_{c28}}{\gamma_b}; 5\text{Mpa} \right) = 3,64\text{Mpa}$$

$$\tau_u = \frac{39,44 * 10^3}{1000 * 180} = 0,219\text{Mpa} < \bar{\tau}_u = 2,5\text{Mpa} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

#### c) Vérification des armatures transversales

$$\tau_u = 0,219\text{Mpa} < 0,05f_{c28} = 1,25\text{Mpa} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

Donc les armatures transversales ne sont pas nécessaires

### B. Vérifications nécessaires a E. L.S

La fissuration est considérée comme peu nuisible; donc il n'est pas nécessaire de vérifier d'ouverture des fissures.

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

### a) Vérification des contraintes du béton

$$\sigma_b \leq \bar{\sigma}_b$$

$$\sigma_b = y * \frac{M_{ser}}{I} \leq \bar{\sigma}_b = 0,6 * f_{c28} = 15 \text{ Mpa}$$

Avec :  $n=15$ ;  $c=2\text{cm}$  ;  $d=18\text{ cm}$  ;  $b=100\text{ cm}$  ;

$$A_s=2,36\text{ cm}^2; A' = 0; M_S=6,9\text{ KN.m.}$$

### b) Position de l'axe neutre

L'équation s'écrit :

$$\frac{by^2}{2} - n * A_s(d - y) = 0$$

$$\frac{100y^2}{2} - 15 * 2,36(18 - y) = 0$$

$$100y^2 - 70,8y + 637,2 = 0$$

Solution :

$$\Delta = 2,59 * 10^5 \Rightarrow \sqrt{\Delta} = 508,79 \Rightarrow y_1 = -2,90; y_2 = 2,19$$

$$y = 2,1\text{cm}$$

### c) Moment d'inertie

$$I = \frac{by^3}{3} - n * A_s(d - y)^2$$

$$I = 9198,56\text{cm}^4$$

Donc :

$$\sigma_b = y * \frac{M_{ser}}{I} = 5,12 * \frac{6,02 * 10^3}{9198,56} = 0,654 \leq \bar{\sigma}_b = 15 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{C. V}$$

### III-2-6 Ferrailage de la poutre palière

$$L=2,90\text{m}$$

$$\frac{l}{15} \leq h_t \leq \frac{l}{10} \quad 19,33 \leq h_t \leq 29$$

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

Soit  $h_t = 30\text{cm}$                        $b = 30\text{cm}$

La section de la poutre palière (30x30)  $\text{cm}^2$

### 1) vérification selon RPA99

- $b > 20\text{cm}$  .....C.V
- $h > 30\text{cm}$  .....C.V
- $\frac{h}{b} < 4$  .....C.V
- $b_{\max} < 1,5 h + b_1$ .....C.V

Donc la section de la poutre palière (30x 30).

### 2) descente de charge

- poids propre de la poutre palière :  $G = 2500 \times 0,3 \times 0,3 = 225 \text{ dan/ml}$
- la réaction de l'escalier =  $3200\text{dan/ml}$

#### 2-a/ E.L.U.R

$$q = 1,35G + R_e = 1,35 \times 225 + 3200 = 3503,75 \text{ dan/ml}$$

$$q = 3503,75 \text{ dan/ml}$$

### 3) calcul des sollicitations

#### 3-a/ E.L.U.R

$$M = \frac{q.l^2}{8} = \frac{3503,75 \times 4,05^2}{8} = 7183,78 \text{ dan.m}$$

travée

$$M_t = 0,85 M_u = 6106,21 \text{ dan.m}$$

appui

$$M_a = 0,4 M_u = 2873,51 \text{ dan.m}$$

## V. 3.6.1.Ferraillage en travé et en appui

### 1)- En travée

$$\mu = \frac{M_u^t}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{6106,21}{30 \cdot (26)^2 \cdot 14,2} = 0,0212 > 0,186$$

$$\text{Pivot B} \quad \mu < \mu_t = 0,391 \quad A' = 0$$

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 348 \text{ Mpa}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) = 0,0275$$

## CHAPITRE III : Calcul des éléments secondaire

$$\beta = 1 - 0,4 \alpha = 0,80$$

$$A = \frac{M_u^t}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{61062,1}{0,80 \cdot 26 \cdot 348} = 8,43 \text{ cm}^2$$

### Condition de non fragilité : d'après BAEL91

$$A_{\min} = 0,23 \text{ bd} \frac{f_{tj}}{f_e}$$

$$A_{\min} = 0,23 \cdot 30 \cdot 26 \cdot \frac{2,1}{400} = 1,3 \text{ cm}^2$$

### c) Choix d'armature

$$A = \max (A_{\text{cal}} \cdot A_{\text{min}})$$

$$A = 8,43 \text{ cm}^2 \longrightarrow \text{Soit } 6\text{T}14 = 9,24 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

### En appui

#### a-ELUR

$$\mu = \frac{M_a}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}} = \frac{28735,1}{30 \cdot (26)^2 \cdot 14,2} = 0,099 < 0,186$$

$$\text{Pivots A: } A' = 0$$

$$\Rightarrow \sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} = 348 \text{ MPa}$$

$$\alpha = 1,25 (1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu}) = 0,1237$$

$$\beta = 1 - 0,4 \cdot \alpha = 0,95$$

$$A = \frac{M_{\max}}{\beta \cdot d \cdot \sigma_s} = \frac{28735,1}{0,95 \cdot 26 \cdot 348} = 3,34 \text{ cm}^2$$

### Condition de non fragilité

$$A_{\min} = 0,81 \text{ cm}^2$$

### Le choix d'armature

$$A_a = \max. (A_{\text{cal}} \cdot A_{\min}) = 3,34 \text{ cm}^2$$

$$\text{Soit } A_a = 3\text{T}14 = 4,62 \text{ cm}^2/\text{ml } e_p = 15 \text{ cm}$$

$$A_r = 3\text{T}12 \text{ } e_p = 15 \text{ cm}$$

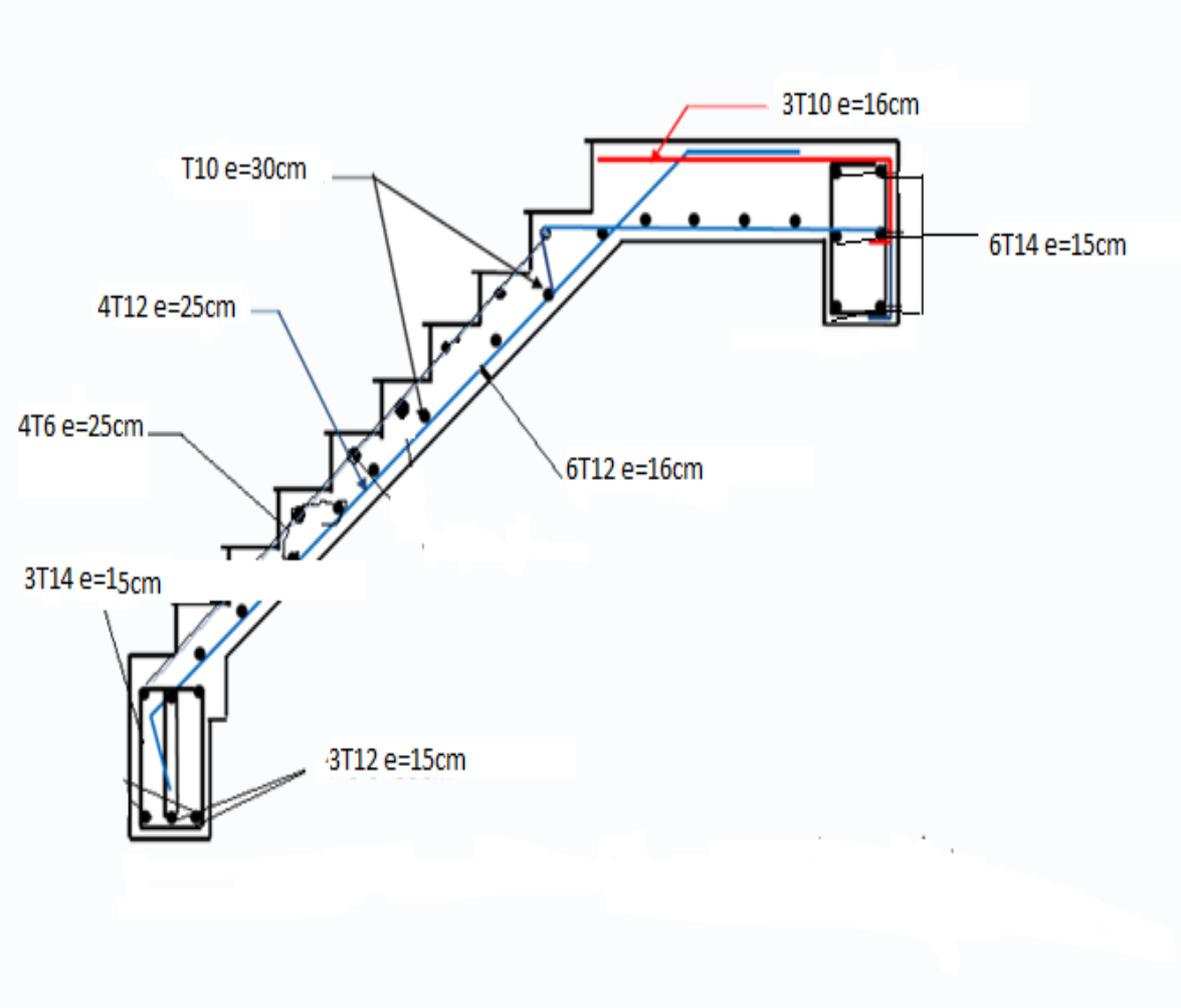


Figure III-12 : Schéma de ferrailage d'escaliers.

### Chapitre IV : Etude de plancher

#### *IV- 1- Introduction*

Dans ce chapitre on présente l'étude des plancher. La structure du bâtiment que nous sommes en train d'étudier est différente de celle que nous l'avons pu le souligner précédemment, elle est composée uniquement de voiles en béton armé porteurs ainsi que des planchers a dalle pleine.

#### *IV-2 Predimensionnement de plancher*

##### *IV-2-1 Plancher en dalle pleine*

###### *IV-2-1-1 Epaisseur des dalles « $h_d$ »*

La valeur «  $h_d$  » doit également permettre de satisfaire aux conditions

- 1) La résistance à l'incendie.
- 2) L'isolation phonique.
- 3) La sollicitation d'effort tranchant

Par les La formules empiriques suivantes :

$$\frac{LX}{35} < h_d < \frac{LX}{30}$$
$$\frac{356}{35} < h_d < \frac{356}{30}$$
$$10,10 < h_d < 11,86$$

L'épaisseur des dalles dépend plus souvent des conditions et de résistance, on déduira donc l'épaisseur des dalles des conditions ci-après :

- Nous avons la limite de RPA minimal qui est de 12 cm
- Sécurité contre l'incendie
  - e = 7 cm pour une heure de coupe-feu.
  - e = 11 cm pour deux heures de coupe-feu.

## CHAPITRE IV : Etude de plancher

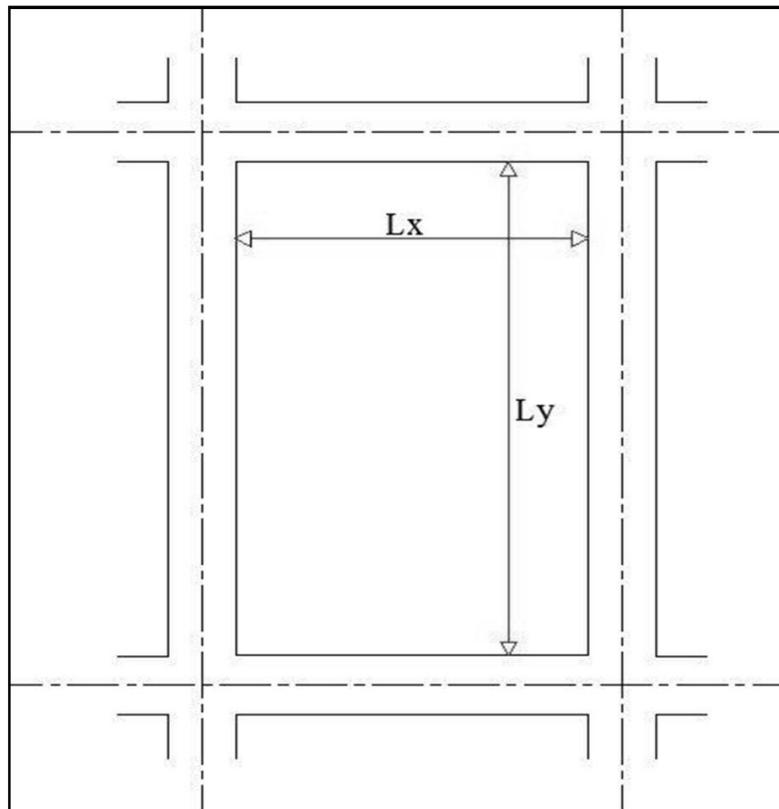
- Condition isolation acoustique

Selon les règles, l'épaisseur du plancher doit être supérieure ou égale à : 13 cm pour obtenir une bonne isolation acoustique.

On prend  $e = 14 \text{ cm}$

$L_x$  est la longueur suivant le sens X (sens porteur).

$L_y$  est la longueur suivant le sens Y (répartition).



*Figure IV-1 : schéma d'un panneau de dalle.*

### *IV-2-1-2 Calcul des moments dus au poids propre de la dalle*

Soit un panneau de dalle chargé de portées  $L_x$   $L_y$  mesurées entre nœud d'appuis

$$a = \frac{L_x}{L_y}$$

## CHAPITRE IV : Etude de plancher

Si  $0,40 \leq a \leq 1$

La dalle est considérée comme portant dans deux sens

Si  $a \leq 0,40$

La dalle est considérée comme portant dans la direction de sa petite portée

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y} = \frac{3,56}{7,07} = 0,50$$

La dalle travaille dans les deux sens

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y} = \frac{3,46}{9,28} = 0,37$$

La dalle travaille dans un sens

### IV-2-2 Descente de charges

#### IV-2-2-1 Les charges permanentes

Représentent un poids mort qui n'est pas variable ou varie très peu dans le temps.

*Tableau IV.1 : Les charges permanentes du plancher terrasse (inaccessible).*

| Matériau                           | Epaisseur (cm) | q (Kg/m <sup>2</sup> /cm) | G (daN/m <sup>2</sup> ) |
|------------------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|
| Gravillon de protection            | 5              | 20                        | 100                     |
| Etanchéité multicouche             | /              | /                         | 12                      |
| Forme de pente en béton (1%)       | 10             | 22                        | 220                     |
| Isolation thermique en polystyrène | 4              | 2,5                       | 10                      |
| Dalle pleine en béton armé         | 14             | 25                        | 350                     |
| Film polyane                       | /              | /                         | 5                       |
| Enduit au plâtre                   | 3              | 5,33                      | 16                      |
|                                    |                |                           | 715                     |

*Tableau IV.2 : Les charges permanentes du plancher étage courant.*

| Matériau                   | Epaisseur (cm) | q (Kg/m <sup>2</sup> /cm) | G (daN/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|
| Revêtement en carrelage    | 2              | 60                        | 120                     |
| Dalle pleine en béton armé | 14             | 25                        | 350                     |
| Enduit en plâtre           | 3              | 5                         | 15                      |
| Cloisons légères           | /              | /                         | 100                     |
|                            |                |                           | 585                     |

## CHAPITRE IV : Etude de plancher

*Tableau IV.3 : Les charges permanentes du plancher RDC.*

| Matériau                   | Epaisseur (cm) | q (Kg/m <sup>2</sup> /cm) | G (daN/m <sup>2</sup> ) |
|----------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|
| Revêtement en carrelage    | 2              | 60                        | 120                     |
| Dalle pleine en béton armé | 14             | 25                        | 350                     |
| Enduit en plâtre           | 3              | 5                         | 15                      |
| Cloisons légères           | /              | /                         | 100                     |
|                            |                |                           | <b>585</b>              |

*Tableau IV-4 : Les charges permanentes du plancher Sous sol.*

| Matériau                          | Epaisseur (cm) | q (Kg/m <sup>2</sup> /cm) | G (daN/m <sup>2</sup> ) |
|-----------------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------|
| <b>Dalle pleine en béton armé</b> | 14             | 25                        | 350                     |
| <b>Cloisons légères</b>           | /              | /                         | 100                     |
|                                   |                |                           | <b>450</b>              |

### *IV-2-2-2 Les charges d'exploitations*

Surcharges qui varient fréquemment dans le temps, celles-ci sont présentées dans le D.T.R des charges permanentes et surcharges d'exploitations.

Il faut rappeler que notre ouvrage est bâtiment à usage d'habitation.

- 1) Planchers terrasse (inaccessible) :  $Q = 100 \text{ daN/m}^2$**
- 2) Planchers étage courant (niveau 1 < 08) :  $Q = 150 \text{ daN/m}^2$**
- 3) Sous sol :  $Q = 250 \text{ daN/m}^2$**

### IV-2-3 La combinaison d'action

#### 1) Planchers terrasse (inaccessible)

$$\text{ELU : } P_u = 1,35G + 1,5Q < P_u = 1,35 \times 715 + 1,5 \times 100$$

$$P_u = 980,25 \text{ daN/m}^2$$

$$\text{ELS : } P_{\text{ser}} = G + Q < P_{\text{ser}} = 715 + 100$$

$$P_{\text{ser}} = 815 \text{ daN/m}^2$$

#### 2) Planchers étage courant

$$\text{ELU : } P_u = 1,35G + 1,5Q < P_u = 1,35 \times 585 + 1,5 \times 150$$

$$P_u = 1014,75 \text{ daN/m}^2$$

$$\text{ELS : } P_{\text{ser}} = G + Q < P_{\text{ser}} = 585 + 150$$

$$P_{\text{ser}} = 735 \text{ daN/m}^2$$

#### 3) Planchers étage courant

$$\text{ELU : } P_u = 1,35G + 1,5Q < P_u = 1,35 \times 585 + 1,5 \times 500$$

$$P_u = 1539,75 \text{ daN/m}^2$$

$$\text{ELS : } P_{\text{ser}} = G + Q < P_{\text{ser}} = 585 + 500$$

$$P_{\text{ser}} = 1085 \text{ daN/m}^2$$

#### 4) Plancher sous sol

$$\text{ELU : } P_u = 1,35G + 1,5Q < P_u = 1,35 \times 450 + 1,5 \times 250$$

$$P_u = 982,5 \text{ daN/m}^2$$

$$\text{ELS : } P_{\text{ser}} = G + Q < P_{\text{ser}} = 450 + 250$$

$$P_{\text{ser}} = 700 \text{ daN/m}^2$$

### *IV-3 Plancher dalle pleine*

Les dalles pleines sont des éléments d'épaisseur faible par rapport aux autres dimensions, chargée perpendiculairement à leur plan moyen reposant sur deux, deux ou quatre appuis. Des dalles pleines en porte à faux (console) existent aussi.

Dans notre structure, on a des dalles pleines sous forme rectangulaire qui repose sur quatre et deux appuis pour le calcul on choisi les dalles les plus sollicitées :

- (3,40, 7,07) m<sup>2</sup> qui travaille dans les deux sens ;
- (3,46, 9,28) m<sup>2</sup> qui travaille dans un sens.

D'après le pré-dimensionnement nous adoptons une dalle de 14cm d'épaisseur.

#### *IV-3-1 Principe de calcul :*

Une dalle pleine est une plaque horizontale porteuse en béton armé, d'épaisseur 8 à 16 cm. Elle est appuyée par 2,3 ou 4 appuis constitués par des poutres, des murs ou des voiles.

Pour le calcul, on utilisera la méthode BAEL, cette méthode s'applique aux dalles rectangulaires en continuité, totalement ou partiellement encastées, soumises à un chargement quelconque, en respectant la règle de fermeture des moments à **1,25 M<sub>0</sub>** dans les deux directions

Cette règle permet de simplifier considérablement les calculs en évitant, pour les dalles appartenant à un maillage de rectangle, un calcul bidimensionnel fastidieux de rectangles chargés et déchargés.

En effet, la sécurité à la rupture de la dalle pourra être assurée par une redistribution des moments entre moments sur appuis et moments en travée. La marge de **0,25M<sub>0</sub>** permet de réduire la fissuration qui serait dû à une insuffisance d'acier sur appui ou en travée par rapport à la solution obtenue par un calcul exact (programme aux éléments finis par exemple).

#### *IV-3-2 Hypothèses de calcul*

##### *IV-3-2-1 Dalle portant dans un seul sens*

Appelé aussi dalle sur deux appuis, elle porte dans un seul sens, lorsque les deux conditions suivantes sont vérifiées :

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y} < 0,40$$

La charge est uniformément chargée.

**Remarque :**

Les moments fléchissant sont évalués en prenant en compte la flexion uniquement suivant la petite dimension  $L_x$ .

Le calcul se fait comme pour une poutre de section rectangulaire de largeur ( $b = 1m$ ) et de hauteur ( $h_0$ ) et de portée ( $L_x$ ).

Les armatures ( $A_x$ ) calculées sont parallèles à ( $L_x$ ) et suivant le sens de ( $L_y$ ), on place des armatures de répartition ( $A_y$ ).

Pour la détermination des moments fléchissant d'une dalle continue et lorsqu'il s'agit d'un plancher a charge d'exploitation modérée et considéré semi-encasté au niveau des appuis de rive, on a alors :

**IV-3-2-2 Dalle portant dans deux directions**

Dite dalle sur quatre appuis, elle porte dans deux direction, lorsque les deux conditions sont vérifier :

$$0.40 < \alpha = \frac{l_x}{l_y} < 1$$

La charge est uniformément chargée.

Ou la dalle est soumise à une charge concentrée.

**Remarque :**

D'après l'article (A.8.2, 32) du BAEL 91modif 99, Les dalles rectangulaires encastées (totalement ou partiellement) peuvent être calculées à la flexion à partir des efforts qui s'y développeraient si elles étaient articulées sur leur contour.

Les moments de flexion maximaux calculés dans l'hypothèse de l'articulation peuvent être réduits de 15% et 25% selon la condition d'encastrement ce qui conduit à un moment en travée  $M_t$  de, respectivement,  $0,85M_0$  et  $0,75M_0$ . Les moments d'encastrement seront dans ces conditions au moins de 40% et 50% des moments maximaux évalués dans l'hypothèse d'articulation.

## CHAPITRE IV : Etude de plancher

Dans le cas d'une dalle portant sur deux direction et reposant librement sur son pourtour, les moments fléchissant en travée ( $M_x$  et  $M_y$ ) doivent être affectés d'un coefficient réducteur (noté  $\mu_x$  et  $\mu_y$ ) déterminé en fonction de ( $a$  ;  $u$ ):

- Dans le sens de la petite portée :  $M_x = \mu_x q_u L_x^2$
- Dans le sens de la grande portée :  $M_y = \mu_y M_x$

❖  $\nu$  : coefficient de poisson

$\nu = 0,2$  (pour un béton non fissuré a l'ELS)

$\nu = 0$  (pour un béton fissuré a l'ELU).

### IV-3-3 Calcul des dalles

#### IV-3-3-1 Dalle travaille dans les deux sens

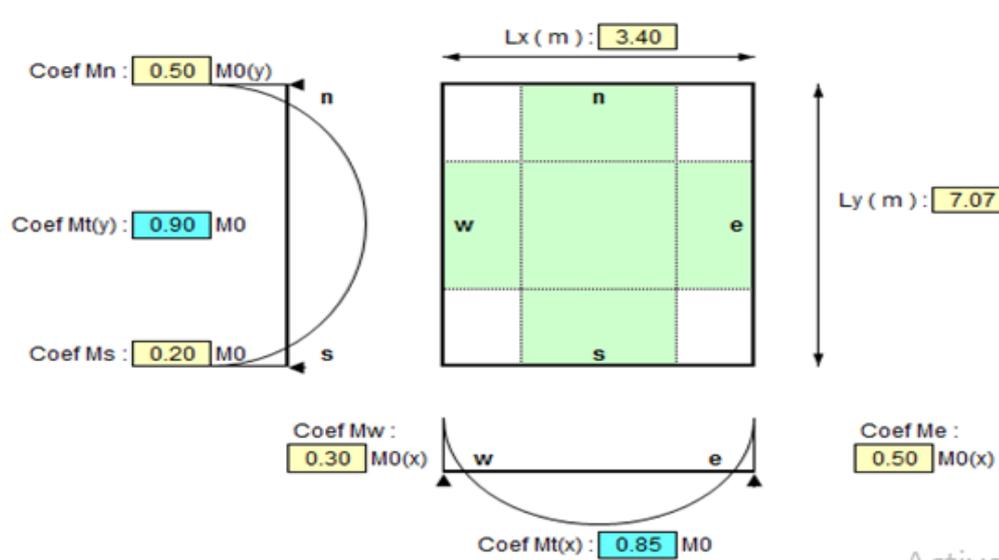


Figure IV-2 : Dalle sur 4 appuis.

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y} = \frac{3,56}{7,07} = 0,50 > 0,4$$

⇒ La dalle travaille dans les deux sens.

### A. Calcul des moments de RDC

- Dans le sens de la petite portée :  $M_x = \mu_x q_u L_x^2$
- Dans le sens de la grande portée :  $M_y = \mu_y M_x$

Les coefficients  $\mu_x$  et  $\mu_y$  sont fonction de  $\rho = \frac{L_x}{L_y}$  et de  $\nu$ .

$$\nu: \text{Coefficient de poisson} \begin{cases} 0 & \text{à l'ELU} \\ 0,2 & \text{à l'ELS} \end{cases}$$

$\mu_x$  et  $\mu_y$  sont donnés par l'abaque de calcul des dalles rectangulaires [1].

$$\rho = 0.50 \Rightarrow \begin{cases} \mu_x = 0.0965 \\ \mu_y = 0.2584 \end{cases}$$

$$M_x = \mu_x q_u L_x^2 = 0,0965 \times 3,40^2 \times 15,40 = 17,18 \text{ kNm}$$

$$M_y = \mu_y M_x = 0,2584 \times 17,18 = 4,44 \text{ kNm}$$

- **Moments en travées**

$$M_{tx} = 0,85 M_x = 14,60 \text{ kNm}$$

$$M_{ty} = 0,9 M_y = 3,99 \text{ kNm}$$

- **Moments sur appuis**

$$M_{ae} = 0,5 M_x = 5,15 \text{ kNm}$$

$$M_{aw} = 0,3 M_x = 8,59 \text{ kNm}$$

$$M_{an} = 0,5 M_x = 2,22 \text{ kNm}$$

$$M_{as} = 0,2 M_x = 0,89 \text{ kNm}$$

## CHAPITRE IV : Etude de plancher

### B. Ferrailage de la dalle de 4 appuis

$b=100\text{cm}$  ;  $h=14\text{cm}$  ;  $d=0,9h=12,6\text{cm}$  ;  $f_e=400\text{MPa}$  ;  $f_{c28}=25\text{MPa}$  ;  $f_{t28}=2,4\text{MPa}$  ;  
 $\sigma_s=348\text{MPa}$

| Plancher      |                      | Travees |      | appuis                 |                       |                         |                         |
|---------------|----------------------|---------|------|------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
|               |                      | xx      | Yy   | Appui <sub>Seast</sub> | Appui <sub>Swst</sub> | Appui <sub>Snorth</sub> | Appui <sub>Ssouth</sub> |
| RDC           | moments              | 14.60   | 3.99 | 5.15                   | 8.59                  | 2.22                    | 0.89                    |
| Etage courant |                      | 11.04   | 3.02 | 6.50                   | 3.09                  | 1.68                    | 0.67                    |
| Terrasse      |                      | 10.57   | 2.89 | 6.22                   | 7.73                  | 1.61                    | 0.64                    |
| RDC           | Sections d'armatures | 3.04    | 0.81 | 1.05                   | 1.75                  | 0.45                    | 0.18                    |
| Etage courant |                      | 2.28    | 0.61 | 1.32                   | 0.79                  | 0.34                    | 0.13                    |
| Terrasse      |                      | 2.18    | 0.58 | 1.27                   | 0.75                  | 0.32                    | 0.13                    |

Tableau IV-5 : Ferrailage de la dalle pleine sur 4 appuis.

### IV-3-3-2 Dalle travaille dans un seul sens

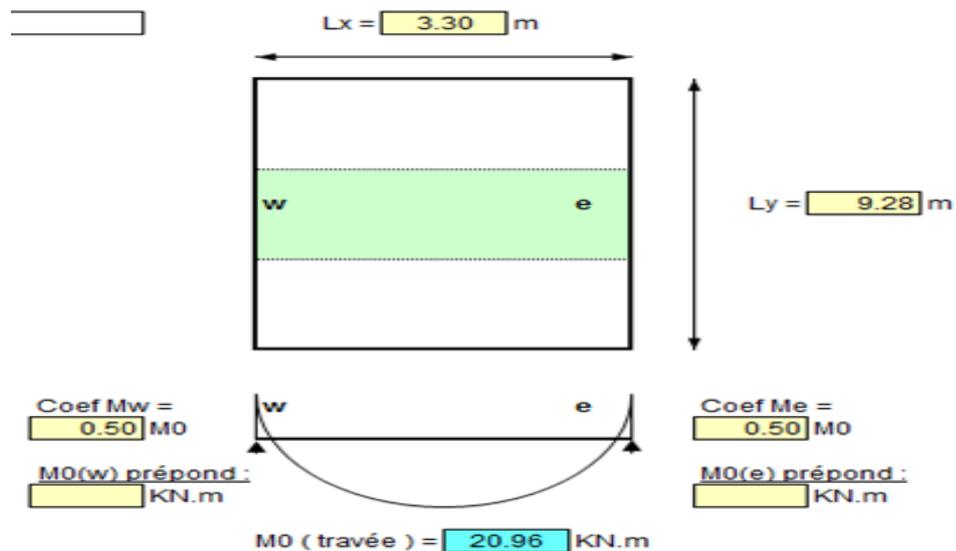


Figure IV-3 : Dalle sur 2 appuis.

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y} = \frac{3,46}{9,28} = 0,37 < 0,4$$

⇒ La dalle travaille dans un seul sens.

## A. Calcul des moments de RDC

- **Moment isostatique**

$$M_0 = \frac{Q_u \times L^2}{8} = \frac{15,40 \times 3,30^2}{8} = 20,96 \text{ kn. m}$$

- **Moment sur appuis**

$$M_w = M_e = 0,5M_0 = 10,48 \text{ Kn.m}$$

**Tableau IV-6** : Ferrailage de la dalle pleine sur 2 appuis.

| Plancher      |                      | Travees | Appuis                 |                        |
|---------------|----------------------|---------|------------------------|------------------------|
|               |                      | xx      | Appuis <sub>east</sub> | Appuis <sub>xest</sub> |
| RDC           | Moments              | 13.38   | 10,48                  | 10,48                  |
| Etage courant |                      | 9.35    | 7.93                   | 7.93                   |
| Terrasse      |                      | 8.35    | 7.59                   | 7.59                   |
| RDC           | Sections d'armatures | 2,78    | 2,16                   | 2,16                   |
| Etage courant |                      | 1,92    | 1,62                   | 1,62                   |
| Terrasse      |                      | 1,71    | 1,55                   | 1,55                   |

### IV-3-4 Les conclusion de ferrailage

#### A. Conclusion sur le ferrailage de la dalle plancher RDC Commerce

**Partie sup** :  $A_x = 2.16 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$A_y = 1.07 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Nappe en treille soudé** T5.5x5 / e=10x15cm

**Partie inf** :  $A_x = 3.04 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$A_y = 1.06 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Nappe en treille soudé** T8x6 / e=15x15cm

Soit un ferrailage composé de T8x6 / e=15x15cm en nappe inférieure et T5.5x5 / e=10x15cm en nappe supérieure.

### ❖ *Espacement*

#### ➤ *Travée*

**Nappe inférieure :**  $esp = \frac{100}{6} = 16.66\text{cm} < \text{Min}(3h; 33\text{cm}) = 33\text{cm} \dots \dots \dots \text{Vérifier}$

**Nappe supérieure :**  $esp = \frac{100}{5} = 20\text{cm} < \text{Min}(4h; 45\text{cm}) = 45\text{cm} \dots \dots \dots \text{Vérifier}$

#### ➤ *Appuis*

**Sens x-x :**  $esp = \frac{100}{6} = 16,16\text{cm} < \text{Min}(3h; 33\text{cm}) = 33\text{cm} \dots \dots \dots \text{Vérifier}$

**Sens y-y :**  $esp = \frac{100}{6} = 16,16\text{cm} < \text{Min}(4h; 45\text{cm}) = 45\text{cm} \dots \dots \dots \text{Vérifier}$

### ***B. Conclusion sur le ferrailage de la dalle plancher étage Service***

**Partie sup :**  $A_x = 1.62 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$A_y = 1.06 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Nappe en treille soudé T6x5 / e=15x15cm**

**Partie inf :**  $A_x = 2.28 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$A_y = 1.06 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Nappe en treille soudé T5.5x5 / e=10x15cm**

Soit un ferrailage composé de TSØ5.5x5 / e=10x15cm en nappe inférieure et TSØ6x5 / e=15x15cm en nappe supérieure.

### ***C. Conclusion sur le ferrailage de la dalle plancher étage courante***

**Partie sup :**  $A_x = 1.41 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$A_y = 1.06 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Nappe en treille soudé T5,5x5 / e=15x15cm**

**Partie inf :**  $A_x = 1.98 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$A_y = 1.06 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Nappe en treille soudé T6x5 / e=15x15cm**

Soit un ferrailage composé de TSØ6x5 / e=15x15cm en nappe inférieure et TSØ5,5x5 / e=15x15cm en nappe supérieure.

### *D. Conclusion sur le ferrailage de la dalle plancher terrasse*

**Partie sup :**  $A_x = 1.55 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$A_y = 1.06 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Nappe en treille soudé T5,5x5 / e=15x15cm**

**Partie inf :**  $A_x = 2.18 \text{ cm}^2/\text{ml}$

$$A_y = 1.06 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

**Nappe en treille soudé T5.5x5 / e=15x15cm**

Soit un ferrailage composé de TSØ5.5x5 / e=10x15cm en nappe inférieure et TSØ5,5x5 / e=15x15cm en nappe supérieure.

### *Espacement*

#### *➤ Travée*

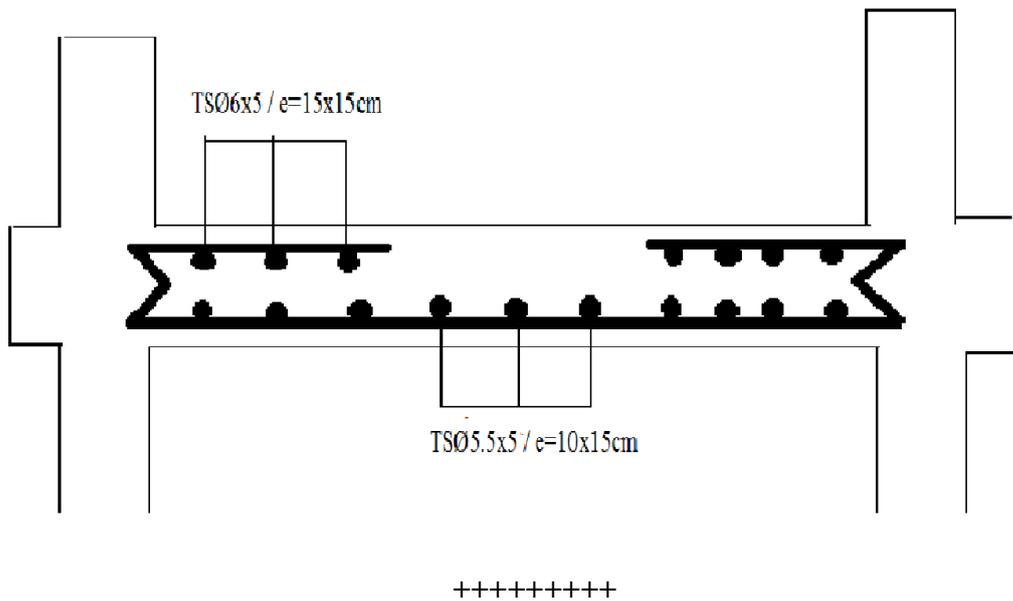
$$\text{Sens } x-x : \text{esp} = \frac{100}{5} = 20\text{cm} < \text{Min}(3h; 33\text{cm}) = 33\text{cm} \dots \dots \dots \text{Vérifier}$$

$$\text{Sens } y-y : \text{esp} = \frac{100}{5} = 20\text{cm} < \text{Min}(4h; 45\text{cm}) = 45\text{cm} \dots \dots \dots \text{Vérifier}$$

➤ *Appuis*

*Sens x-x :  $esp = \frac{100}{6} = 16,16cm < Min(3h; 33cm) = 33cm.....Vérifier$*

*Sens y-y :  $esp = \frac{100}{6} = 16,16cm < Min(4h; 45cm) = 45cm.....Vérifier$*



*Figure IV-4 : schéma de ferrailage de dalles étage service.*

## CHAPITRE V : Etude dynamique

### *V-1 Introduction*

L'objectif principal de la réglementation parasismique est la sauvegarde des vies humaines pour une secousse donnée. La construction peut alors subir des dommages irréparables, mais elle ne doit pas s'effondrer sur ses occupants.

En cas de secousse plus modérée, l'application des règles parasismiques doit permettre de limiter les destructions et, voire, les pertes économiques.

### *V-2 Etude de la structure en VLNA*

#### *V-2 -1 Principe de la modélisation*

On peut considérer comme oscillateur multiple toute structure à comportement élastique linéaire, modélisée à l'aide de barres ou d'éléments finis et comportant une masse associée à chacun des nœuds, les masses réparties sur les barres sont dans ce cas supposées concentrées sur les nœuds les plus voisins.

Dans un but de simplification, le dessin des figures est généralement effectué pour une console verticale uniquement.

Le modèle ainsi représenté et possédant un nombre fini de DDL doit refléter les paramètres du système original ayant un nombre infini de DDL et qui sont :

La masse, la rigidité, et l'amortissement.

#### *V-2-2 Caractéristique Dynamiques Propres*

Une structure classique idéale est dépourvue de tout amortissement de sorte qu'elle peut vibrer indéfiniment tant qu'il soit nécessaire de lui fournir de l'énergie. Ce comportement est purement théorique en raison de l'existence inévitable des frottements qui amortissent le mouvement.

Les caractéristiques propres de la structure sont obtenues à partir du système non amorti et non forcé, l'équation d'un tel système est donné par :

$$[\mathbf{M}]\{\ddot{\mathbf{x}}(\mathbf{t})\} + [\mathbf{K}]\{\mathbf{x}(\mathbf{t})\} = \mathbf{0} \dots \dots \dots (1)$$

Avec :  $[\mathbf{M}]$  : Matrice de masse de la structure.

$[\mathbf{K}]$  : Matrice de rigidité de la structure.

$\{\ddot{\mathbf{x}}\}$  : Vecteur des accélérations.

$\{\mathbf{x}\}$ : Vecteur des déplacements.

L'analyse d'un système à plusieurs degré de liberté nous fournit les propriétés dynamiques les plus importantes de ce système, qui sont les fréquences propres et modes propres.

Chaque point de la structure exécute un mouvement harmonique autour de sa position d'équilibre. Ce qui est donné par :

$$\{\mathbf{x}(\mathbf{t})\} = \{\mathbf{A}\} \sin(\omega \mathbf{t} + \varphi) \dots \dots \dots (2)$$

Avec :

$\{\mathbf{A}\}$  : Vecteur des amplitudes.

$\omega$ : Fréquence de vibration.

$\varphi$ : Angle de déphasage.

Les accélérations en vibration libre non amortie sont données par :

$$\{\ddot{\mathbf{x}}\} = -\omega^2 \{\mathbf{A}\} \sin(\omega \mathbf{t} + \varphi) \dots \dots \dots (3)$$

En substituant les équations (2) et (3) dans l'équation (1) ; on aura :

$$([\mathbf{K}] - \omega^2 [\mathbf{M}])\{\mathbf{A}\} \sin(\omega \mathbf{t} + \varphi) = \mathbf{0} \dots \dots \dots (4)$$

Cette équation doit être vérifiée quelque soit le temps (t), donc pour toutes les valeurs de la fonction sinus, ce qui donne :

$$([\mathbf{K}] - \omega^2[\mathbf{M}])\{\mathbf{A}\} = \mathbf{0} \dots \dots \dots (5)$$

Ce système d'équation est un système à (n) inconnues "A<sub>i</sub>". Ce système ne peut admettre une solution non nulle que si le déterminant de la matrice Δ<sub>ω</sub> s'annule c'est à dire :

$$\Delta_{\omega} = ([\mathbf{K}] - \omega^2[\mathbf{M}]) = \mathbf{0} \dots \dots \dots (6)$$

L'expression ci dessus est appelée "Equation caractéristique".

En développant l'équation caractéristique, on obtient une équation polynomiale de degré (n) en (ω<sup>2</sup>)

Les (n) solutions (ω<sub>1</sub><sup>2</sup>; ω<sub>2</sub><sup>2</sup>; ... .. ; ω<sub>n</sub><sup>2</sup>) sont les carrés des pulsations propres des (n) modes de vibrations possibles.

Le 1<sup>er</sup> mode vibratoire correspond à ω<sub>1</sub> et il est appelé mode fondamental

$$(\omega_1 < \omega_2 < \dots < \omega_n)$$

A chaque pulsation propre, correspond une forme d'oscillation appelée mode propre {A<sub>i</sub>} ou forme modale (modale Shape)

### V-3 Modélisation de la structure

L'une des étapes les plus importantes lors d'une analyse dynamique de la structure est la modélisation adéquate de cette dernière.

La modélisation revient à représenter un problème physique possédant un nombre de degré de liberté (D.D.L) infini par un modèle ayant un nombre de D.D.L fini et qui reflète avec une bonne précision les paramètres du système d'origine à savoir : la masse, la rigidité et l'amortissement.

En d'autres termes ; la modélisation est la recherche d'un mécanisme simplifié qui nous rapproche le plus possible du comportement réel de la structure, en tenant compte le plus correctement possible de la masse et de la raideur (rigidité) de tous les éléments de la structure.

Vue la complexité et le volume de calcul que requiert l'analyse de notre structure, la nécessité de l'utilisation de l'outil informatique s'impose.

Dans le cadre de notre projet nous avons opté pour un logiciel de calcul existant depuis quelques années et qui est à notre porté : il s'agit du **ETABS V.9.4**.

**ETABS V.9.4** : est un logiciel de calcul conçu exclusivement pour le calcul des bâtiments il permet de modalisée facilement et rapidement tous types des bâtiments grâce a une interface graphique unique .Il offre de nombreuse possibilités pour l'analyse statique et dynamique .

### *V-3-1 Modélisation de la rigidité*

La modélisation des éléments constituant le contreventement (rigidité) est effectué comme suit :

- Chaque voile est modélisé par plusieurs éléments coques (Schelle) à plusieurs nœuds (rectangulaires).
- Les planchers ne sont pas modéliser, cependant à tous les nœuds d'un même plancher nous avons attribués une contrainte de type diaphragme ce qui correspond à des planchers infiniment rigide dans leur plan (donc indéformable pour les dalles pleines).
- Tous les nœuds de la base du bâtiment sont encastrés (6DDL bloqués).

### *V-3-2 Modélisation de la masse*

- Pour la masse des planchers ; nous avons concentré en chaque nœud d'un panneau de dalle le (1/4) de la masse de ce panneau. La masse est calculée par l'équation  $(G+\beta Q)$  imposée par le **RPA99 modifié en 2003** avec

$(\beta = 0,2)$  pour un plancher à usage d'habitation.

- La masse volumique attribuée aux matériaux constituant les poteaux, poutres et les voiles est prise égale à celle du béton à savoir  $2,5 \text{ t/m}^3$ .
- La masse de l'acrotère et des murs extérieurs (maçonnerie) a été concentrée aux niveaux des nœuds qui se trouvent sur le périmètre des planchers (uniquement le plancher terrasse pour l'acrotère).
- La masse des escaliers a été concentrée au niveau des quatre nœuds délimitant la cage d'escalier (par plancher).

### *V-3-3 Caractéristiques géométriques et massiques de la structure*

La détermination du centre de masse est basée sur le calcul des centres de masse de chaque élément de la structure (acrotère, planchers, escaliers, voiles, maçonneries ...).

Les coordonnées du centre de masse sont données par

$$X_G = \frac{\sum M_i X_i}{\sum M_i} \quad \text{et} \quad Y_G = \frac{\sum M_i Y_i}{\sum M_i}$$

Avec :

$M_i$  : La masse de l'élément "i" du niveau considéré.

$X_i, Y_i$  : Coordonnées du centre de gravité de l'élément "i" par rapport au repère global.

#### **Remarque :**

Il y a lieu de rappeler que **l'ETABS** calcule et affiche automatiquement les deux (02) factures citées précédemment (centre de masse, masse totale de l'étage) lorsque le plancher est réalisé par un diaphragme.

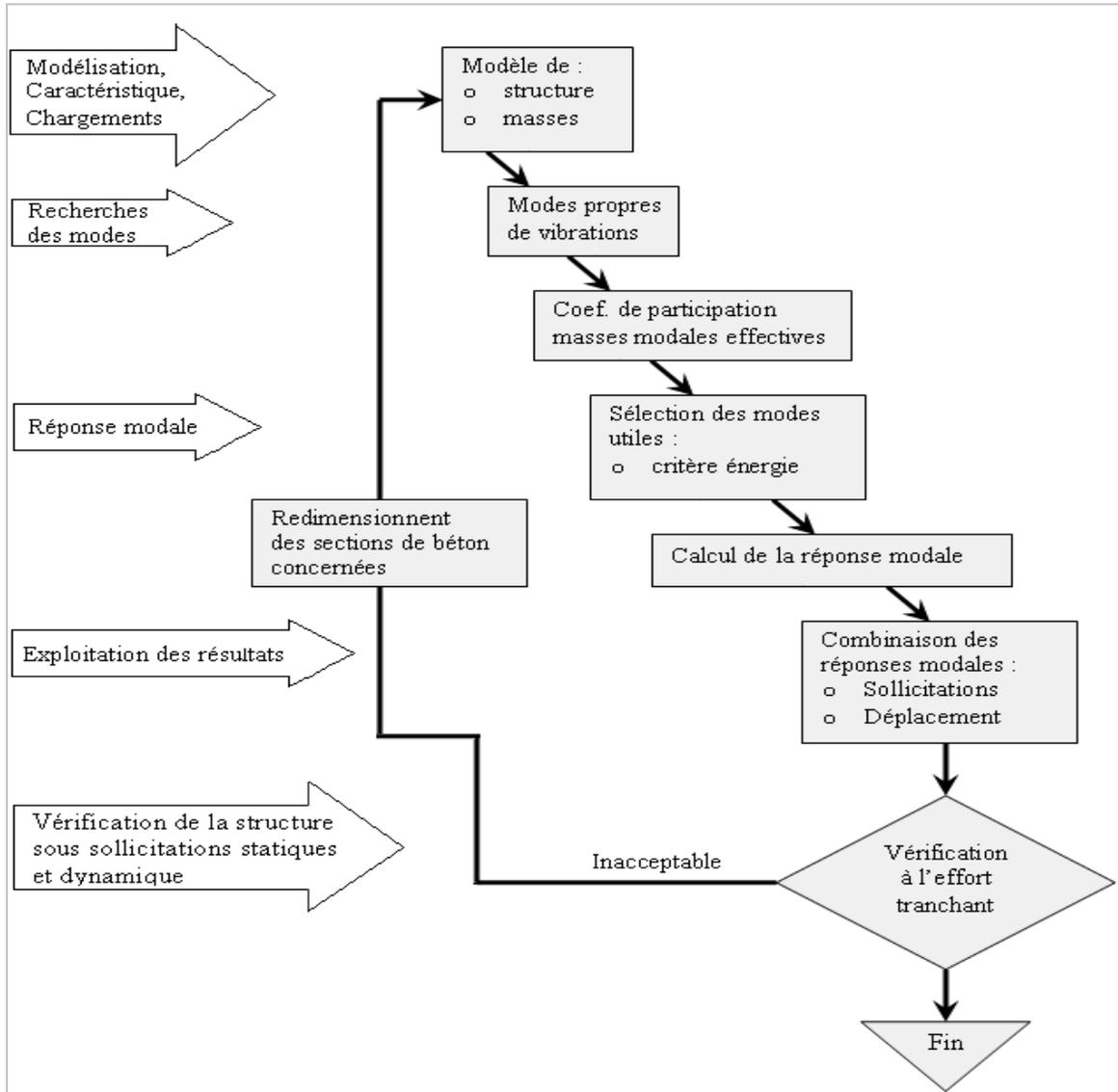


Figure V-1-Méthodologie de calcul par la MMS.

## V-4 Étude sismique

### V-4-1 Introduction

Toute structure implantée en zone sismique est susceptible de subir durant sa durée de vie une excitation dynamique de nature sismique. De ce fait, la détermination de la

réponse sismique de la structure est incontournable lors de l'analyse et de la conception parasismique de cette dernière. Ainsi le calcul d'un bâtiment vis à vis du séisme vise à évaluer les charges susceptibles d'être engendrées dans le système structural lors du séisme. Dans le cadre de notre projet, la détermination de ces efforts est conduite par le logiciel **ETABS** qui utilise une approche dynamique (par opposition à l'approche statique équivalente) basés sur le principe de la superposition modale.

### *V-4-2 Stratégie du calcul sismique*

Le choix de la méthode de calcul et la maîtrise de la modélisation de la structure doivent donc avoir pour objectif une approche aussi fidèle que possible du comportement réel de l'ouvrage considéré, compte tenu non seulement du type d'ossature, mais aussi des caractéristiques du matériau constitutif.

la détermination de la réponse de la structure peut se faire par trois méthodes de calcul dont le choix est fonction à la fois du type de la structure et de la nature de l'excitation dynamique, il s'agit donc de s'orienter vers l'une ou l'autre des méthodes suivantes :

#### ➤ *Analyse temporelle (transitoire)*

À partir des accélérogrammes, elle donne la valeur de la réponse de la structure en fonction du temps, l'analyse transitoire est en fait une analyse modale pour laquelle l'accélération de chaque mode est déterminée en fonction du temps par l'intégrale de Duhamel de l'accélérogramme.

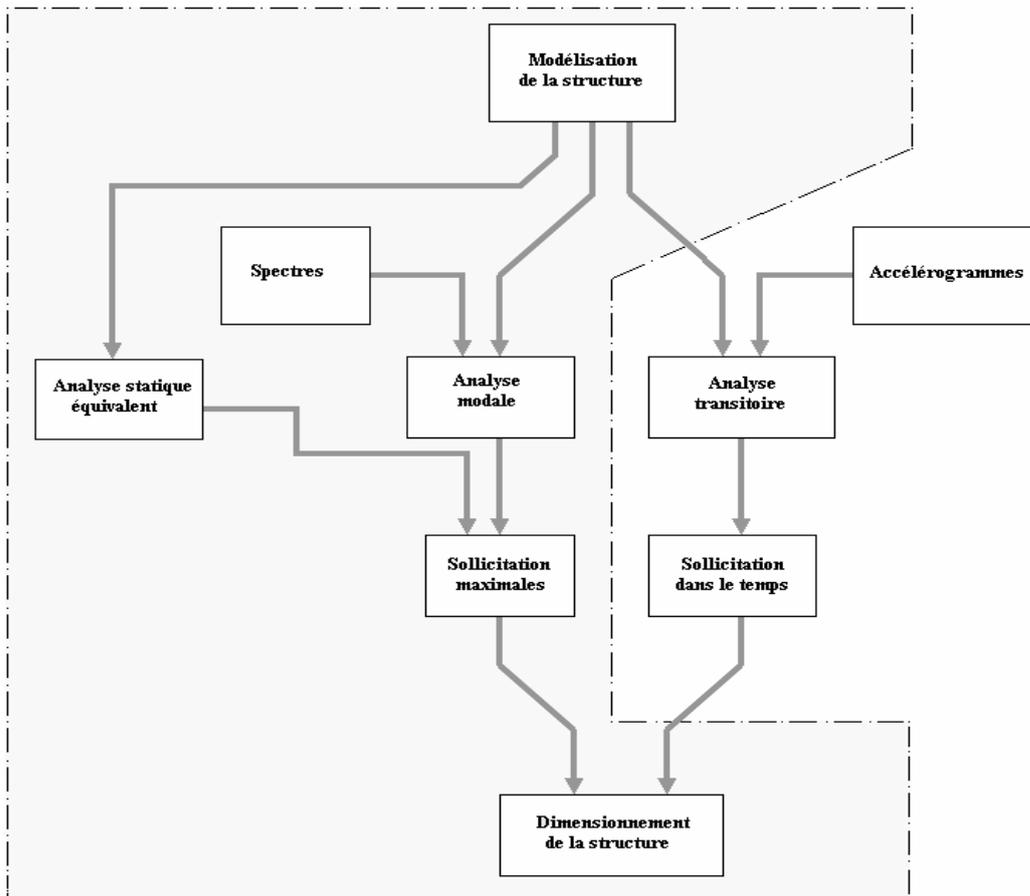
#### ➤ *calcul dynamique, analyse modale spectrale*

Il s'agit de mettre en évidence les modes propres du mouvement libre et d'introduire le spectre de dimensionnement qui fournit la valeur de la réponse maximale à un instant donné.

#### ➤ *Calcul statique équivalent*

Le calcul statique équivalent implique la substitution au calcul dynamique des équivalents statiques qui sont censés produire les mêmes effets. Le calcul statique peut être considéré comme dérivant de l'analyse modale par les simplifications suivantes :

- le mode fondamental est seul pris en compte.
- La déformée du mode fondamentale est arbitrairement assimilée à une droite pour les structure à portique et à une parabole pour les structures en voiles.



*Figure V-2 : les étapes du calcul sismique.*

### **V-4-3 Choix de la méthode de calcul**

En Algérie, la conception parasismique des structures est régie par un règlement en vigueur à savoir le « **RPA99 modifié en 2003** ». Ce dernier propose trois méthodes de calcul de la réponse sismique [1]

- 1- La méthode statique équivalente.
- 2- La méthode d'analyse modale spectrale.

3- La méthode d'analyse dynamique par accélérogramme.

La méthode statique équivalente n'est pas applicable dans le cas du bâtiment étudié (car la structure est irrégulière en plan avec une hauteur supérieur à 7 m), nous utiliserons la méthode d'analyse modale spectrale pour l'analyse sismique ; vu que cette dernière d'après le règlement peut être utilisée dans tous les cas et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

**V-4-4 Spectre de réponse**

Le règlement recommande le spectre de réponse de calcul donné par la fonction Suivante :

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

Avec :

g : Accélération de la pesanteur

A : Coefficient d'accélération de zone.

Pour notre cas :

- L'ouvrage est du « groupe 2 » (bâtiment à usage de habitation dont la hauteur ne dépasse pas 48m).
- L'implantation de ce bâtiment se fera dans la wilaya de Tipaza (zone III).

Donc : A=0,25[1]

η : Facteur de correction d'amortissement (quant l'amortissement est différent de 5%).

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2 + \xi)}} \geq 0,7 \Rightarrow \eta = 0,763$$

$\xi$  : Pourcentage d'amortissement critique ( $\xi=10\%$ )

R : Coefficient de comportement de la structure. Il est fonction du système de contreventement.

R=3,5

T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>:Périodes caractéristiques associées à la catégorie de site (site 2 : T<sub>1</sub>=0,15 s et T<sub>2</sub>=0,4 s).

Q : Facteur de qualité :( $Q = 1 \pm \sum_1^6 P_a = 1,15$ )

**Tableau V-1 : Valeurs des pénalités.**

| critère q   | suivant x |             | suivant y |             |
|---|-----------|-------------|-----------|-------------|
|   | Observé   | Non observé | Observé   | Non observé |
| conditions minimales sur les files de contreventement | -         | 0,05        | -         | 0,05        |
| 2 Redondances en plan                                 | -         | 0,05        | -         | 0,05        |
| 3 Régularité en plan                                  | -         | 0,05        | -         | 0,05        |
| 4 Régularité en élévation                             | 0         | -           | 0         | -           |
| 5 Contrôle de la qualité des matériaux                | -         | 0,05        | -         | 0,05        |
| 6 Contrôle de la qualité de l'exécution               | -         | 0,10        | -         | 0,10        |
|   | $\Sigma$  | 0,30        |           | 0,30        |

Une fois le spectre de réponse injecté dans le fichier de données la réponse sismique est obtenue sous différentes combinaisons de charges (G, Q et E).

### ***V-4-4 Résultante des forces sismiques de calcul***

L'une des 1<sup>ères</sup> vérifications préconisées par le « RPA99 modifié en 2003 » est relative à la résultante des forces sismiques. [1]

En effet la résultante des forces sismiques à la base «  $V_t$  » obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques

déterminé par la méthode statique équivalente «  $V$  » pour une valeur de la période fondamentale donnée par la formule empirique appropriée.

Si  $V_t < 0,8V$ , il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments,.....)

dans le rapport :  $r = \frac{0,8V}{V_t}$

- Calcul de la force sismique par la méthode statique équivalente :

$$\text{Soit : } V = \frac{A D Q}{R} W$$

$W$  = poids de la structure, il est calculé de manière automatique.

$D$  : Facteur d'amplification dynamique moyen, il est fonction de la catégorie du site, du facteur de correction d'amortissement  $\eta$  et de la période fondamentale  $T$  de la structure.

Plusieurs formules empirique pour le calcul de la période fondamentale sont proposées par le « RPA99 modifié en 2003 », nous choisirons la formules qui donne la plus petite valeur soit :

$$T_N = 0,09 \frac{h_N}{\sqrt{L}}$$

$h_N$  : La hauteur, mesurée en mètre, à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau N

L : La dimension du bâtiment mesurée à la base dans la direction de calcul considérée.

On a :  $h_N = 27,54$  m

Selon x – x :  $L_x = 27,40$ m  $\Rightarrow T_x = 0,473$  s

$$\mathbf{T_{RPA} : 0,473 \times 1,3 = 0,614}$$

Selon Y – Y :  $L_y = 18,76$  m  $\Rightarrow T_y = 0,572$  s

$$\mathbf{T_{RPA} : 0,572 \times 1,3 = 0,743}$$

$$\text{or } \begin{cases} T_1 = 0,15 \text{ s} & (\text{site 2}) \\ T_2 = 0,40 \text{ s} & (\text{site 2}) \end{cases} \Rightarrow (T_2 \leq (T_x \text{ et } T_y) < 3 \text{ s} \Rightarrow D = 2,5\eta \left(\frac{T_2}{T}\right)^{2/3}$$

$$\begin{cases} D_x = 2,5 \times 0,763 \left(\frac{0,40}{0,473}\right)^{2/3} = 1,71 \\ D_y = 2,5 * 0,763 \left(\frac{0,40}{0,572}\right)^{2/3} = 1,51 \end{cases}$$

**V-5 Résultats de l'analyse dynamique du modèle**

*a. Caractéristiques dynamiques propres du modèle.*

**Tableau. V-2 : Période et facteurs de participation massique du modèle.**

| Mode | Période  | Facteur de participation massique (%) |         |    |         |         |       |
|------|----------|---------------------------------------|---------|----|---------|---------|-------|
|      |          | UX                                    | UY      | UZ | SumUX   | SumUY   | SumUZ |
| 1    | 0,402271 | 0,5292                                | 0,0536  | 0  | 0,5292  | 0,0536  | 0     |
| 2    | 0,377642 | 72,4408                               | 1,2852  | 0  | 72,97   | 1,3388  | 0     |
| 3    | 0,346275 | 1,3667                                | 67,8197 | 0  | 74,3367 | 69,1585 | 0     |
| 4    | 0,110152 | 15,7226                               | 0,0149  | 0  | 90,0594 | 69,1733 | 0     |
| 5    | 0,093171 | 0,0048                                | 0,0054  | 0  | 90,0642 | 69,1787 | 0     |
| 6    | 0,083932 | 0,0098                                | 17,398  | 0  | 90,074  | 86,5767 | 0     |
| 7    | 0,056691 | 4,7702                                | 0,0022  | 0  | 94,8443 | 86,5789 | 0     |
| 8    | 0,04041  | 0,0006                                | 0,0001  | 0  | 94,8449 | 86,5791 | 0     |
| 9    | 0,038063 | 2,3844                                | 0,0208  | 0  | 97,2293 | 86,5999 | 0     |
| 10   | 0,037205 | 0,0061                                | 6,421   | 0  | 97,2354 | 93,0209 | 0     |
| 11   | 0,02851  | 1,319                                 | 0       | 0  | 98,5544 | 93,0209 | 0     |
| 12   | 0,024217 | 0                                     | 0,001   | 0  | 98,5544 | 93,0219 | 0     |

**b. Constatations :**

L'analyse dynamique de la structure a conduit à :

- Une période fondamentale :  $T = 0,402271$
- La participation massique dépasse le seuil des 90% à partir du 10<sup>ème</sup> mode.
- Le 1<sup>er</sup> mode est un mode de rotation parallèlement à X-X.
- Le 2<sup>ème</sup> mode est un mode de translation parallèlement à Y-Y.
- Le 3<sup>ème</sup> mode est un mode de translation.

**V-5-1 Résultante des forces sismiques de calcul**

La résultante des forces sismiques à la base  $V_t$  obtenue par combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80 % de la résultante des forces sismiques déterminée par la méthode statique équivalente.

Si  $V_t < 0,8V$ , il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments,.....) dans le rapport  $r = \frac{0,8V}{V_t}$ .

**Efforts tranchant à la base dans les 02 sens globaux fournis par ETABS :**

$$V_{tx} = 10546,17 \text{ kN}$$

$$V_{ty} = 10434,20 \text{ kN.}$$

$$W = 5127,96 \text{ kN} \Rightarrow \begin{cases} V_x = 720,27 \text{ kN} \\ V_y = 636,0501 \text{ kN} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 0,8V_x = 576,218 \text{ kN} \\ 0,8V_y = 508,840 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\text{Ce qui donne : } V_t^x < 0,8V_x \text{ et } V_t^y < 0,8V_y \Rightarrow \begin{cases} r_x = 1,19 \\ r_y = 1,33 \end{cases}$$

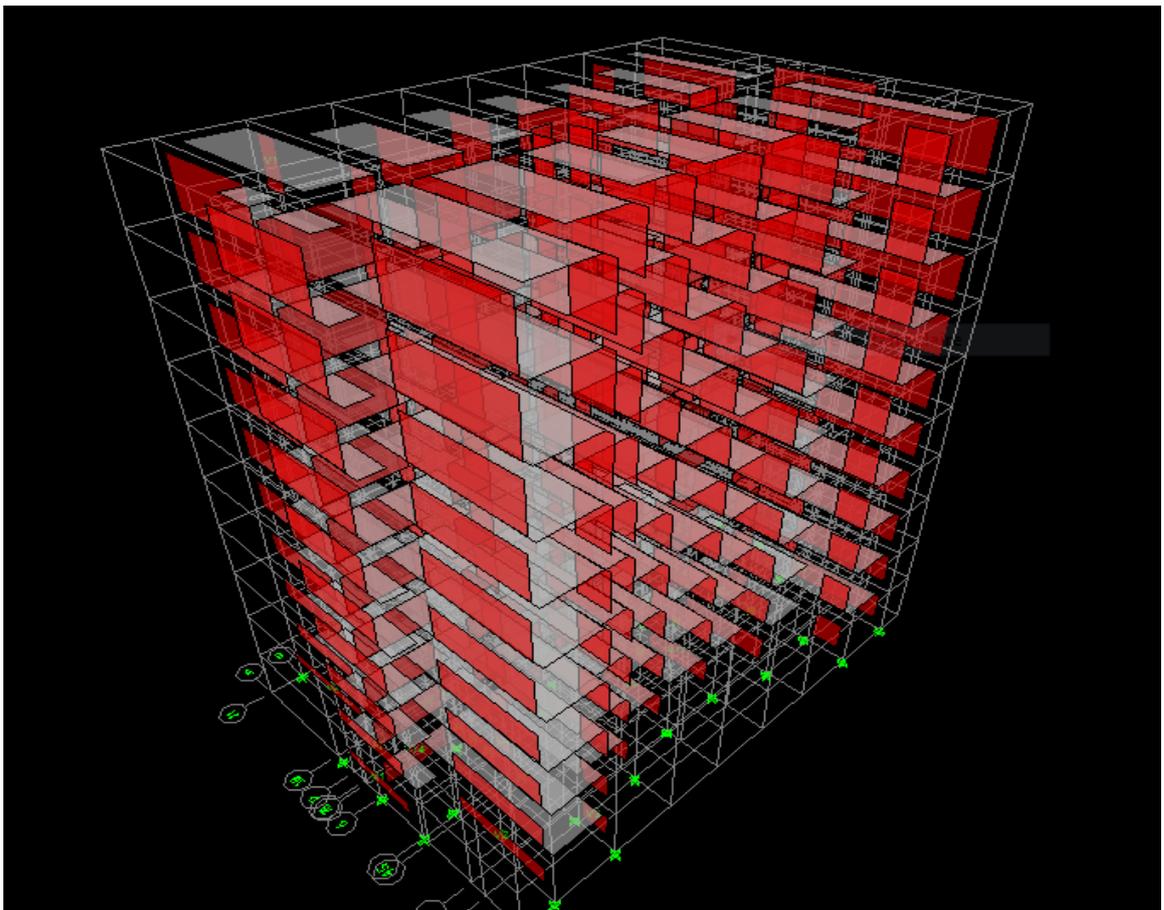
- le période  $T_{ETABS}^x = 1,197059 \text{ S} > T_{RPA}^x = \mathbf{0,614}$

$$T_{ETABS}^y = 1,180087 \text{ S} > T_{RPA}^y = 0,543 \text{ S}$$

On constate que les périodes du model initial est vérifier que celle préconisée par le R.P.A.

### *V-6 Résultats de l'analyse dynamique du modèle*

La figure. V-2 montre la dispositions des voiles dans la structure étudiée qui répond aux recommandations exigées par le RPA.



*Figure V-3 : modèle de la structure.*

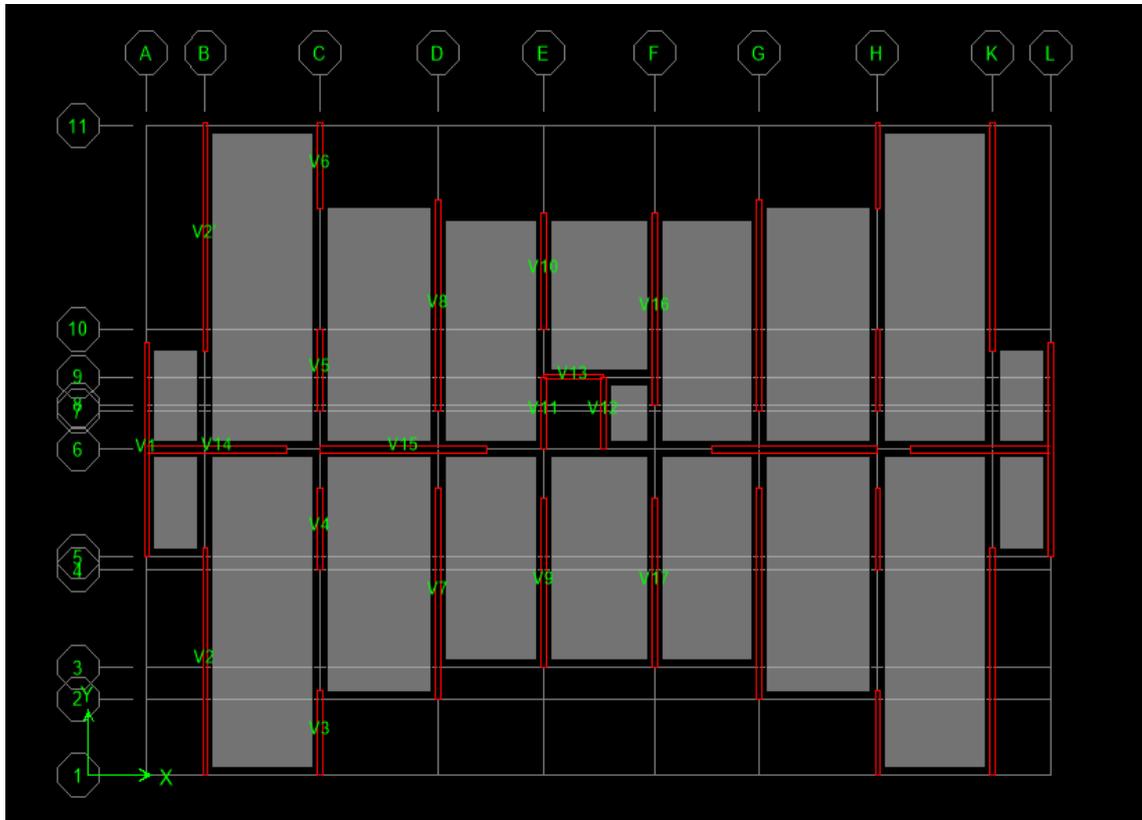


Figure V-4 : la dispositions des voiles du modèle.

### V-6-1 Vérification des déplacements inter -étage

L'une des vérifications préconisées par le **RPA99**, concerne les déplacements latéraux inter étages. [1]

En effet, selon l'article 5.10 du **RPA99 modifié en 2003** l'inégalité ci-dessous doit nécessairement être

$$\text{vérifiée : } \Delta_k^x \leq \bar{\Delta} \text{ et } \Delta_k^y \leq \bar{\Delta}$$

$$\text{avec : } \bar{\Delta} = 0,01h_e$$

Où :  $h_e$  représente la hauteur de l'étage.

avec:  $\delta_k^x = R r_x \delta_{ek}^x$  et  $\delta_k^y = R r_y \delta_{ek}^y$

$$\Delta_k^x = \delta_{ek}^x - \delta_{k-1}^x \quad \text{et} \quad \Delta_k^y = \delta_{ek}^y - \delta_{k-1}^y$$

$\Delta_k^x$ : Correspond au déplacement relatif au niveau K par rapport au niveau K-1 dans le sens

x-x (idem dans le sens y-y,  $\Delta_k^y$ ).

$\delta_{ek}^x$ : Est le déplacement horizontal dû aux forces sismiques au niveau K dans le sens x-x (idem dans le sens y-y,  $\delta_{ek}^y$ ).

**V-7 Justification vis a vis de l'effet (P-Δ):**

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

$$\theta = \frac{P_k \Delta_k}{V_k h_k} \leq 0,10 \text{ "RPA99 version 2003" [1]}$$

$P_k$ : Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au dessus du niveau "K".

$$P_k = \sum_{i=k}^n (W_{Gi} + \beta W_{Qi})$$

$V_k$ : Effort tranchant d'étage au niveau "K"

$$V_k = F_t + \sum_{i=k}^n F_i$$

Avec :  $F_t = 0$  si  $T \leq 0,7$  s

$F_t = 0,07 T V$  si  $T > 0,7$  s

$$F_x^i = \frac{(V_x + F_t)W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

$$F_Y^i = \frac{(V_Y + F_t)W_i h_i}{\sum_{j=1}^n W_j h_j}$$

Où :  $h_i$  et  $h_j$ : Niveau du plancher i (ou j).

$W_{ij}$ : Poids du niveau i (ou j).

Dans notre cas :

$$\begin{cases} T_x(\text{RPA}) = 0,614 \text{ s} < 0,7 \text{ s} \\ T_y(\text{RPA}) = 0,543 \text{ s} < 0,7 \text{ s} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_T^x = 0 \text{ KN} \\ F_T^y = 0 \text{ KN} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_x = 720,27 \text{ KN} \\ V_y = 636,0501 \text{ KN} \end{cases}$$

$\Delta_K$  : Déplacement relatif du niveau "K" par rapport à "K-1"

$h_K$ : Hauteur de l'étage "K"

- Si  $0,10 < \theta_K \leq 0,20$ , Les effets P- $\Delta$  peuvent être pris en compte de manière approximative en amplifiant les effets de l'action sismique calculés au moyen d'une analyse élastique du 1<sup>o</sup> ordre par le Facteur  $\left(\frac{1}{(1-\theta_K)}\right)$
- Si  $\theta_K > 0,20$  la structure est partiellement instable et doit être redimensionnée.

Avec :  $\begin{cases} F_T^x = 0 \text{ KN} \\ F_T^y = 0 \text{ KN} \end{cases}$

*Tableau V.3 : Vérification inter étages du modèle.*

| Z<br>(m) | $\delta_{ek}$<br>(cm) | $\delta_k$<br>(cm) | $\Delta_k^x$<br>(cm) | $\Delta_k^y$ | $\Theta^x$ | $\Theta^y$ | $P_k t$ |
|----------|-----------------------|--------------------|----------------------|--------------|------------|------------|---------|
| ±0.00    | 0.04                  | 0.16               | 0.045                | 0.023        | 0.0014     | 0.0006     | 4082.20 |
| 3.06     | 0.18                  | 0.62               | 0.177                | 0.082        | 0.0049     | 0.0019     | 3607.99 |
| 6.12     | 0.36                  | 1.27               | 0.364                | 0.172        | 0.0093     | 0.0036     | 3203.75 |
| 9.18     | 0.58                  | 2.04               | 0.583                | 0.286        | 0.0137     | 0.0055     | 2799.51 |
| 12.24    | 0.81                  | 2.86               | 0.816                | 0.417        | 0.0176     | 0.0074     | 2395.27 |
| 15.30    | 1.05                  | 3.69               | 1.054                | 0.559        | 0.0212     | 0.0092     | 2008.52 |
| 18.36    | 1.28                  | 4.50               | 1.285                | 0.706        | 0.0239     | 0.0108     | 1621.77 |
| 21.42    | 1.51                  | 5.27               | 1.506                | 0.854        | 0.0261     | 0.0120     | 1235.02 |
| 24.48    | 1.71                  | 5.99               | 1.712                | 0.998        | 0.0277     | 0.0132     | 848.27  |
| 27.54    | 1.90                  | 6.65               | 1.899                | 1.140        | 0.0310     | 0.0156     | 461.52  |

**Conclusions :**

1. Les déplacements inter-étages dus à l'effet de torsion additionnelle sont négligeables devant les déplacements dus aux forces sismiques.
2. On constate que la structure étudiée est justifiée vis à vis de l'effet P- $\Delta$ .
3. Les éléments de la structure correspondant au modèle finale seront ferrailés dans les chapitres IV.

## Chapitre VI : Ferrailage des voiles

### VI-1 Introduction

Le ferrailage des éléments résistants devra être conforme aux règlements en vigueur en a l'occurrence le **CBA 93** et le **RPA99 version 2003**. Nous allons étudier le ferrailage des éléments structuraux à l'aide du Logiciel **SOCOTEC**.

**Le SOCOTEC** : ce logiciel permet de calculer pour une section polygonale quelconque soumise à une flexion composée déviée, les contraintes maximales atteintes par le béton et les aciers pour L'ELS , les déformation maximales atteintes par le béton et les aciers pour L'ELU .

### I-2 Sections Minimales Et Maximales

Selon **RPA 99 version 2003** Les pourcentages minimaux des voiles sont donnés: **0.2 %**

➤ Diamètre des barres

Pour les voiles le diamètre des barres utilisées ne doit pas dépasser le dixième de l'épaisseur des voiles [2], ce qui nous donne un diamètre maximal de 20mm.

D'après **RPA 99 ver 2003** Le diamètre minimal des barres longitudinales est 10mm pour les voiles.

### VI-3 Ferrailage des voiles

Les voiles sont sollicités par un moment fléchissant, un effort normal et un effort tranchant.

On devra disposer les armatures suivantes :

- Armatures verticales.
- Armatures horizontales.
- Armatures transversales.

### **VI-3-1 Voile pleine**

#### **VI-3-1-1 Principe de calcul**

Le calcul des armatures sera fait par la méthode des contraintes et vérifiée selon R.P.A 99 sous les efforts  $N_{\max}$  et  $M_{\text{cor}}$ ,

- Pour le ferrailage  $\left\{ \begin{array}{l} 0.8 G \pm E_x \\ 0.8 G \pm E_y \end{array} \right.$
- Pour la vérification  $\left\{ \begin{array}{l} G + Q \pm E_x \\ G + Q \pm E_y \end{array} \right.$

#### **1) Armatures verticales**

On utilise la méthode de Navier :

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{A} \pm \frac{M.V}{I}$$

Avec :

N : effort normal appliqué

M : Moment fléchissant appliqué.

A : Section transversale du voile.

V : Distance entre le centre de gravité du voile et la fibre la plus éloignée.

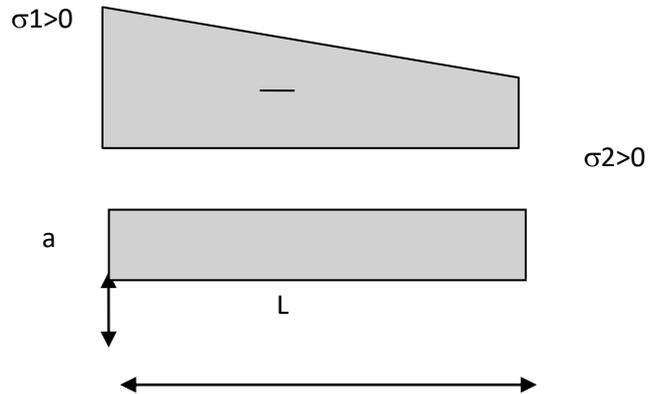
I : moment d'inertie,

On distingue 3 cas :

**1<sup>er</sup> cas :**

$(\sigma_1, \sigma_2) > 0 \Rightarrow$  la section du voile est entièrement comprimée (pas de zone tendue).

La zone courante est armée par le minimum exigé par RPA 99 ( $A_{\min} = 0.20\% \cdot a \cdot L$ ).



**Figure VI-1** : le volume des contraintes de zone comprimée.

**2<sup>ème</sup> Cas :**

$(\sigma_1, \sigma_2) < 0 \Rightarrow$  La section du voile est entièrement tendue (pas de Zone comprimée)

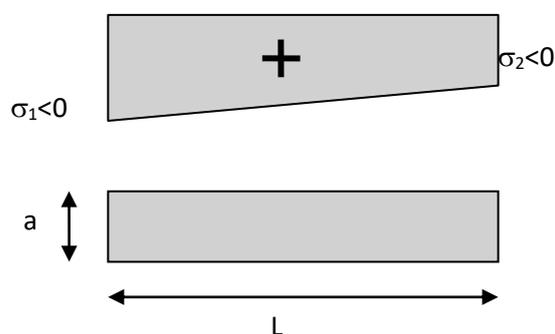
$\Rightarrow$  On calcul le volume des contraintes de traction  $F_t$

D'où la section des armatures verticales  $A_v = F_t / f_c$

On compare  $A_v$  avec la section minimale.

Si :  $A_v \leq A_{\min} = 0.20\% \cdot a \cdot L$  on ferraille avec la section minimale

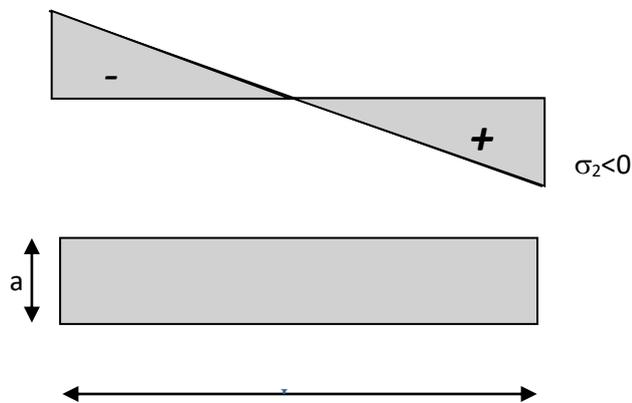
Si :  $A_v > A_{\min} = 0.20\% \cdot a \cdot L$  on ferraille avec  $A_v$



**Figure VI-2** : le volume des contraintes de traction.

3<sup>ème</sup> cas :

$(\sigma_1, \sigma_2)$  Sont de signe différent  $\Rightarrow$  la section du voile est partiellement comprimée.



**Figure VI-3** : le volume des contraintes pour la zone tendue.

## 2) Armatures horizontales

Ces armatures doivent être supportées les efforts de traction.

D'après (R.P.A 99, article 7-7-2) :

$$\tau_b = \frac{\bar{T}}{a.d} \leq \bar{\tau}_b = 0,2.f_{c28} = 5MPa$$

Avec :

$\bar{T} = 1,4 T_{\text{calcul}} \Rightarrow T$  : effort tranchant du au séisme.

a : épaisseur du voile.

d : 0,9.h – (hauteur utile).

h : hauteur totale de la section brute.

$\bar{\tau}_b$  : Contrainte admissible du béton.

Le pourcentage minimal d'armatures est :

- 0,15% a .1m  $\Rightarrow \tau_b \leq 0,025.f_{c28} = 0,5 \text{ MPa}$
- 0,25% a .1m  $\Rightarrow \tau_b > 0,025.f_{c28} = 0,5 \text{ MPa}$

- L'espacement :  $S \leq (1,5a, 30\text{cm})$  d'après (R.P.A 99, article 7.7.4.3, page 64).

- Les longueurs de recouvrement doivent être égale à :

- $40 \phi$  : Les barres situées dans les zones ou le renversement du signe des efforts est possible
- $20 \phi$  : Les barres situées dans les zones comprimées sous l'action des charges.

-Les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieure.

### 3) Armatures transversales

Les armatures transversales perpendiculaires à la face du voile sont des épingles en nombre au moins 4 épingles au mètre carré, servant à retenir les deux nappes d'armatures verticales.

#### VI-3-1-2 Exemple de calcul

##### a. Voile plein V1

$$A = 1.04 \text{ m}^2$$

$$V1= V2 = 1.85 \text{ m}$$

$$I = 1.61850 \text{ m}^4$$

$$B = 0.16 \text{ m}$$

$$H = 3.06 \text{ m}$$

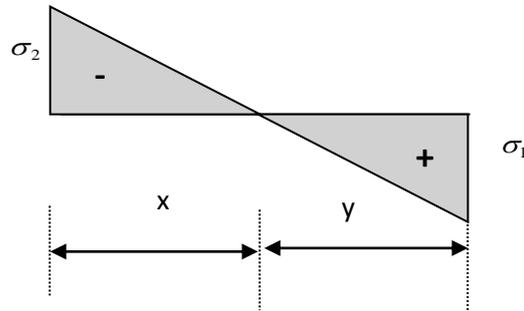
##### ➤ Les efforts sous la combinaison $0.8G \pm E$

Ils sont donnés comme suit :

$$N = 820.02 \text{ kN}$$

$$M = 1902.23 \text{ kN.m}$$

$$T=1077.17 \text{ kn}$$



**Figure VI-4 :** diagramme de contrainte sous la combinaison  $0.8G \pm E$

➤ *Calcul des contraintes*

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M.V}{I} \Rightarrow \sigma_1 = 2.96 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M.V}{I} \Rightarrow \sigma_2 = -1.38 \text{ Mpa}$$

$\sigma_1, \sigma_2$  Sont de signes différent, donc la section est partiellement comprimée.

On Calcul la longueur de la zone de traction :

➤ *Vérification des contraintes de compression (G+Q+E)*

$$N= 2245.65 \text{ KN}$$

$$M= 1107.31 \text{ KN.m}$$

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M.V}{I} \Rightarrow \sigma_1 = 3.42 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_1 = 3.42 \text{ Mpa} < \overline{\sigma_b} = 15 \text{ Mpa} \quad \text{C.V}$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M.V}{I} \Rightarrow \sigma_2 = 0.89 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_2 = 0.89 \text{ Mpa} < \overline{\sigma_b} = 15 \text{ Mpa} \quad \text{C.V}$$

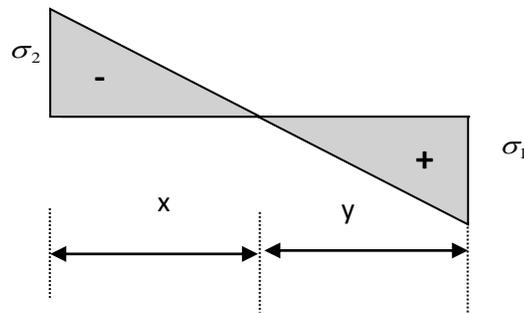


Figure VI-5 : diagramme de contrainte de compression (G+Q+E).

➤ *Longueur de la zone tendue*

$$x = \frac{\sigma_2}{\sigma_1 + \sigma_2} \cdot L = 104.39 \text{ cm}$$

$$Y = L - X = 164.22 \text{ m}$$

x : la longueur de la zone tendue

y : la longueur de la zone comprimée

➤ *Calcul de la contrainte  $\sigma_3$*

$$\frac{\sigma_2}{104.39} = \frac{\sigma_3}{64.39} \Rightarrow \sigma_3 \approx \frac{\sigma_2 \times 64.39}{104.39} = 0.31 \text{ Mpa}$$

➤ *Détermination des armatures verticales*

*La force résultante*

$$F_2 = \frac{\sigma_3 \times (x - b) \times e}{2} = \frac{0.31(1.04 - 0.4) \times 0.2}{2} = 198.4 \text{ kN}$$

$$Av_2 = \frac{F_2}{\sigma_s} = \frac{198.4}{400} \times 10 = 4.96 \text{ cm}^2$$

$$A_{vj} = 1,1 \frac{\bar{V}}{f_e} \times \frac{X}{L} = 1,1 \frac{1,4V}{f_e} \times \frac{X}{L} = 1,1 \times \frac{1,4 \times 256,57 \times 10}{400} \times \frac{1,04}{3,73} = 2,5 \text{ cm}^2$$

$$A_T = A_{v1} + A_{v2} + A_{vj} = 18,8 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0,2\% \text{ b h} = 0,2 \text{ a } x / 100 = \frac{0,2(50 \times 50 + 15 \times 186,88)}{100} = 10,60 \text{ cm}^2$$

$$A_T = 45,41 \text{ cm}^2 > A_{\min} = 10,60 \text{ cm}^2$$

On prend :

$$A_x = 2(2T12) = 4,52 \text{ cm}^2$$

**Espacement exigé par R.P.A 99**

D'après R.P.A 99 modifié 2003 page 80 on a :

$$S \leq (1,5a; 30 \text{ cm}) \Rightarrow S \leq (1,5a = 30 \text{ cm}, 30 \text{ cm}) = 25 \text{ cm}$$

On prend :  $S_t = 25 \text{ cm}$  (zone nodale)

➤ **Vérification des armatures vis à vis du RPA99**

$$A_{\min} = 0,2\% \text{ b h} = 0,2 \times a \times L_t = 8,35 \text{ cm}^2 > A_{\text{calculer}}$$

➤ **Détermination des armatures horizontales**

D'après RPA 2003, la contrainte tangentielle donnée par la formule suivante :

$$\tau_b = \frac{\bar{v}}{a.d}$$

$$d = 0,9.h = 3,82 \text{ m}$$

$$\tau_b = \frac{\bar{v}}{a.d} = \frac{1,4 \times 256,57}{0,2 \times 3,82} \times 10 = 0,47 \text{ MPa} < \bar{\tau}_b = 0,2 f_{c28} = 5 \text{ MPa} \dots\dots \text{ (C.V)}$$

$$\tau_b = 0,47 \text{ MPa} < 0,025 f_{c28} = 0,625 \text{ MPa}$$

Donc :  $A_h \geq 0,0025.b.s = 0,0015 \times 20 \times 100 = 3 \text{ cm}^2$

**Espacement**

$$S_h \leq \min(1,5a = 30cm; 30cm) = 25 \text{ cm}$$

On prend :  $S_h = 25cm$

➤ **Armatures courantes**

$$A_c \geq 0,1\% \times (y - x)a = 0,001 \times (373 - 2 \times (104.39)) \times 20 = 3,28cm^2$$

**L'espacement**

$$S_t \leq \min(1.5 \times a = 30cm \quad 30cm) = 25cm$$

On prend :  $S_t = 25cm$

**VI-3-2 ferrailage des voiles sera mentionné dans les tableaux suivants**

**Tableau VI-1 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.1.**

## Chapitre VI : Ferrailage des voiles

| Voile                                  | Etage                | Combinaison          | N(t)    | M(T,m) | L(m)   | e(m)  | A (m²) | I (m4) | V (m)    | σt (T/m²) | σc (T/m²) | Lt (m)   |        | N (T)  | A min  | A (cm²) | A/choisi   |  |
|--|----------------------|----------------------|---------|--------|--------|-------|--------|--------|----------|-----------|-----------|----------|--------|--------|--------|---------|--|--|
| <b>6.18 / 0.16</b><br><br><b>V.T.1</b> | 8 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex               | 2,05    | 1,45   | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 3,497     | 0,650     | 6,18     | ET     | 2,05   | 19,78  | 0,41    | 0,49<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15  |  |
|  |                      | G+Q+Ey               | -4,47   | 14,6   | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 9,815     | -18,856   | 2,12     | PC     | 1,66   | 0,33   |         |  |  |
|  |                      | 0,8G+Ex              | 2,43    | 1,72   | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 4,146     | 0,769     | 6,18     | ET     | 2,43   | 0,49   |         |  |  |
|  |                      | 0,8G-Ex              | 0,15    | -0,04  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 0,191     | 0,112     | 6,18     | ET     | 0,15   | 0,03   |         |  |  |
|  |                      | 0,8G+Ey              | -3,49   | 14,8   | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 11,002    | -18,061   | 2,34     | PC     | 2,06   | 0,41   |         |  |  |
|  |                      |                      | 0,8G-Ey | -3,59  | -15,64 | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 11,726    | -18,987  | 2,36   | PC     | 2,21   | 0,44    |  |  |
|  |                      | 7 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex  | 4,08   | 0,28   | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 4,401     | 3,851    | 6,18   | ET     | 4,08   | 19,78   | 0,82   | 0,82<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15  |
|  | G+Q+Ey               |                      | -19,5   | 25,94  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 5,708     | -45,231   | 0,69     | PC     | 0,32   | 0,06   |         |  |  |
|  | 0,8G+Ex              |                      | -4,41   | 1,55   | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | -2,938    | -5,982    | 0,00     | EC     | EC     | EC     | 0,82    |  |  |
|  | 0,8G-Ex              |                      | -26,9   | -1,84  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | -25,368   | -28,981   | 0,00     | EC     | EC     | EC     | 0,24    |  |  |
|  | 0,8G+Ey              |                      | -14,3   | 26,26  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 11,302    | -40,266   | 1,35     | PC     | 1,22   | 0,24   |         |  |  |
|  |                      |                      | 0,8G-Ey | -15,6  | -27,61 | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 11,363    | -42,856  | 1,30   | PC     | 1,18   | 0,24    |  |  |
|  |                      | 6 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex  | 3,89   | 0,25   | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 4,180     | 3,689    | 6,18   | ET     | 3,89   | 19,78   | 0,78   | 0,78<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15  |
|  | G+Q+Ey               |                      | -45,6   | 44,77  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | -2,188    | -90,105   | 0,00     | EC     | EC     | EC     | 0,78    |  |  |
|  | G+Q-Ey               |                      | -0,15   | 3,12   | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 2,912     | -3,215    | 2,94     | PC     | 0,68   | 0,14   |         |  |  |
|  | 0,8G-Ex              |                      | -70,2   | -2,55  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | -68,461   | -73,469   | 0,00     | EC     | EC     | EC     | 0,12    |  |  |
|  | 0,8G+Ey              |                      | -33,1   | 44,74  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 10,434    | -77,424   | 0,73     | PC     | 0,61   | 0,12   |         |  |  |
|  |                      |                      | 0,8G-Ey | -36    | -44,66 | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 7,483     | -80,218  | 0,53   | PC     | 0,32   | 0,06    |  |  |
|  |                      | 5 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex  | -1,31  | 6,33   | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 4,890     | -7,540   | 2,43   | PC     | 0,95   | 19,78   | 0,19   | 0,19<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15  |
|  | G+Q+Ey               |                      | -61,5   | 83,15  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 19,466    | -143,819  | 0,74     | PC     | 1,15   | 0,23   |         |  |  |
|  | 0,8G+Ex              |                      | 16,22   | 5,96   | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 22,256    | 10,552    | 6,18     | ET     | 16,22  | 3,24   |         |  |  |
|  | 0,8G-Ex              |                      | -110    | -4,34  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | -107,116  | -115,639  | 0,00     | EC     | EC     | EC     | 0,81    |  |  |
|  | 0,8G+Ey              |                      | -44,3   | 82,89  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 36,575    | -126,199  | 1,39     | PC     | 4,06   | 0,81   |         |  |  |
|  |                      |                      | 0,8G-Ey | -48,1  | -81,84 | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 31,742    | -128,971 | 1,22   | PC     | 3,10   | 0,62    |  |  |
|  |                      | 4 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex  | 21,72  | 10,35  | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 32,128    | 11,804   | 6,18   | ET     | 21,72  | 19,78   | 4,34   | 4,34<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15  |
|  | G+Q+Ey               |                      | -76,4   | 133    | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 53,374    | -207,804  | 1,26     | PC     | 5,39   | 1,08   |         |  |  |
|  | 0,8G+Ex              |                      | 43,94   | 9,68   | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 53,942    | 34,933    | 6,18     | ET     | 43,94  | 8,79   |         |  |  |
|  | 0,8G-Ex              |                      | -161    | -6,79  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | -156,005  | -169,339  | 0,00     | EC     | EC     | EC     | 8,79    |  |  |
|  | 0,8G+Ey              |                      | -54,6   | 132,47 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 74,901    | -185,236  | 1,78     | PC     | 10,66  | 2,13   |         |  |  |
|  |                      |                      | 0,8G-Ey | -60,6  | -130,2 | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 66,484    | -189,117 | 1,61   | PC     | 8,55   | 1,71    |  |  |
|  |                      | 3 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex  | 55,34  | 14,89  | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 70,587    | 41,347   | 6,18   | ET     | 55,34  | 19,78   | 11,07  | 11,07<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|  | G+Q+Ey               |                      | -90,4   | 194,18 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 99,266    | -282,053  | 1,61     | PC     | 12,78  | 2,56   |         |  |  |
|  | 0,8G+Ex              |                      | 82,23   | 14,04  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 96,947    | 69,376    | 6,18     | ET     | 82,23  | 16,45  |         |  |  |
|  | 0,8G-Ex              |                      | -222    | -10,42 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | -213,828  | -234,291  | 0,00     | EC     | EC     | EC     | 16,45   |  |  |
|  | 0,8G+Ey              |                      | -64     | 193,51 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 125,287   | -254,717  | 2,04     | PC     | 20,42  | 4,08   |         |  |  |
|  |                      |                      | 0,8G-Ey | -73,5  | -190,5 | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 112,744   | -261,388 | 1,86   | PC     | 16,80  | 3,36    |  |  |
|  |                      | 2 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex  | 98,34  | 19,56  | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 118,659   | 80,248   | 6,18   | ET     | 98,34  | 19,78   | 19,67  | 19,67<br>(2x2T14)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|  | G+Q+Ey               |                      | -104    | 268,34 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 158,196   | -368,754  | 1,86     | PC     | 23,48  | 4,70   |         |  |  |
|  | 0,8G+Ex              |                      | 130,2   | 18,62  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 149,998   | 113,433   | 6,18     | ET     | 130,24 | 26,05  |         |  |  |
|  | 0,8G-Ex              |                      | -292    | -14,82 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | -280,281  | -309,383  | 0,00     | EC     | EC     | EC     | 26,05   |  |  |
|  | 0,8G+Ey              |                      | -72,8   | 267,62 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 189,184   | -336,352  | 2,22     | PC     | 33,67  | 6,73   |         |  |  |
|  |                      |                      | 0,8G-Ey | -86,5  | -264,5 | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 172,215   | -347,215 | 2,05   | PC     | 28,23  | 5,65    |  |  |
|  |                      | 1 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex  | 149,2  | 24,24  | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 174,701   | 127,100  | 6,18   | ET     | 149,21 | 19,78   | 29,84  | 29,84<br>(2x5T14)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|  | G+Q+Ey               |                      | -117    | 359,18 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 233,989   | -471,348  | 2,05     | PC     | 38,38  | 7,68   |         |  |  |
|  | 0,8G+Ex              |                      | 186,1   | 23,35  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 211,175   | 165,322   | 6,18     | ET     | 186,14 | 37,23  |         |  |  |
|  | 0,8G-Ex              |                      | -369    | -19,98 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | -354,017  | -393,252  | 0,00     | EC     | EC     | EC     | 37,23   |  |  |
|  | 0,8G+Ey              |                      | -81     | 358,53 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 270,092   | -433,968  | 2,37     | PC     | 51,23  | 10,25  |         |  |  |
|  |                      |                      | 0,8G-Ey | -100   | -355,8 | 6,18  | 0,16   | 0,989  | 3,147    | 3,090     | 248,126   | -450,593 | 2,19   | PC     | 43,56  | 8,71    |  |  |
|  | RDC                  | G+Q+Ex               | 198,3   | 28,11  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 228,126   | 172,926   | 6,18     | ET     | 198,28 | 19,78  | 39,66   | 39,66<br>(2x7T16)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |  |
| G+Q+Ey                                 |                      | -135                 | 473,01  | 6,18   | 0,16   | 0,989 | 3,147  | 3,090  | 328,057  | -600,812  | 2,18      | PC       | 57,28  | 11,46  |        |         |  |  |
| 0,8G+Ex                                |                      | 240,2                | 27,8    | 6,18   | 0,16   | 0,989 | 3,147  | 3,090  | 270,166  | 215,574   | 6,18      | ET       | 240,15 | 48,03  |        |         |  |  |
| 0,8G-Ex                                |                      | -446                 | -27,44  | 6,18   | 0,16   | 0,989 | 3,147  | 3,090  | -423,614 | -477,499  | 0,00      | EC       | EC     | EC     | 48,03  |         |  |  |
| 0,8G+Ey                                |                      | -89                  | 471,47  | 6,18   | 0,16   | 0,989 | 3,147  | 3,090  | 372,945  | -552,900  | 2,49      | PC       | 74,27  | 14,85  |        |         |  |  |
|  |                      | 0,8G-Ey              | -112    | -472,3 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 350,134   | -577,420  | 2,33     | PC     | 65,34  | 13,07  |         |  |  |
|  | Sous-sol             | G+Q+Ex               | 196,6   | 21,59  | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 220,046   | 177,648   | 6,18     | ET     | 196,62 | 19,78  | 39,32   | 39,32<br>(2x7T16)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |  |
| G+Q+Ey                                 |                      | -130                 | 390,48  | 6,18   | 0,16   | 0,989 | 3,147  | 3,090  | 252,060  | -514,742  | 2,03      | PC       | 40,96  | 8,19   |        |         |  |  |
| 0,8G+Ex                                |                      | 237,6                | 20,63   | 6,18   | 0,16   | 0,989 | 3,147  | 3,090  | 260,527  | 220,015   | 6,18      | ET       | 237,58 | 47,52  |        |         |  |  |
| 0,8G-Ex                                |                      | -434                 | -4,63   | 6,18   | 0,16   | 0,989 | 3,147  | 3,090  | -434,097 | -443,189  | 0,00      | EC       | EC     | EC     | 47,52  |         |  |  |
| 0,8G+Ey                                |                      | -89,3                | 389,52  | 6,18   | 0,16   | 0,989 | 3,147  | 3,090  | 292,147  | -472,770  | 2,36      | PC       | 55,17  | 11,03  |        |         |  |  |
|  |                      | 0,8G-Ey              | -105    | -386,9 | 6,18   | 0,16  | 0,989  | 3,147  | 3,090    | 273,445   | -486,268  | 2,22     | PC     | 48,66  | 9,73   |         |  |  |

**Tableau VI-2 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.2.**

| Voile               | Etage    | Combinaison | N(t)   | M(T,m) | L(m) | e(m)  | A (m <sup>2</sup> ) | I (m <sup>4</sup> ) | V (m)   | σt (T/m <sup>2</sup> ) | σc (T/m <sup>2</sup> ) | Lt (m) | N (T) | A min | A (cm <sup>2</sup> ) | A/choisi |  |
|---------------------|----------|-------------|--------|--------|------|-------|---------------------|---------------------|---------|------------------------|------------------------|--------|-------|-------|----------------------|----------|--|
| 6.54 /0.16<br>V.T.2 | 8° étage | G+Q+Ex      | -11,7  | 11,61  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -0,993                 | -21,351                | 0,00   | EC    | EC    | 7,79                 | 0,68     | (2xT10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -9,1   | 28,29  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 16,107                 | -33,500                | 2,12   | PC    | 2,74  |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -8,85  | 10,09  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 0,389                  | -17,304                | 0,14   | PC    | 0,00  |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -12,8  | -8,43  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -4,880                 | -19,662                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -6,27  | 26,78  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 17,487                 | -29,471                | 2,44   | PC    | 3,41  |                      |          |  |
|                     | 7° étage | G+Q+Ex      | -28,7  | 9,83   | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -18,761                | -35,998                | 0,00   | EC    | EC    | 6,01                 | 0,52     | (2xT10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -22    | 36,07  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 10,562                 | -52,687                | 1,09   | PC    | 0,92  |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -20    | 8,04   | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -12,064                | -26,162                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -29,4  | 2,41   | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -25,974                | -30,200                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -13,4  | 34,28  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 17,259                 | -42,851                | 1,88   | PC    | 2,59  |                      |          |  |
|                     | 6° étage | G+Q+Ex      | -46    | 8,15   | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -36,786                | -51,077                | 0,00   | EC    | EC    | 5,19                 | 0,63     | (2xT10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -41,4  | 57,02  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 10,428                 | -89,557                | 0,68   | PC    | 0,57  |                      |          |  |
|                     |          | G+Q-Ey      | -31,6  | 6,44   | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -24,524                | -35,816                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -46    | 1,56   | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -42,602                | -45,338                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -26    | 56,19  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 24,437                 | -74,093                | 1,62   | PC    | 3,17  |                      |          |  |
|                     | 5° étage | G+Q+Ex      | -70,2  | 9,39   | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -58,864                | -75,329                | 0,00   | EC    | EC    | 6,66                 | 1,89     | (2xT10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -55,1  | 102,81 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 37,530                 | -142,748               | 1,36   | PC    | 4,09  |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -48,9  | 8      | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -39,689                | -53,717                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -62,3  | 1,45   | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -58,228                | -60,771                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -33,9  | 101,53 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 56,658                 | -121,375               | 2,08   | PC    | 9,43  |                      |          |  |
|                     | 4° étage | G+Q+Ex      | -87,8  | 12,86  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -72,670                | -95,220                | 0,00   | EC    | EC    | 7,50                 | 3,79     | (2xT10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -68,8  | 162,61 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 76,790                 | -208,346               | 1,76   | PC    | 10,82 |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -60,7  | 11     | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -48,364                | -67,653                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -77,5  | 1,45   | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -72,783                | -75,325                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -41,9  | 160,91 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 101,074                | -181,082               | 2,34   | PC    | 18,94 |                      |          |  |
|                     | 3° étage | G+Q+Ex      | -106   | 17     | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -85,994                | -115,803               | 0,00   | EC    | EC    | 8,02                 | 6,31     | (2xT10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -82,9  | 236,57 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 128,160                | -286,665               | 2,02   | PC    | 20,72 |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -69    | 15,26  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -52,561                | -79,320                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -98,4  | -12,37 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -83,182                | -104,873               | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -50,2  | 234,36 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 157,472                | -253,478               | 2,51   | PC    | 31,57 |                      |          |  |
|                     | 2° étage | G+Q+Ex      | -116   | 24,11  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -89,250                | -131,526               | 0,00   | EC    | EC    | 8,41                 | 9,57     | (2xT10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -99,2  | 323,61 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 188,943                | -378,507               | 2,18   | PC    | 32,92 |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -76,5  | 21,07  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -54,596                | -91,543                | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -111   | -16,08 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -91,875                | -120,071               | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -58,1  | 322,98 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 227,639                | -338,706               | 2,63   | PC    | 47,87 |                      |          |  |
|                     | 1° étage | G+Q+Ex      | -145   | 33,2   | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -109,539               | -167,755               | 0,00   | EC    | EC    | 8,64                 | 13,26    | (2xT12)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -115   | 424,68 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 262,371                | -482,306               | 2,30   | PC    | 48,36 |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -97,5  | 32     | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -65,111                | -121,223               | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -126   | -29,1  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -94,699                | -145,726               | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -67,8  | 424,1  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 307,007                | -436,652               | 2,70   | PC    | 66,31 |                      |          |  |
|                     | RDC      | G+Q+Ex      | -152   | 67,63  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -86,281                | -204,870               | 0,00   | EC    | EC    | 8,79                 | 17,28    | (2xT16)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -133   | 535,78 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 342,174                | -597,316               | 2,38   | PC    | 65,20 |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -110   | 62,38  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -50,507                | -159,890               | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -141   | -56,03 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -85,232                | -183,480               | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -78,6  | 534,38 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 393,403                | -543,632               | 2,75   | PC    | 86,41 |                      |          |  |
|                     | Sous-sol | G+Q+Ex      | -172   | -531,9 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 222,720                | -515,381               | 1,97   | PC    | 35,16 | 8,27                 | 12,62    | (2xT16)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -152   | 67,63  | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | -86,281                | -204,870               | 0,00   | EC    | EC    |                      |          |  |
|                     |          | G+Q+Ey      | -140   | 445,45 | 6,54 | 0,16  | 1,046               | 3,730               | 3,270   | 256,919                | -524,178               | 2,15   | PC    | 44,21 |                      |          |  |
| 0,8G+Ex             |          | -103        | 66,89  | 6,54   | 0,16 | 1,046 | 3,730               | 3,270               | -39,892 | -157,184               | 0,00                   | EC     | EC    |       |                      |          |  |
| 0,8G-Ey             |          | -120        | -64,58 | 6,54   | 0,16 | 1,046 | 3,730               | 3,270               | -57,800 | -171,041               | 0,00                   | EC     | EC    |       |                      |          |  |
|                     | 0,8G+Ey  | -84,8       | 440,42 | 6,54   | 0,16 | 1,046 | 3,730               | 3,270               | 305,146 | -467,130               | 2,58                   | PC     | 63,08 | 6,17  |                      |          |  |
|                     | 0,8G-Ey  | -175        | -431,5 | 6,54   | 0,16 | 1,046 | 3,730               | 3,270               | 211,232 | -545,368               | 1,83                   | PC     | 30,85 |       |                      |          |  |

**Tableau VI-3 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.3.**

# Chapitre VI : Ferrailage des voiles

| Voile                | Etage    | Combinaison | N(t)   | M(T,m) | L(m)  | e(m)  | A (m <sup>2</sup> ) | I (m4)  | V (m)    | qt (T/m <sup>2</sup> ) | qc (T/m <sup>2</sup> ) | Lt (m) |      | N (T) | A min | A (cm <sup>2</sup> ) | A/choisi                                  |   |
|----------------------|----------|-------------|--------|--------|-------|-------|---------------------|---------|----------|------------------------|------------------------|--------|------|-------|-------|----------------------|---|---|
| V.T.3<br>2.36 / 0.16 | 8° étage | G+Q+Ex      | 2,42   | 13,21  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 95,352                 | -82,534                | 1,27   | PC   | 9,65  | 4,11  | 1,93                 | 2,20                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | 3,31   | 14,59  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 107,000                | -89,468                | 1,29   | PC   | 11,00 |       | 2,20                 |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | 1,85   | 11,15  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 79,972                 | -70,173                | 1,26   | PC   | 8,04  |       | 1,61                 |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -4,24  | -7,26  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 37,653                 | -60,110                | 0,91   | PC   | 2,74  |       | 0,55                 |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | 2,74   | 12,52  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 91,553                 | -77,041                | 1,28   | PC   | 9,39  |       | 1,88                 |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -8          | -15,66 | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 84,252   | -126,625               | 0,94                   | PC     | 6,36 | 1,27  |       |                      |   |   |
|                      | 7° étage | G+Q+Ex      | -0,5   | 11,35  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 75,095                 | -77,743                | 1,16   | PC   | 6,97  | 3,78  | 1,39                 | 1,64                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -0,22  | 13,07  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 87,417                 | -88,583                | 1,17   | PC   | 8,20  |       | 1,64                 |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -0,28  | 9,78   | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 65,107                 | -66,590                | 1,17   | PC   | 6,08  |       | 1,22                 |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -0,48  | -4,18  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 26,873                 | -29,415                | 1,13   | PC   | 2,42  |       | 0,48                 |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | 0      | 11,49  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 77,362                 | -77,362                | 1,18   | PC   | 7,30  |       | 1,46                 |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -0,9        | -8,3   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 53,500   | -58,267                | 1,13                   | PC     | 4,84 | 0,97  |       |                      |   |   |
|                      | 6° étage | G+Q+Ex      | -0,79  | 12,45  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 81,733                 | -85,918                | 1,15   | PC   | 7,52  | 3,73  | 1,50                 | 1,61                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -0,68  | 13,17  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 86,872                 | -90,474                | 1,16   | PC   | 8,03  |       | 1,61                 |   |   |
|                      |          | G+Q-Ey      | -0,45  | 10,9   | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 72,198                 | -74,581                | 1,16   | PC   | 6,70  |       | 1,34                 |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -1,35  | -5,07  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 30,561                 | -37,711                | 1,06   | PC   | 2,58  |       | 0,52                 |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -0,34  | 11,61  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 77,269                 | -79,070                | 1,17   | PC   | 7,21  |       | 1,44                 |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -1,59       | -8,59  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 53,625   | -62,047                | 1,09                   | PC     | 4,69 | 0,94  |       |                      |   |   |
|                      | 5° étage | G+Q+Ex      | -1,25  | 13,12  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 85,026                 | -91,647                | 1,14   | PC   | 7,73  | 3,71  | 1,55                 | 1,56                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -0,97  | 13,03  | 2,36  | 0,16  | 0,378               | 0,175   | 1,180    | 85,162                 | -90,300                | 1,15   | PC   | 7,80  |       | 1,56                 |   |   |
| 0,8G+Ex              |          | -0,78       | 11,64  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 76,306   | -80,438                | 1,15                   | PC     | 7,01 | 1,40  |       |                      |   |   |
| 0,8G-Ex              |          | -1,75       | -6,41  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 38,524   | -47,793                | 1,05                   | PC     | 3,25 | 0,65  |       |                      |   |   |
| 0,8G+Ey              |          | -0,5        | 11,54  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 76,374   | -79,023                | 1,16                   | PC     | 7,09 | 1,42  |       |                      |   |   |
| 0,8G-Ey              | -2,44    | -8,7        | 2,36   | 0,16   | 0,378 | 0,175 | 1,180               | 52,115  | -65,039  | 1,05                   | PC                     | 4,38   | 0,88 |       |       |                      |   |   |
| 4° étage             | G+Q+Ex   | -1,65       | 13,46  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 86,256   | -94,996                | 1,12                   | PC     | 7,75 | 3,72  | 1,55  | 1,55                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                      | G+Q+Ey   | -1,02       | 12,47  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 81,259   | -86,662                | 1,14                   | PC     | 7,42 |       | 1,48  |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ex  | -1,06       | 12,09  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 78,595   | -84,209                | 1,14                   | PC     | 7,16 |       | 1,43  |                      |   |   |
|                      | 0,8G-Ex  | -2,03       | -7,54  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 45,391   | -56,143                | 1,06                   | PC     | 3,83 |       | 0,77  |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ey  | -0,43       | 11,1   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 73,597   | -75,875                | 1,16                   | PC     | 6,84 |       | 1,37  |                      |   |   |
| 0,8G-Ey              | -3,49    | -8,62       | 2,36   | 0,16   | 0,378 | 0,175 | 1,180               | 48,796  | -67,281  | 0,99                   | PC                     | 3,87   | 0,77 |       |       |                      |   |   |
| 3° étage             | G+Q+Ex   | -1,91       | 13,28  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 84,356   | -94,472                | 1,11                   | PC     | 7,51 | 3,75  | 1,50  | 1,50                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                      | G+Q+Ey   | -0,86       | 11,49  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 75,084   | -79,639                | 1,15                   | PC     | 6,88 |       | 1,38  |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ex  | -1,17       | 12,16  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 78,775   | -84,972                | 1,14                   | PC     | 7,15 |       | 1,43  |                      |   |   |
|                      | 0,8G-Ex  | -2,49       | -8,29  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 49,222   | -62,411                | 1,04                   | PC     | 4,10 |       | 0,82  |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ey  | -0,17       | 10,28  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 68,765   | -69,665                | 1,17                   | PC     | 6,45 |       | 1,29  |                      |   |   |
| 0,8G-Ey              | -4,7     | -8,34       | 2,36   | 0,16   | 0,378 | 0,175 | 1,180               | 43,706  | -68,600  | 0,92                   | PC                     | 3,21   | 0,64 |       |       |                      |   |   |
| 2° étage             | G+Q+Ex   | -2,09       | 12,49  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 78,560   | -89,630                | 1,10                   | PC     | 6,93 | 3,82  | 1,39  | 1,39                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                      | G+Q+Ey   | -0,67       | 9,99   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 65,488   | -69,037                | 1,15                   | PC     | 6,02 |       | 1,20  |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ex  | -1,14       | 11,59  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 75,016   | -81,054                | 1,13                   | PC     | 6,81 |       | 1,36  |                      |   |   |
|                      | 0,8G-Ex  | -3,2        | -8,42  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 48,217   | -65,166                | 1,00                   | PC     | 3,87 |       | 0,77  |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ey  | 0,27        | 9      | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 61,312   | -59,882                | 1,19                   | PC     | 5,86 |       | 1,17  |                      |   |   |
| 0,8G-Ey              | -6,19    | -7,94       | 2,36   | 0,16   | 0,378 | 0,175 | 1,180               | 37,067  | -69,853  | 0,82                   | PC                     | 2,43   | 0,49 |       |       |                      |   |   |
| 1° étage             | G+Q+Ex   | -2,04       | 10,61  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 66,034   | -76,839                | 1,09                   | PC     | 5,76 | 3,99  | 1,15  | 1,18                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                      | G+Q+Ey   | -0,12       | 7,96   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 53,277   | -53,912                | 1,17                   | PC     | 5,00 |       | 1,00  |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ex  | -0,84       | 9,97   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 64,903   | -69,352                | 1,14                   | PC     | 5,92 |       | 1,18  |                      |   |   |
|                      | 0,8G-Ex  | -4,26       | -7,64  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 40,158   | -62,722                | 0,92                   | PC     | 2,96 |       | 0,59  |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ey  | 1,06        | 7,24   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 51,554   | -45,940                | 1,25                   | PC     | 5,15 |       | 1,03  |                      |   |   |
| 0,8G-Ey              | -8,36    | -7,58       | 2,36   | 0,16   | 0,378 | 0,175 | 1,180               | 28,896  | -73,176  | 0,67                   | PC                     | 1,54   | 0,31 |       |       |                      |   |   |
| RDC                  | G+Q+Ex   | -1,77       | 7,32   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 44,598   | -53,973                | 1,07                   | PC     | 3,81 | 4,05  | 0,76  | 0,86                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                      | G+Q+Ey   | -87,1       | 25,78  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | -57,091  | -404,244               | 0,00                   | EC     | EC   |       | EC    |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ex  | -0,27       | 6,97   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 46,214   | -47,644                | 1,16                   | PC     | 4,30 |       | 0,86  |                      |   |   |
|                      | 0,8G-Ex  | -5,75       | -5,68  | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 23,016   | -53,471                | 0,71                   | PC     | 1,31 |       | 0,26  |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ey  | 0,64        | 3,49   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 25,193   | -21,803                | 1,27                   | PC     | 2,55 |       | 0,51  |                      |   |   |
| 0,8G-Ey              | -84,2    | -24,08      | 2,36   | 0,16   | 0,378 | 0,175 | 1,180               | -60,725 | -384,985 | 0,00                   | EC                     | EC     | EC   |       |       |                      |   |   |
| Sous-sol             | G+Q+Ex   | -3,47       | 4,01   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 17,810   | -36,189                | 0,78                   | PC     | 1,11 | 3,87  | 0,22  | 0,65                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                      | G+Q+Ey   | -2,15       | 5,73   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 32,886   | -44,274                | 1,01                   | PC     | 2,65 |       | 0,53  |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ex  | -0,96       | 3,19   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 18,936   | -24,021                | 1,04                   | PC     | 1,58 |       | 0,32  |                      |   |   |
|                      | 0,8G-Ex  | -8,29       | 1,16   | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | -14,144  | -29,765                | 0,00                   | EC     | EC   |       | EC    |                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ey  | 0,31        | 4,9    | 2,36   | 0,16  | 0,378 | 0,175               | 1,180   | 33,813   | -32,171                | 1,21                   | PC     | 3,27 |       | 0,65  |                      |   |   |
| 0,8G-Ey              | -92,7    | -28,02      | 2,36   | 0,16   | 0,378 | 0,175 | 1,180               | -56,734 | -434,050 | 0,00                   | EC                     | EC     | EC   |       |       |                      |   |   |

Tableau VI-4 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.4.

| Voile                | Etage    | Combinaison | N(t)   | M(T,m) | L(m)  | e(m)  | A (m²) | I (m4)  | V (m)    | σt (T/m²) | σc (T/m²) | Lt (m) |      | N (T) | A min | A (cm²) | A/choisi                                  |   |
|----------------------|----------|-------------|--------|--------|-------|-------|--------|---------|----------|-----------|-----------|--------|------|-------|-------|---------|---|---|
| V.T.4<br>2.46 / 0.16 | 8° étage | G+Q+Ex      | -3,61  | -8,46  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 43,252    | -61,596   | 1,01   | PC   | 3,51  | 3,27  | 0,70    | 1,05                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -6,89  | 9,93   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 44,028    | -79,038   | 0,88   | PC   | 3,10  |       | 0,62    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -3,46  | -6,13  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 29,195    | -46,776   | 0,95   | PC   | 2,21  |       | 0,44    |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -3,54  | -7,48  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 37,357    | -55,345   | 0,99   | PC   | 2,96  |       | 0,59    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -5,14  | 8,8    | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 41,472    | -67,590   | 0,94   | PC   | 3,10  |       | 0,62    |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -5,14       | -12,43 | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 63,966   | -90,084   | 1,02      | PC     | 5,23 | 1,05  |       |         |   |   |
|                      | 7° étage | G+Q+Ex      | -0,04  | -5,67  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 35,034    | -35,237   | 1,23   | PC   | 3,44  | 3,98  | 0,69    | 1,07                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -14,6  | 7,14   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 7,075     | -81,414   | 0,20   | PC   | 0,11  |       | 0,02    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | 0,09   | -3,36  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 21,050    | -20,592   | 1,24   | PC   | 2,09  |       | 0,42    |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -0,32  | -4,36  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 26,205    | -27,831   | 1,19   | PC   | 2,50  |       | 0,50    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -9,45  | 6,14   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 14,039    | -62,057   | 0,45   | PC   | 0,51  |       | 0,10    |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -0,18       | -8,96  | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 55,065   | -55,980   | 1,22      | PC     | 5,37 | 1,07  |       |         |   |   |
|                      | 6° étage | G+Q+Ex      | -0,58  | -5,91  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 35,149    | -38,096   | 1,18   | PC   | 3,32  | 3,82  | 0,66    | 1,07                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -24,9  | 6,03   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | -25,845   | -100,578  | 0,00   | EC   | EC    |       | EC      |   |   |
|                      |          | G+Q-Ey      | -0,36  | -3,6   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 21,394    | -23,223   | 1,18   | PC   | 2,02  |       | 0,40    |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -0,81  | -4,6   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 26,447    | -30,563   | 1,14   | PC   | 2,41  |       | 0,48    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -16    | 5,13   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | -8,734    | -72,312   | 0,00   | EC   | EC    |       | EC      |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -0,67       | -9,28  | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 55,803   | -59,208   | 1,19      | PC     | 5,33 | 1,07  |       |         |   |   |
|                      | 5° étage | G+Q+Ex      | -0,92  | -5,95  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 34,533    | -39,208   | 1,15   | PC   | 3,18  | 3,77  | 0,64    | 1,04                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -33    | 8,5    | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | -31,042   | -136,386  | 0,00   | EC   | EC    |       | EC      |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -0,6   | -3,64  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 21,032    | -24,080   | 1,15   | PC   | 1,93  |       | 0,39    |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -1,05  | -4,66  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 26,209    | -31,544   | 1,12   | PC   | 2,34  |       | 0,47    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -20,6  | 7,61   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | -5,257    | -99,571   | 0,00   | EC   | EC    |       | EC      |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -0,94       | -9,3   | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 55,241   | -60,018   | 1,18      | PC     | 5,21 | 1,04  |       |         |   |   |
|                      | 4° étage | G+Q+Ex      | -1,25  | -5,95  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 33,695    | -40,046   | 1,12   | PC   | 3,03  | 3,72  | 0,61    | 0,99                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -41,1  | 11,6   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | -32,641   | -176,404  | 0,00   | EC   | EC    |       | EC      |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -0,8   | -3,66  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 20,647    | -24,712   | 1,12   | PC   | 1,85  |       | 0,37    |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -1,25  | -4,66  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 25,701    | -32,052   | 1,09   | PC   | 2,25  |       | 0,45    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -25,4  | 10,69  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 1,710     | -130,775  | 0,03   | PC   | 0,00  |       | 0,00    |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -1,25       | -9,15  | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 53,524   | -59,876   | 1,16      | PC     | 4,97 | 0,99  |       |         |   |   |
|                      | 3° étage | G+Q+Ex      | -1,01  | -6,46  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 37,465    | -42,597   | 1,15   | PC   | 3,45  | 3,68  | 0,69    | 0,92                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -49,5  | 15,7   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | -28,372   | -222,949  | 0,00   | EC   | EC    |       | EC      |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -0,99  | -3,69  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 20,351    | -25,381   | 1,09   | PC   | 1,78  |       | 0,36    |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -1,45  | -4,63  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 25,007    | -32,375   | 1,07   | PC   | 2,14  |       | 0,43    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -30,4  | 14,35  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 11,789    | -166,057  | 0,16   | PC   | 0,15  |       | 0,03    |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -1,61       | -8,81  | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 50,503   | -58,683   | 1,14      | PC     | 4,60 | 0,92  |       |         |   |   |
|                      | 2° étage | G+Q+Ex      | -1,95  | -7,11  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 39,104    | -49,013   | 1,09   | PC   | 3,42  | 3,54  | 0,68    | 0,80                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -59,2  | 19,82  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | -27,512   | -273,149  | 0,00   | EC   | EC    |       | EC      |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -1,29  | -3,86  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 20,642    | -27,197   | 1,06   | PC   | 1,75  |       | 0,35    |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -1,54  | -4,4   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 23,353    | -31,178   | 1,05   | PC   | 1,97  |       | 0,39    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -35,6  | 18,65  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 25,223    | -205,914  | 0,27   | PC   | 0,54  |       | 0,11    |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -1,97       | -8,11  | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 45,250   | -55,260   | 1,11      | PC     | 4,01 | 0,80  |       |         |   |   |
|                      | 1° étage | G+Q+Ex      | -1,84  | -6,93  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 38,268    | -47,618   | 1,10   | PC   | 3,36  | 3,51  | 0,67    | 0,67                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -1,65  | -4,67  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 24,747    | -33,131   | 1,05   | PC   | 2,08  |       | 0,42    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -52,3  | 2,76   | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | -115,849  | -150,055  | 0,00   | EC   | EC    |       | EC      |   |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -2,26  | -4,42  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 21,648    | -33,131   | 0,97   | PC   | 1,68  |       | 0,34    |   |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -41,1  | 24,69  | 2,46  | 0,16  | 0,394  | 0,198   | 1,230    | 48,627    | -257,367  | 0,39   | PC   | 1,52  |       | 0,30    |   |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -2,14       | -6,82  | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 36,825   | -47,699   | 1,07      | PC     | 3,16 | 0,63  |       |         |   |   |
| RDC                  | G+Q+Ex   | -1,99       | -5,4   | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 28,406   | -38,518   | 1,04      | PC     | 2,37 | 5,17  | 0,47  | 1,83    | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |   |
|                      | G+Q+Ey   | 4,3         | 10,38  | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 75,247   | -53,397   | 1,44      | PC     | 8,66 |       | 1,73  |         |   |   |
|                      | 0,8G+Ex  | -2,44       | 4,89   | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 24,103   | -36,501   | 0,98      | PC     | 1,89 |       | 0,38  |         |   |   |
|                      | 0,8G-Ex  | -3,82       | -4,69  | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 19,357   | -38,768   | 0,82      | PC     | 1,27 |       | 0,25  |         |   |   |
|                      | 0,8G+Ey  | 6,65        | 8,71   | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 70,869   | -37,078   | 1,62      | PC     | 9,16 |       | 1,83  |         |   |   |
| 0,8G-Ey              | -88,4    | -39,13      | 2,46   | 0,16   | 0,394 | 0,198 | 1,230  | 17,935  | -467,020 | 0,09      | PC        | 0,13   | 0,03 |       |       |         |   |   |
| Sous-sol             | G+Q+Ex   | 0,6         | 2,26   | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 15,529   | -12,480   | 1,36      | PC     | 1,69 | 5,66  | 0,34  | 0,57    | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |   |
|                      | G+Q+Ey   | 2,15        | 2,01   | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 17,918   | -6,993    | 1,77      | PC     | 2,54 |       | 0,51  |         |   |   |
|                      | 0,8G+Ex  | -34,6       | 10,1   | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | -25,218  | -150,392  | 0,00      | EC     | EC   |       | EC    |         |   |   |
|                      | 0,8G-Ex  | -45         | -9,98  | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | -52,359  | -176,045  | 0,00      | EC     | EC   |       | EC    |         |   |   |
|                      | 0,8G+Ey  | 2,41        | 2,27   | 2,46   | 0,16  | 0,394 | 0,198  | 1,230   | 20,189   | -7,944    | 1,77      | PC     | 2,85 |       | 0,57  |         |   |   |
| 0,8G-Ey              | -70,2    | -25,79      | 2,46   | 0,16   | 0,394 | 0,198 | 1,230  | -18,490 | -338,116 | 0,00      | EC        | EC     | EC   |       |       |         |   |   |

Tableau VI-5 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.5.

| Voile    | Etage    | Combinaison | N(t)   | M(T,m) | L(m)  | e(m)  | A (m <sup>2</sup> ) | I (m <sup>4</sup> ) | V (m)    | σt (T/m <sup>2</sup> ) | σc (T/m <sup>2</sup> ) | LT (m) |       | N (T) | A min | A (cm <sup>2</sup> ) | A/choisi                                  |   |
|----------|----------|-------------|--------|--------|-------|-------|---------------------|---------------------|----------|------------------------|------------------------|--------|-------|-------|-------|----------------------|---|---|
| V.T.5    | 8° étage | G+Q+Ex      | -30,1  | 9,26   | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | -21,568                | -40,417                | 0,00   | EC    | EC    | 10,27 | EC                   | 0,58                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | 0,38   | 10,15  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 10,722                 | -9,939                 | 3,15   | PC    | 2,70  |       | 0,54                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ex     | -20,7  | 8,43   | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | -12,775                | -29,935                | 0,00   | EC    | EC    |       | EC                   |   |   |
|          |          | 0,8G-Ex     | -0,79  | -0,14  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | -0,671                 | -0,956                 | 0,00   | EC    | EC    |       | 0,58                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ey     | 0,59   | 10,47  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 11,264                 | -10,049                | 3,21   | PC    | 2,89  |       | EC                   |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -0,61       | -0,15  | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | -0,475   | -0,781                 | 0,00                   | EC     | EC    | EC    |       |                      |   |   |
|          | 7° étage | G+Q+Ex      | -45    | 10,59  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | -35,566                | -57,123                | 0,00   | EC    | EC    | 9,67  | EC                   | 0,52                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -0,36  | 10,29  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 10,102                 | -10,844                | 2,93   | PC    | 2,37  |       | 0,47                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ex     | -30,7  | 9,39   | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | -22,053                | -41,167                | 0,00   | EC    | EC    |       | EC                   |   |   |
|          |          | 0,8G-Ex     | -1,32  | -0,09  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | -1,268                 | -1,451                 | 0,00   | EC    | EC    |       | 0,52                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ey     | -0,05  | 10,59  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 10,727                 | -10,830                | 3,02   | PC    | 2,59  |       | EC                   |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -0,76       | -0,14  | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | -0,640   | -0,925                 | 0,00                   | EC     | EC    | EC    |       |                      |   |   |
|          | 6° étage | G+Q+Ex      | -1,18  | 12,77  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 11,782                 | -14,212                | 2,75   | PC    | 2,59  | 9,14  | 0,52                 | 0,86                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -41,3  | 52,25  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 10,706                 | -95,652                | 0,61   | PC    | 0,52  |       | 0,10                 |   |   |
|          |          | G+Q-Ey      | -0,73  | 12,49  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 11,960                 | -13,464                | 2,86   | PC    | 2,73  |       | 0,55                 |   |   |
|          |          | 0,8G-Ex     | -1,58  | -11,38 | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 9,955                  | -13,209                | 2,61   | PC    | 2,08  |       | 0,42                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ey     | -20,9  | 50,88  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 30,255                 | -73,315                | 1,77   | PC    | 4,29  |       | 0,86                 |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -2,8        | -16,61 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | 14,022   | -19,788                | 2,52                   | PC     | 2,82  | 0,56  |       |                      |   |   |
|          | 5° étage | G+Q+Ex      | -1,45  | 12,97  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 11,708                 | -14,694                | 2,69   | PC    | 2,52  | 9,07  | 0,50                 | 2,14                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -51,2  | 88,73  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 37,579                 | -143,036               | 1,26   | PC    | 3,80  |       | 0,76                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ex     | -0,83  | 12,72  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 12,092                 | -13,801                | 2,83   | PC    | 2,74  |       | 0,55                 |   |   |
|          |          | 0,8G-Ex     | -2,25  | -11,76 | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 9,652                  | -14,286                | 2,45   | PC    | 1,89  |       | 0,38                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ey     | -25,8  | 87,74  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 62,745                 | -115,855               | 2,13   | PC    | 10,70 |       | 2,14                 |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -102        | -83,57 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | -19,938  | -190,050               | 0,00                   | EC     | EC    | EC    |       |                      |   |   |
|          | 4° étage | G+Q+Ex      | -82,6  | 15,25  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | -69,549                | -100,591               | 0,00   | EC    | EC    | 7,47  | EC                   | 3,95                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -63,3  | 135,97 | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 73,241                 | -203,534               | 1,61   | PC    | 9,41  |       | 1,88                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ex     | -51,1  | 14,36  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | -38,000                | -67,231                | 0,00   | EC    | EC    |       | EC                   |   |   |
|          |          | 0,8G-Ex     | -2,98  | -11,8  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 8,941                  | -15,078                | 2,26   | PC    | 1,62  |       | 0,32                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ey     | -30,8  | 135    | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 105,677                | -169,124               | 2,33   | PC    | 19,73 |       | 3,95                 |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -127        | -130,6 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | 1,847    | -264,017               | 0,04                   | PC     | 0,01  | 0,00  |       |                      |   |   |
|          | 3° étage | G+Q+Ex      | -99,3  | 17,59  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | -84,342                | -120,147               | 0,00   | EC    | EC    | 9,01  | EC                   | 6,19                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -75,9  | 192,81 | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 118,057                | -274,420               | 1,83   | PC    | 17,24 |       | 3,45                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ex     | -0,86  | 12,06  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 11,389                 | -13,160                | 2,82   | PC    | 2,57  |       | 0,51                 |   |   |
|          |          | 0,8G-Ex     | -3,8   | -11,39 | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 7,680                  | -15,505                | 2,01   | PC    | 1,24  |       | 0,25                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ey     | -36,5  | 192,08 | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 157,913                | -233,078               | 2,45   | PC    | 30,97 |       | 6,19                 |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -152        | -188,2 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | 34,823   | -348,249               | 0,55                   | PC     | 1,54  | 0,31  |       |                      |   |   |
|          | 2° étage | G+Q+Ex      | -2,26  | 11,11  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 8,981                  | -13,635                | 2,41   | PC    | 1,73  | 7,93  | 0,35                 | 8,62                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -96,3  | 263,35 | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 168,877                | -367,188               | 1,91   | PC    | 25,83 |       | 5,17                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ex     | -71    | 17,71  | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | -55,081                | -91,130                | 0,00   | EC    | EC    |       | EC                   |   |   |
|          |          | 0,8G-Ex     | -4,7   | -10,38 | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 5,725                  | -15,404                | 1,64   | PC    | 0,75  |       | 0,15                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ey     | -47,4  | 261,45 | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 217,334                | -314,863               | 2,48   | PC    | 43,10 |       | 8,62                 |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -176        | -258,8 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | 82,408   | -444,476               | 0,95                   | PC     | 6,26  | 1,25  |       |                      |   |   |
|          | 1° étage | G+Q+Ex      | -2,88  | 9,22   | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 6,419                  | -12,349                | 2,08   | PC    | 1,07  | 8,31  | 0,21                 | 12,05                                     | (2x3T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -114   | 352,88 | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 241,640                | -476,669               | 2,04   | PC    | 39,47 |       | 7,89                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ex     | -1,3   | 9,14   | 6,07  | 0,16  | 0,971               | 2,982               | 3,035    | 7,964                  | -10,641                | 2,60   | PC    | 1,66  |       | 0,33                 |   |   |
| 0,8G-Ex  |          | -165        | -17,45 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | -152,575 | -188,096               | 0,00                   | EC     | EC    | EC    |       |                      |   |   |
| 0,8G+Ey  |          | -56         | 347,87 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | 296,436  | -411,675               | 2,54                   | PC     | 60,26 | 12,05 |       |                      |   |   |
| 0,8G-Ey  | -199     | -345,6      | 6,07   | 0,16   | 0,971 | 2,982 | 3,035               | 147,142             | -556,409 | 1,27                   | PC                     | 14,94  | 2,99  |       |       |                      |   |   |
| RDC      | G+Q+Ex   | -163        | 57,29  | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | -109,659 | -226,276               | 0,00                   | EC     | EC    | 8,48  | EC    | 17,67                | (2x3T14)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |   |
|          | G+Q+Ey   | -127        | 482,67 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | 360,630  | -621,874               | 2,23                   | PC     | 64,28 |       | 12,86 |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ex  | -94,9       | 43,3   | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | -53,665  | -141,805               | 0,00                   | EC     | EC    |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ex  | -190        | -38,92 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | -156,156 | -235,380               | 0,00                   | EC     | EC    |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ey  | -58,7       | 468,67 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | 416,614  | -537,392               | 2,65                   | PC     | 88,35 |       | 17,67 |                      |   |   |
| 0,8G-Ey  | -220     | -454,9      | 6,07   | 0,16   | 0,971 | 2,982 | 3,035               | 236,794             | -689,121 | 1,55                   | PC                     | 29,41  | 5,88  |       |       |                      |   |   |
| Sous-sol | G+Q+Ex   | -153        | 81,24  | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | -75,316  | -240,685               | 0,00                   | EC     | EC    | 7,27  | EC    | 9,73                 | (2x3T14)<br>e=15<br>+<br>(2xTSΦ6)<br>e=15 |   |
|          | G+Q+Ey   | -168        | 359,89 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | 193,606  | -538,972               | 1,60                   | PC     | 24,85 |       | 4,97  |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ex  | -94,1       | 62,55  | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | -33,218  | -160,542               | 0,00                   | EC     | EC    |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ex  | -168        | 15,37  | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | -156,875 | -188,162               | 0,00                   | EC     | EC    |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ey  | -87,4       | 351,28 | 6,07   | 0,16  | 0,971 | 2,982               | 3,035               | 267,585  | -447,466               | 2,27                   | PC     | 48,63 |       | 9,73  |                      |   |   |
| 0,8G-Ey  | -190     | -358,3      | 6,07   | 0,16   | 0,971 | 2,982 | 3,035               | 168,552             | -560,809 | 1,40                   | PC                     | 18,91  | 3,78  |       |       |                      |   |   |

Tableau VI-6 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.6.

| Voile       | Etage    | Combinaison | N(t)   | M(T,m) | L(m) | e(m)  | A (m <sup>2</sup> ) | I (m <sup>4</sup> ) | V (m)    | $\sigma_t$ (T/m <sup>2</sup> ) | $\sigma_c$ (T/m <sup>2</sup> ) | Lt (m) | N (T) | A min | A (cm <sup>2</sup> ) | A/choisi                                  |   |      |
|-------------|----------|-------------|--------|--------|------|-------|---------------------|---------------------|----------|--------------------------------|--------------------------------|--------|-------|-------|----------------------|---|---|------|
| 4.85 / 0.16 | 8° étage | G+Q+Ex      | -0,23  | 3,09   | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 4,630                          | -5,223                         | 2,28   | PC    | 0,84  | 0,17                 | 1,17                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |      |
|             |          | G+Q+Ey      | 0,2    | 18,43  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 29,639                         | -29,124                        | 2,45   | PC    | 5,80  | 1,16                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G+Ex     | 0      | 2,83   | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 4,512                          | -4,512                         | 2,43   | PC    | 0,88  | 0,18                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G-Ex     | -0,55  | -0,02  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | -0,677                         | -0,741                         | 0,00   | EC    | EC    | EC                   |   |   | 1,17 |
|             |          | 0,8G+Ey     | 0,43   | 18,17  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 29,521                         | -28,413                        | 2,47   | PC    | 5,84  | 1,17                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G-Ey     | -0,72  | -0,31  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | -0,434                         | -1,422                         | 0,00   | EC    | EC    | EC                   |   |   | 1,17 |
|             | 7° étage | G+Q+Ex      | -0,64  | 3,22   | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 4,309                          | -5,958                         | 2,04   | PC    | 0,70  | 0,14                 | 1,11                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |      |
|             |          | G+Q+Ey      | -0,57  | 18,48  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 28,727                         | -30,196                        | 2,36   | PC    | 5,43  | 1,09                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G+Ex     | -0,29  | 2,99   | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 4,393                          | -5,140                         | 2,23   | PC    | 0,79  | 0,16                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G-Ex     | -0,77  | -0,05  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | -0,913                         | -1,072                         | 0,00   | EC    | EC    | EC                   |   |   | 1,11 |
|             |          | 0,8G+Ey     | -0,22  | 18,24  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 28,795                         | -29,362                        | 2,40   | PC    | 5,53  | 1,11                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G-Ey     | -1,27  | -0,34  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | -1,095                         | -2,179                         | 0,00   | EC    | EC    | EC                   |   |   | 1,11 |
|             | 6° étage | G+Q+Ex      | -1,09  | 3,3    | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 3,856                          | -6,666                         | 1,78   | PC    | 0,55  | 0,11                 | 1,09                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |      |
|             |          | G+Q+Ey      | -0,93  | 18,49  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 28,279                         | -30,676                        | 2,33   | PC    | 5,26  | 1,05                 |   |   |      |
|             |          | G+Q-Ey      | -0,61  | 3,1    | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 4,156                          | -5,728                         | 2,04   | PC    | 0,68  | 0,14                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G-Ex     | -1,01  | -0,06  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | -1,206                         | -1,397                         | 0,00   | EC    | EC    | EC                   |   |   | 1,09 |
|             |          | 0,8G+Ey     | -0,45  | 18,29  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 28,578                         | -29,738                        | 2,38   | PC    | 5,43  | 1,09                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G-Ey     | -2,21  | -0,39  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | -2,226                         | -3,470                         | 0,00   | EC    | EC    | EC                   |   |   | 1,09 |
|             | 5° étage | G+Q+Ex      | -1,09  | 3,3    | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 3,856                          | -6,666                         | 1,78   | PC    | 0,55  | 0,11                 | 1,09                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |      |
|             |          | G+Q+Ey      | -0,93  | 18,49  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 28,279                         | -30,676                        | 2,33   | PC    | 5,26  | 1,05                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G+Ex     | -0,61  | 3,1    | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 4,156                          | -5,728                         | 2,04   | PC    | 0,68  | 0,14                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G-Ex     | -1,01  | -0,06  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | -1,206                         | -1,397                         | 0,00   | EC    | EC    | EC                   |   |   | 1,09 |
|             |          | 0,8G+Ey     | -0,45  | 18,29  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | 28,578                         | -29,738                        | 2,38   | PC    | 5,43  | 1,09                 |   |   |      |
|             |          | 0,8G-Ey     | -2,21  | -0,39  | 4,85 | 0,16  | 0,776               | 1,521               | 2,425    | -2,226                         | -3,470                         | 0,00   | EC    | EC    | EC                   |   |   | 1,09 |
| 4° étage    | G+Q+Ex   | -2,03       | 3,18   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 2,454    | -7,686                         | 1,17                           | PC     | 0,23  | 0,05  | 1,84                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |      |
|             | G+Q+Ey   | -1,18       | 17,16  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 25,836   | -28,877                        | 2,29                           | PC     | 4,73  | 0,95  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G+Ex  | -1,29       | 3,09   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 3,264    | -6,589                         | 1,61                           | PC     | 0,42  | 0,08  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G-Ex  | -1,61       | -0,09  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -1,931   | -2,218                         | 0,00                           | EC     | EC    | EC    |                      |   | 1,84                                      |      |
|             | 0,8G+Ey  | -32,5       | 72,89  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 74,295   | -158,110                       | 1,55                           | PC     | 9,22  | 1,84  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G-Ey  | -4,43       | -0,48  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -4,944   | -6,474                         | 0,00                           | EC     | EC    | EC    |                      |   | 1,84                                      |      |
| 3° étage    | G+Q+Ex   | -2,57       | 2,97   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 1,423    | -8,047                         | 0,73                           | PC     | 0,08  | 0,02  | 2,70                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |      |
|             | G+Q+Ey   | -69,5       | 96,54  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 64,383   | -243,429                       | 1,01                           | PC     | 5,22  | 1,04  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G+Ex  | -1,68       | 2,95   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 2,538    | -6,868                         | 1,31                           | PC     | 0,27  | 0,05  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G-Ex  | -1,93       | -0,11  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -2,312   | -2,662                         | 0,00                           | EC     | EC    | EC    |                      |   | 2,70                                      |      |
|             | 0,8G+Ey  | -38         | 95,18  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 102,833  | -200,642                       | 1,64                           | PC     | 13,52 | 2,70  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G-Ey  | -4,95       | -0,5   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -5,582   | -7,176                         | 0,00                           | EC     | EC    | EC    |                      |   | 2,70                                      |      |
| 2° étage    | G+Q+Ex   | -122        | 6,07   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -147,205 | -166,558                       | 0,00                           | EC     | EC    | EC    | 4,23                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |      |
|             | G+Q+Ey   | -88,2       | 135,71 | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 102,640  | -330,063                       | 1,15                           | PC     | 9,45  | 1,89  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G+Ex  | -81,5       | 5,04   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -96,926  | -112,996                       | 0,00                           | EC     | EC    | EC    | 4,23                 |   |   |      |
|             | 0,8G-Ex  | -108        | 1,06   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -137,653 | -141,033                       | 0,00                           | EC     | EC    | EC    | 4,23                 |   |   |      |
|             | 0,8G+Ey  | -47,9       | 134,68 | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 152,931  | -276,488                       | 1,73                           | PC     | 21,13 | 4,23  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G-Ey  | -125        | -129,9 | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 45,974   | -368,268                       | 0,54                           | PC     | 1,98  | 0,40  |                      |   |   |      |
| 1° étage    | G+Q+Ex   | -141        | 13,72  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -160,395 | -204,141                       | 0,00                           | EC     | EC    | EC    | 6,48                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |      |
|             | G+Q+Ey   | -104        | 187,55 | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 164,807  | -433,184                       | 1,34                           | PC     | 17,62 | 3,52  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G+Ex  | -93,4       | 10,47  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -103,656 | -137,039                       | 0,00                           | EC     | EC    | EC    | 6,48                 |   |   |      |
|             | 0,8G-Ex  | -123        | 5,43   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -150,171 | -167,484                       | 0,00                           | EC     | EC    | EC    | 6,48                 |   |   |      |
|             | 0,8G+Ey  | -56,1       | 184,3  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 221,546  | -366,082                       | 1,83                           | PC     | 32,41 | 6,48  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G-Ey  | -142        | -170,7 | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 89,385   | -454,849                       | 0,80                           | PC     | 5,70  | 1,14  |                      |   |   |      |
| RDC         | G+Q+Ex   | -161        | 36,62  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -149,004 | -265,764                       | 0,00                           | EC     | EC    | EC    | 10,20                | (2x3T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |      |
|             | G+Q+Ey   | -122        | 270,94 | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 275,120  | -588,755                       | 1,54                           | PC     | 34,00 | 6,80  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G+Ex  | -105        | 26,37  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -93,631  | -177,710                       | 0,00                           | EC     | EC    | EC    | 10,20                |   |   |      |
|             | 0,8G-Ex  | -138        | 19,85  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | -145,597 | -208,888                       | 0,00                           | EC     | EC    | EC    | 10,20                |   |   |      |
|             | 0,8G+Ey  | -66         | 260,7  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 330,523  | -500,703                       | 1,93                           | PC     | 50,99 | 10,20 |                      |   |   |      |
|             | 0,8G-Ey  | -157        | -217,6 | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 144,853  | -548,951                       | 1,01                           | PC     | 11,73 | 2,35  |                      |   |   |      |
| Sous-sol    | G+Q+Ex   | 3,97        | 5,54   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 13,948   | -3,716                         | 3,83                           | PC     | 4,27  | 0,85  | 2,83                 | (2x3T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |      |
|             | G+Q+Ey   | 6,85        | 10,78  | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 26,013   | -8,358                         | 3,67                           | PC     | 7,64  | 1,53  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G+Ex  | 2,87        | 4,05   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 10,155   | -2,758                         | 3,81                           | PC     | 3,10  | 0,62  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G-Ex  | 2,05        | 2,59   | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 6,771    | -1,487                         | 3,98                           | PC     | 2,15  | 0,43  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G+Ey  | -92,3       | 160,25 | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 136,504  | -374,443                       | 1,30                           | PC     | 14,15 | 2,83  |                      |   |   |      |
|             | 0,8G-Ey  | -125        | -187,4 | 4,85   | 0,16 | 0,776 | 1,521               | 2,425               | 137,481  | -459,904                       | 1,12                           | PC     | 12,28 | 2,46  |                      |   |   |      |

Tableau VI-7 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.7.

| Voile                | Etage    | Combinaison | N(t)   | M(T,m) | L(m)  | e(m)  | A (m²) | l (m4)  | V (m)    | qt (T/m²) | cc (T/m²) | Lt (m) | N (T) | A min | A (cm²) | A/choisi                                  |   |
|----------------------|----------|-------------|--------|--------|-------|-------|--------|---------|----------|-----------|-----------|--------|-------|-------|---------|---|---|
| V.T.7<br>3.35 / 0.16 | 8° étage | G+Q+Ex      | -0,44  | 1,84   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 5,327     | -6,969    | 1,45   | PC    | 0,62  | 5,30    | 0,12                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -0,27  | 6,18   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 20,147    | -21,154   | 1,63   | PC    | 2,63  |         | 0,53                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -0,28  | 1,53   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 4,590     | -5,635    | 1,50   | PC    | 0,55  |         | 0,11                                      |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -0,7   | -3,43  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 10,155    | -12,767   | 1,48   | PC    | 1,21  |         | 0,24                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -0,12  | 5,85   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 19,324    | -19,772   | 1,66   | PC    | 2,56  |         | 0,51                                      |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -0,75       | -5,72  | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 17,714   | -20,513   | 1,55      | PC     | 2,20  | 0,44  | 0,53    |   |   |
|                      | 7° étage | G+Q+Ex      | -0,7   | 1,77   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 4,608     | -7,220    | 1,31   | PC    | 0,48  | 5,25    | 0,10                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -0,46  | 6,72   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 21,597    | -23,313   | 1,61   | PC    | 2,78  |         | 0,56                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -0,47  | 1,46   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 4,002     | -5,755    | 1,37   | PC    | 0,44  |         | 0,09                                      |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -0,84  | -3,63  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 10,562    | -13,697   | 1,46   | PC    | 1,23  |         | 0,25                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -0,23  | 6,41   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 20,990    | -21,848   | 1,64   | PC    | 2,76  |         | 0,55                                      |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -1,03       | -5,67  | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 17,025   | -20,868   | 1,51      | PC     | 2,05  | 0,41  | 0,56    |   |   |
|                      | 6° étage | G+Q+Ex      | -0,96  | 1,58   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 3,489     | -7,071    | 1,11   | PC    | 0,31  | 5,29    | 0,06                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -0,47  | 7,05   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 22,681    | -24,434   | 1,61   | PC    | 2,93  |         | 0,59                                      |   |
|                      |          | G+Q-Ey      | -0,66  | 1,28   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 3,046     | -5,508    | 1,19   | PC    | 0,29  |         | 0,06                                      |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -1,03  | -3,71  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 10,475    | -14,319   | 1,42   | PC    | 1,19  |         | 0,24                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -0,16  | 6,77   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 22,323    | -22,920   | 1,65   | PC    | 2,95  |         | 0,59                                      |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -1,25       | -5,63  | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 16,481   | -21,145   | 1,47      | PC     | 1,93  | 0,39  | 0,59    |   |   |
|                      | 5° étage | G+Q+Ex      | -1,2   | 1,43   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 2,540     | -7,017    | 0,89   | PC    | 0,18  | 5,37    | 0,04                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -0,38  | 7,24   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 23,484    | -24,901   | 1,63   | PC    | 3,05  |         | 0,61                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -0,81  | 1,15   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 2,332     | -5,354    | 1,02   | PC    | 0,19  |         | 0,04                                      |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -1,24  | -3,78  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 10,317    | -14,944   | 1,37   | PC    | 1,13  |         | 0,23                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | 0,02   | 6,99   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 23,394    | -23,320   | 1,68   | PC    | 3,14  |         | 0,63                                      |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -1,79       | -5,96  | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 16,576   | -23,255   | 1,39      | PC     | 1,85  | 0,37  | 0,63    |   |   |
|                      | 4° étage | G+Q+Ex      | 0,1    | 2,16   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 7,404     | -7,031    | 1,72   | PC    | 1,02  | 5,76    | 0,20                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -25,9  | 25,78  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 37,823    | -134,465  | 0,74   | PC    | 2,23  |         | 0,45                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | 0,32   | 2,41   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 8,650     | -7,456    | 1,80   | PC    | 1,25  |         | 0,25                                      |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -1,62  | -3,26  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 7,871     | -13,916   | 1,21   | PC    | 0,76  |         | 0,15                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -14,4  | 25,87  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 59,560    | -113,329  | 1,15   | PC    | 5,50  |         | 1,10                                      |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -4,65       | -8,54  | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 19,861   | -37,212   | 1,17      | PC     | 1,85  | 0,37  | 1,10    |   |   |
|                      | 3° étage | G+Q+Ex      | -1,71  | 1,95   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 3,326     | -9,706    | 0,85   | PC    | 0,23  | 4,20    | 0,05                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -32,4  | 34,18  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 53,709    | -174,716  | 0,79   | PC    | 3,38  |         | 0,68                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -1,25  | 2,49   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 5,988     | -10,652   | 1,21   | PC    | 0,58  |         | 0,12                                      |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -1,64  | -4,24  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 11,108    | -17,228   | 1,31   | PC    | 1,17  |         | 0,23                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -16,7  | 34,29  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 83,442    | -145,718  | 1,22   | PC    | 8,14  |         | 1,63                                      |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -64,8       | -34,12 | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | -6,828   | -234,852  | 0,00      | EC     | EC    | EC    | 1,63    |   |   |
|                      | 2° étage | G+Q+Ex      | -70,7  | 2,58   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | -123,338  | -140,580  | 0,00   | EC    | EC    | 4,07    | EC  | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -40,9  | 45,47  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 75,669    | -228,207  | 0,83   | PC    | 5,05  |         | 1,01                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -1,71  | 2,45   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 4,996     | -11,377   | 1,02   | PC    | 0,41  |         | 0,08                                      |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -2,06  | -4,04  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 9,656     | -17,343   | 1,20   | PC    | 0,93  |         | 0,19                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -19,6  | 45,46  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 115,282   | -188,528  | 1,27   | PC    | 11,72 |         | 2,34                                      |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -80,5       | -44,99 | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 0,073    | -300,595  | 0,00      | PC     | 0,00  | 0,00  | 2,34    |   |   |
|                      | 1° étage | G+Q+Ex      | -82    | 2,1    | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | -145,931  | -159,965  | 0,00   | EC    | EC    | 4,15    | EC  | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -50,4  | 57,74  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 98,946    | -286,931  | 0,86   | PC    | 6,80  |         | 1,36                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ex     | -2,31  | 2,42   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 3,777     | -12,396   | 0,78   | PC    | 0,24  |         | 0,05                                      |   |
|                      |          | 0,8G-Ex     | -2,67  | -3,75  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 7,549     | -17,512   | 1,01   | PC    | 0,61  |         | 0,12                                      |   |
|                      |          | 0,8G+Ey     | -23,6  | 58,52  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 151,552   | -239,537  | 1,30   | PC    | 15,74 |         | 3,15                                      |   |
|                      | 0,8G-Ey  | -93,1       | -50,84 | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | -3,775   | -343,539  | 0,00      | EC     | EC    | EC    | 3,15    |   |   |
|                      | RDC      | G+Q+Ex      | -2,48  | 5,51   | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 13,785    | -23,039   | 1,25   | PC    | 1,38  | 4,99    | 0,28                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |          | G+Q+Ey      | -63    | 68,96  | 3,35  | 0,16  | 0,536  | 0,501   | 1,675    | 112,893   | -347,967  | 0,82   | PC    | 7,41  |         | 1,48                                      |   |
| 0,8G+Ex              |          | -0,61       | 4,95   | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 15,402   | -17,678   | 1,56      | PC     | 1,92  | 0,38  |         |   |   |
| 0,8G-Ex              |          | -70,8       | -11,47 | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | -93,707  | -170,361  | 0,00      | EC     | EC    | EC    |         |   |   |
| 0,8G+Ey              |          | -30,9       | 74,2   | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 190,365  | -305,514  | 1,29      | PC     | 19,59 | 3,92  |         |   |   |
| 0,8G-Ey              | -106     | -94,7       | 3,35   | 0,16   | 0,536 | 0,501 | 1,675  | 118,604 | -514,276 | 0,63      | PC        | 5,96   | 1,19  | 3,92  |         |   |   |
| Sous-sol             | G+Q+Ex   | -73,9       | 13,37  | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | -93,104  | -182,456  | 0,00      | EC     | EC    | 5,24  | EC      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                      | G+Q+Ey   | -68,2       | 68,74  | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 102,531  | -356,859  | 0,75      | PC     | 6,13  |       | 1,23    |   |   |
|                      | 0,8G+Ex  | -0,23       | 5,69   | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 18,584   | -19,442   | 1,64      | PC     | 2,43  |       | 0,49    |   |   |
|                      | 0,8G-Ex  | -56,4       | 7,59   | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | -79,825  | -130,549  | 0,00      | EC     | EC    |       | EC      |   |   |
|                      | 0,8G+Ey  | -43,1       | 64,57  | 3,35   | 0,16  | 0,536 | 0,501  | 1,675   | 135,444  | -296,078  | 1,05      | PC     | 11,39 |       | 2,28    |   |   |
| 0,8G-Ey              | -80,2    | -50,35      | 3,35   | 0,16   | 0,536 | 0,501 | 1,675  | 18,599  | -317,890 | 0,19      | PC        | 0,28   | 0,06  | 2,28  |         |   |   |

**Tableau VI-8 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.8.**

| Voile               | Etage    | Combinaison | N(t)   | M(T,m) | L(m)  | e(m)  | A (m²) | l(m4)   | V (m)    | σt (T/m²) | σc (T/m²) | LT (m) | N (T) | A min | A (cm²)                                    | A/choisi   |   |
|---------------------|----------|-------------|--------|--------|-------|-------|--------|---------|----------|-----------|-----------|--------|-------|-------|--|--|---|
| V.T.8<br>5.53 /0.16 | 8° étage | G+Q+Ex      | -0,16  | -2,14  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 2,443     | -2,805    | 2,57   | PC    | 0,50  | 8,67                                       | 0,10<br>0,19<br>0,05<br>0,15<br>0,27<br>0,48       | 0,48<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -0,23  | 3,89   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 4,510     | -5,030    | 2,61   | PC    | 0,94  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -0,04  | -0,92  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 1,083     | -1,173    | 2,65   | PC    | 0,23  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -0,49  | -3,52  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 3,763     | -4,870    | 2,41   | PC    | 0,73  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -0,11  | 5,1    | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 6,130     | -6,378    | 2,71   | PC    | 1,33  |  |  |   |
|                     | 0,8G-Ey  | -0,42       | -9,54  | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 11,224   | -12,173   | 2,65      | PC     | 2,38  |       |  |  |   |
|                     | 7° étage | G+Q+Ex      | -0,41  | -2,2   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 2,234     | -3,161    | 2,29   | PC    | 0,41  | 8,53                                       | 0,08<br>0,20<br>0,03<br>0,13<br>0,28<br>0,48       | 0,48<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -0,4   | 4,4    | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 4,943     | -5,848    | 2,53   | PC    | 1,00  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -0,23  | -1     | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 0,966     | -1,486    | 2,18   | PC    | 0,17  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -0,62  | -3,35  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 3,407     | -4,809    | 2,29   | PC    | 0,63  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -0,22  | 5,6    | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 6,618     | -7,116    | 2,66   | PC    | 1,41  |  |  |   |
|                     | 0,8G-Ey  | -0,63       | -9,95  | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 11,489   | -12,913   | 2,60      | PC     | 2,39  |       |  |  |   |
|                     | 6° étage | G+Q+Ex      | -37,5  | 7,93   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -32,703   | -52,152   | 0,00   | EC    | EC    | 6,58                                       | EC<br>0,16<br>EC<br>0,04<br>0,65<br>0,24           | 0,65<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -30    | 38,35  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 13,144    | -80,910   | 0,77   | PC    | 0,81  |  |  |   |
|                     |          | G+Q-Ex      | -26,5  | 6,17   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -22,373   | -37,505   | 0,00   | EC    | EC    |  |  |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -1,33  | -2,65  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 1,746     | -4,753    | 1,49   | PC    | 0,21  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -18,1  | 37,95  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 26,102    | -66,970   | 1,55   | PC    | 3,24  |  |  |   |
|                     | 0,8G-Ey  | -2,2        | -7,9   | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 7,201    | -12,174   | 2,06      | PC     | 1,18  |       |  |  |   |
|                     | 5° étage | G+Q+Ex      | -51,5  | 8,26   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -48,110   | -68,368   | 0,00   | EC    | EC    | 5,84                                       | EC<br>0,65<br>EC<br>0,04<br>1,51<br>0,00           | 1,51<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -40    | 64,58  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 34,040    | -124,343  | 1,19   | PC    | 3,24  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -36    | 6,31   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -32,983   | -48,459   | 0,00   | EC    | EC    |  |  |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -1,44  | -2,65  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 1,622     | -4,877    | 1,38   | PC    | 0,18  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -23,6  | 63,94  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 51,734    | -105,079  | 1,82   | PC    | 7,55  |  |  |   |
|                     | 0,8G-Ey  | -65,6       | -60,81 | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 0,484    | -148,653  | 0,02      | PC     | 0,00  |       |  |  |   |
|                     | 4° étage | G+Q+Ex      | -65,4  | 7,98   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -64,141   | -83,712   | 0,00   | EC    | EC    | 6,52                                       | EC<br>1,67<br>EC<br>0,04<br>2,97<br>0,25           | 2,97<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -49,6  | 101,74 | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 68,713    | -180,806  | 1,52   | PC    | 8,37  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -45,5  | 5,71   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -44,388   | -58,392   | 0,00   | EC    | EC    |  |  |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -1,44  | -2,7   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 1,683     | -4,938    | 1,41   | PC    | 0,19  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -28,8  | 100,8  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 91,102    | -156,111  | 2,04   | PC    | 14,85 |  |  |   |
|                     | 0,8G-Ey  | -82,4       | -97,11 | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 25,965   | -212,199  | 0,60      | PC     | 1,25  |       |  |  |   |
|                     | 3° étage | G+Q+Ex      | -88,7  | 5,03   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -94,114   | -106,451  | 0,00   | EC    | EC    | 6,74                                       | EC<br>2,69<br>EC<br>4,52<br>0,83                   | 4,52<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -64,3  | 143,75 | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 103,625   | -248,923  | 1,63   | PC    | 13,47 |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -62,3  | 3,82   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -65,761   | -75,130   | 0,00   | EC    | EC    |  |  |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -70,4  | 1,13   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -78,192   | -80,963   | 0,00   | EC    | EC    |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -37    | 143,39 | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 133,982   | -217,684  | 2,11   | PC    | 22,58 |  |  |   |
|                     | 0,8G-Ey  | -103        | -141,2 | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 57,011   | -289,357  | 0,91      | PC     | 4,15  |       |  |  |   |
|                     | 2° étage | G+Q+Ex      | -114   | 5,72   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -121,309  | -135,337  | 0,00   | EC    | EC    | 6,95                                       | EC<br>4,02<br>EC<br>0,00<br>6,52<br>1,86           | 6,52<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -81,1  | 195,01 | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 147,484   | -330,780  | 1,71   | PC    | 20,12 |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -78,9  | 4,7    | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -83,353   | -94,880   | 0,00   | EC    | EC    |  |  |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -2,31  | -2,47  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 0,418     | -5,640    | 0,38   | PC    | 0,01  |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -45,5  | 195,16 | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 187,858   | -290,774  | 2,17   | PC    | 32,62 |  |  |   |
|                     | 0,8G-Ey  | -123        | -195,3 | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 100,436  | -378,442  | 1,16      | PC     | 9,32  |       |  |  |   |
|                     | 1° étage | G+Q+Ex      | -137   | 3,53   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -150,384  | -159,042  | 0,00   | EC    | EC    | 7,08                                       | EC<br>5,54<br>EC<br>8,83<br>8,83<br>3,62           | 8,83<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -98,8  | 251,38 | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 196,547   | -419,965  | 1,76   | PC    | 27,72 |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -93,9  | 3,48   | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -101,847  | -110,382  | 0,00   | EC    | EC    |  |  |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -99,8  | -7,05  | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | -104,126  | -121,416  | 0,00   | EC    | EC    |  |  |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | -54,9  | 253,97 | 5,53  | 0,16  | 0,885  | 2,255   | 2,765    | 249,350   | -373,514  | 2,21   | PC    | 44,16 |  |  |   |
|                     | 0,8G-Ey  | -142        | -264   | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 162,814  | -484,649  | 1,39      | PC     | 18,11 |       |  |  |   |
| RDC                 | G+Q+Ex   | -162        | -25,68 | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | -151,896 | -214,876  | 0,00      | EC     | EC    | 7,08  | EC<br>6,71<br>EC<br>10,91<br>10,91<br>6,61 | 10,91<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                     | G+Q+Ey   | -120        | 304,85 | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 238,166  | -509,482  | 1,76      | PC     | 33,56 |       |  |  |   |
|                     | 0,8G+Ex  | -110        | -16,43 | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | -104,547 | -144,842  | 0,00      | EC     | EC    |       |  |  |   |
|                     | 0,8G-Ex  | -115        | -21,01 | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | -103,735 | -155,262  | 0,00      | EC     | EC    |       |  |  |   |
|                     | 0,8G+Ey  | -68,1       | 314,1  | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 308,212  | -462,122  | 2,21      | PC     | 54,55 |       |  |  |   |
| 0,8G-Ey             | -157     | -351,6      | 5,53   | 0,16   | 0,885 | 2,255 | 2,765  | 253,852 | -608,328 | 1,63      | PC        | 33,07  |       |       |  |  |   |
| Sous-sol            | G+Q+Ex   | -145        | 48,67  | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | -103,847 | -223,210  | 0,00      | EC     | EC    | 6,81  | EC<br>5,68<br>EC<br>8,28<br>8,28<br>3,68   | 8,28<br>(2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15  |   |
|                     | G+Q+Ey   | -111        | 271,1  | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 206,602  | -458,274  | 1,72      | PC     | 28,40 |       |  |  |   |
|                     | 0,8G+Ex  | -97,9       | 35,48  | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | -67,094  | -154,109  | 0,00      | EC     | EC    |       |  |  |   |
|                     | 0,8G-Ex  | -101        | 18,58  | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | -90,937  | -136,504  | 0,00      | EC     | EC    |       |  |  |   |
|                     | 0,8G+Ey  | -64,5       | 257,91 | 5,53   | 0,16  | 0,885 | 2,255  | 2,765   | 243,354  | -389,173  | 2,13      | PC     | 41,42 |       |  |  |   |
| 0,8G-Ey             | -130     | -249,5      | 5,53   | 0,16   | 0,885 | 2,255 | 2,765  | 159,444 | -452,482 | 1,44      | PC        | 18,38  |       |       |  |  |   |

Tableau VI-9 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.T.A.

| Voile               | Etage    | Combinaison | N(t)    | M(T,m) | L(m)   | e(m)  | A (m <sup>2</sup> ) | I (m <sup>4</sup> ) | V (m)   | σt (T/m <sup>2</sup> ) | σc (T/m <sup>2</sup> ) | LT (m)   |       | N (T) | A min | A (cm <sup>2</sup> ) | A/choisi                                  |   |
|---------------------|----------|-------------|---------|--------|--------|-------|---------------------|---------------------|---------|------------------------|------------------------|----------|-------|-------|-------|----------------------|---|---|
| V.T.A<br>2.13 /0.16 | 8° étage | G+Q+Ex      | 5,55    | 4,82   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 56,125                 | -23,555                | 1,50     | PC    | 6,74  | 5,25  | 1,35                 | 1,61                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | 2,77    | 8,29   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 76,649                 | -60,394                | 1,19     | PC    | 7,31  |       | 1,46                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | 6,76    | 4,45   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 56,617                 | -16,946                | 1,64     | PC    | 7,43  |       | 1,49                 |   |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -4,72   | -8,85  | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 59,300                 | -87,000                | 0,86     | PC    | 4,10  |       | 0,82                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | 2,99    | 9,21   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 84,899                 | -67,352                | 1,19     | PC    | 8,07  |       | 1,61                 |   |   |
|                     |          |             | 0,8G-Ey | -5,35  | -13,64 | 2,13  | 0,16                | 0,341               | 0,129   | 1,065                  | 97,044                 | -128,441 | 0,92  | PC    | 7,12  | 1,42                 |   |   |
|                     | 7° étage | G+Q+Ex      | 7,74    | 2,09   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 39,986                 | 5,436                  | 2,13     | ET    | 7,74  | 6,82  | 1,55                 | 1,55                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | 0,13    | 7,7    | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 64,026                 | -63,263                | 1,07     | PC    | 5,49  |       | 1,10                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | 4,5     | 2,38   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 32,876                 | -6,468                 | 1,78     | PC    | 4,68  |       | 0,94                 |   |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -2,01   | -7,49  | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 56,011                 | -67,807                | 0,96     | PC    | 4,32  |       | 0,86                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | 0,28    | 8,54   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 71,409                 | -69,766                | 1,08     | PC    | 6,15  |       | 1,23                 |   |   |
|                     |          |             | 0,8G-Ey | -1,07  | -11,49 | 2,13  | 0,16                | 0,341               | 0,129   | 1,065                  | 91,832                 | -98,111  | 1,03  | PC    | 7,57  | 1,51                 |   |   |
|                     | 6° étage | G+Q+Ex      | 4,38    | 2,48   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 33,351                 | -7,646                 | 1,73     | PC    | 4,62  | 6,82  | 0,92                 | 1,84                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -0,1    | 8      | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 65,831                 | -66,418                | 1,06     | PC    | 5,58  |       | 1,12                 |   |   |
|                     |          | G+Q-Ey      | 9,21    | 2,23   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 45,457                 | 8,592                  | 2,13     | ET    | 9,21  |       | 1,84                 |   |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -2,23   | -7,94  | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 59,085                 | -72,172                | 0,96     | PC    | 4,53  |       | 0,91                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | 0,13    | 8,82   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 73,284                 | -72,521                | 1,07     | PC    | 6,28  |       | 1,26                 |   |   |
|                     |          |             | 0,8G-Ey | -1,33  | -11,72 | 2,13  | 0,16                | 0,341               | 0,129   | 1,065                  | 92,970                 | -100,775 | 1,02  | PC    | 7,60  | 1,52                 |   |   |
|                     | 5° étage | G+Q+Ex      | 0,25    | 4,67   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 39,334                 | -37,867                | 1,09     | PC    | 3,41  | 3,53  | 0,68                 | 1,46                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | -0,01   | 8,13   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 67,170                 | -67,228                | 1,06     | PC    | 5,72  |       | 1,14                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | 0,57    | 5,47   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 46,885                 | -43,540                | 1,10     | PC    | 4,14  |       | 0,83                 |   |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -2,22   | -8,29  | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 62,007                 | -75,036                | 0,96     | PC    | 4,78  |       | 0,96                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | 0,31    | 8,93   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 74,721                 | -72,902                | 1,08     | PC    | 6,44  |       | 1,29                 |   |   |
|                     |          |             | 0,8G-Ey | -1,96  | -11,75 | 2,13  | 0,16                | 0,341               | 0,129   | 1,065                  | 91,369                 | -102,871 | 1,00  | PC    | 7,32  | 1,46                 |   |   |
|                     | 4° étage | G+Q+Ex      | -0,45   | 5,01   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 40,090                 | -42,731                | 1,03     | PC    | 3,31  | 3,51  | 0,66                 | 1,35                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | 0,3     | 8,05   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 67,418                 | -65,657                | 1,08     | PC    | 5,82  |       | 1,16                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -0,04   | 5,77   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 47,575                 | -47,810                | 1,06     | PC    | 4,04  |       | 0,81                 |   |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -2,06   | -8,42  | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 63,551                 | -75,641                | 0,97     | PC    | 4,94  |       | 0,99                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | 0,71    | 8,82   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 74,986                 | -70,819                | 1,10     | PC    | 6,57  |       | 1,31                 |   |   |
|                     |          |             | 0,8G-Ey | -2,81  | -11,47 | 2,13  | 0,16                | 0,341               | 0,129   | 1,065                  | 86,561                 | -103,051 | 0,97  | PC    | 6,73  | 1,35                 |   |   |
|                     | 3° étage | G+Q+Ex      | -1,03   | 4,89   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 37,396                 | -43,441                | 0,99     | PC    | 2,95  | 3,62  | 0,59                 | 1,33                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | 1,03    | 7,56   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 65,510                 | -59,465                | 1,12     | PC    | 5,85  |       | 1,17                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -0,59   | 5,71   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 45,465                 | -48,928                | 1,03     | PC    | 3,73  |       | 0,75                 |   |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -2,05   | -8,18  | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 61,597                 | -73,628                | 0,97     | PC    | 4,78  |       | 0,96                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | 1,46    | 8,38   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 73,549                 | -64,981                | 1,13     | PC    | 6,65  |       | 1,33                 |   |   |
|                     |          |             | 0,8G-Ey | -4,1   | -10,85 | 2,13  | 0,16                | 0,341               | 0,129   | 1,065                  | 77,651                 | -101,712 | 0,92  | PC    | 5,73  | 1,15                 |   |   |
|                     | 2° étage | G+Q+Ex      | -1,72   | 4,58   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 32,809                 | -42,903                | 0,92     | PC    | 2,42  | 3,80  | 0,48                 | 1,32                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                     |          | G+Q+Ey      | 1,72    | 6,71   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 60,509                 | -50,415                | 1,16     | PC    | 5,62  |       | 1,12                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ex     | -1      | 5,4    | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 41,700                 | -47,568                | 0,99     | PC    | 3,32  |       | 0,66                 |   |   |
|                     |          | 0,8G-Ex     | -2,33   | -7,52  | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 55,320                 | -68,994                | 0,95     | PC    | 4,19  |       | 0,84                 |   |   |
|                     |          | 0,8G+Ey     | 2,44    | 7,53   | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 69,399                 | -55,080                | 1,19     | PC    | 6,59  |       | 1,32                 |   |   |
|                     |          |             | 0,8G-Ey | -5,77  | -9,65  | 2,13  | 0,16                | 0,341               | 0,129   | 1,065                  | 62,832                 | -96,693  | 0,84  | PC    | 4,22  | 0,84                 |   |   |
| 1° étage            | G+Q+Ex   | -1,77       | 4,26    | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 30,018  | -40,405                | 0,91                   | PC       | 2,18  | 6,82  | 0,44  | 6,02                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                     | G+Q+Ey   | 2,71        | 5,48    | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 53,247  | -37,343                | 1,25                   | PC       | 5,33  |       | 1,07  |                      |   |   |
|                     | 0,8G+Ex  | 30,08       | 1,01    | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 96,611  | 79,915                 | 2,13                   | ET       | 30,08 |       | 6,02  |                      |   |   |
|                     | 0,8G-Ex  | -3,44       | -6,71   | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 45,368  | -65,556                | 0,87                   | PC       | 3,16  |       | 0,63  |                      |   |   |
|                     | 0,8G+Ey  | 3,67        | 6,2     | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 62,015  | -40,478                | 1,29                   | PC       | 6,39  |       | 1,28  |                      |   |   |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -7,92   | -7,92  | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | 42,224                 | -88,703                | 0,69     | PC    | 2,32  | 0,46  |                      |   |   |
| RDC                 | G+Q+Ex   | 35,77       | 3,56    | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 134,384 | 75,534                 | 2,13                   | ET       | 35,77 | 6,82  | 7,15  | 10,72                | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                     | G+Q+Ey   | -43,3       | 17,75   | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 19,542  | -273,885               | 0,14                   | PC       | 0,22  |       | 0,04  |                      |   |   |
|                     | 0,8G+Ex  | 53,59       | 3,97    | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 190,062 | 124,433                | 2,13                   | ET       | 53,59 |       | 10,72 |                      |   |   |
|                     | 0,8G-Ex  | -4,98       | -6,06   | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 35,477  | -64,702                | 0,75                   | PC       | 2,14  |       | 0,43  |                      |   |   |
|                     | 0,8G+Ey  | -25,5       | 17,81   | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 72,474  | -221,945               | 0,52                   | PC       | 3,04  |       | 0,61  |                      |   |   |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -54,8   | -18,14 | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | -10,773                | -310,647               | 0,00     | EC    | EC    | EC    |                      |   |   |
| Sous-sol            | G+Q+Ex   | 32,3        | 5,42    | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 139,576 | 49,978                 | 2,13                   | ET       | 32,30 | 6,82  | 6,46  | 10,47                | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                     | G+Q+Ey   | 3,04        | 3,68    | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 39,337  | -21,497                | 1,38                   | PC       | 4,33  |       | 0,87  |                      |   |   |
|                     | 0,8G+Ex  | 52,37       | 4,87    | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 193,921 | 113,415                | 2,13                   | ET       | 52,37 |       | 10,47 |                      |   |   |
|                     | 0,8G-Ex  | -9,2        | 0,04    | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | -26,665 | -27,326                | 0,00                   | EC       | EC    |       | EC    |                      |   |   |
|                     | 0,8G+Ey  | -28,1       | 19,53   | 2,13   | 0,16   | 0,341 | 0,129               | 1,065               | 79,061  | -243,791               | 0,52                   | PC       | 3,30  |       | 0,66  |                      |   |   |
|                     |          | 0,8G-Ey     | -62,5   | -19,81 | 2,13   | 0,16  | 0,341               | 0,129               | 1,065   | -19,710                | -347,191               | 0,00     | EC    | EC    | EC    |                      |   |   |

**Tableau VI-10 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.L.1.**

| Voile    | Etage    | Combinaison | N(t)   | M(T,m) | L(m) | e(m)  | A (m <sup>2</sup> ) | I (m <sup>4</sup> ) | V (m)    | σt (T/m <sup>2</sup> ) | σc (T/m <sup>2</sup> ) | Lt (m) | PC     | N (T) | A min | A (cm <sup>2</sup> ) | A/choisi                                  |   |
|----------|----------|-------------|--------|--------|------|-------|---------------------|---------------------|----------|------------------------|------------------------|--------|--------|-------|-------|----------------------|---|---|
| V.L.1    | 8° étage | G+Q+Ex      | 2,6    | 51,27  | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 89,450                 | -83,289                | 2,19   | PC     | 19,55 | 9,11  | 3,91                 | 4,02                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -12,6  | 9,91   | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 1,813                  | -31,576                | 0,23   | PC     | 0,04  |       | 0,01                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ex     | 5,45   | 48,58  | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 88,295                 | -75,380                | 2,28   | PC     | 20,10 |       | 4,02                 |   |   |
|          |          | 0,8G-Ex     | -14,1  | -42,51 | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 54,894                 | -88,330                | 1,62   | PC     | 8,88  |       | 1,78                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ey     | -9,72  | 7,21   | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 0,629                  | -23,663                | 0,11   | PC     | 0,01  |       | 0,00                 |   |   |
|          |          | 0,8G-Ey     | -10    | 6,52   | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | -0,900                 | -22,867                | 0,00   | EC     | EC    |       | EC                   |   |   |
|          | 7° étage | G+Q+Ex      | 20,69  | 75,29  | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 151,348                | -102,319               | 2,52   | PC     | 38,11 | 10,70 | 7,62                 | 8,30                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -26    | 9,67   | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | -14,456                | -47,037                | 0,00   | EC     | EC    |       | EC                   |   |   |
|          |          | 0,8G+Ex     | 27,65  | 72,58  | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 155,029                | -89,507                | 2,68   | PC     | 41,48 |       | 8,30                 |   |   |
|          |          | 0,8G-Ex     | -6,15  | -44,25 | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 67,257                 | -81,830                | 1,90   | PC     | 12,80 |       | 2,56                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ey     | -19    | 6,96   | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | -10,763                | -34,213                | 0,00   | EC     | EC    |       | EC                   |   |   |
|          |          | 0,8G-Ey     | -19,9  | 5,58   | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | -14,119                | -32,919                | 0,00   | EC     | EC    |       | EC                   |   |   |
|          | 6° étage | G+Q+Ex      | 23,85  | 80,86  | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 164,475                | -107,958               | 2,55   | PC     | 41,90 | 11,04 | 8,38                 | 9,56                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -38,1  | 8,36   | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | -31,000                | -59,166                | 0,00   | EC     | EC    |       | EC                   |   |   |
|          |          | G+Q-Ey      | 34,45  | 78,54  | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 173,126                | -91,491                | 2,76   | PC     | 47,80 |       | 9,56                 |   |   |
|          |          | 0,8G-Ex     | -6,43  | -47,78 | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 72,872                 | -88,109                | 1,91   | PC     | 13,92 |       | 2,78                 |   |   |
|          |          | 0,8G+Ey     | -27,5  | 6,05   | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | -22,332                | -42,716                | 0,00   | EC     | EC    |       | EC                   |   |   |
|          |          | 0,8G-Ey     | -1,16  | -3,42  | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 4,387                  | -7,136                 | 1,61   | PC     | 0,70  |       | 0,14                 |   |   |
|          | 5° étage | G+Q+Ex      | 15,93  | 74,74  | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | 144,781                | -107,032               | 2,43   | PC     | 35,13 | 10,90 | 7,03                 | 8,62                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|          |          | G+Q+Ey      | -50,5  | 7,64   | 4,22 | 0,2   | 0,844               | 1,253               | 2,110    | -46,916                | -72,657                | 0,00   | EC     | EC    |       | EC                   |   |   |
| 0,8G+Ex  |          | 30,14       | 72,7   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 158,181  | -86,759                | 2,73                   | PC     | 43,11  | 8,62  |       |                      |   |   |
| 0,8G-Ex  |          | -6,28       | -50,79 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 78,120   | -93,002                | 1,93                   | PC     | 15,05  | 3,01  |       |                      |   |   |
| 0,8G+Ey  |          | -36,3       | 5,61   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -33,500  | -52,401                | 0,00                   | EC     | EC     | EC    |       |                      |   |   |
| 0,8G-Ey  |          | -1,45       | -3,28  | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 3,807    | -7,243                 | 1,45                   | PC     | 0,55   | 0,11  |       |                      |   |   |
| 4° étage | G+Q+Ex   | -1,6        | 57,9   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 95,643   | -99,434                | 2,07                   | PC     | 19,79  | 8,28  | 3,96  | 3,96                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|          | G+Q+Ey   | -2,17       | -3,59  | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 3,477    | -8,619                 | 1,21                   | PC     | 0,42   |       | 0,08  |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ex  | -9,34       | 66,96  | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 101,734  | -123,867               | 1,90                   | PC     | 19,36  |       | 3,87  |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ex  | -5,77       | -52,31 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 81,285   | -94,958                | 1,95                   | PC     | 15,82  |       | 3,16  |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ey  | -45,7       | 4,47   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -46,617  | -61,677                | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -47,3       | 1,94   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -52,715  | -59,252                | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
| 3° étage | G+Q+Ex   | 0,96        | 46,12  | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 78,831   | -76,556                | 2,14                   | PC     | 16,88  | 8,56  | 3,38  | 4,28                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|          | G+Q+Ey   | -2,58       | -3,09  | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 2,149    | -8,262                 | 0,87                   | PC     | 0,19   |       | 0,04  |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ex  | -35,7       | 104,33 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 133,503  | -218,005               | 1,60                   | PC     | 21,40  |       | 4,28  |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ex  | -5,69       | -51,87 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 80,638   | -94,122                | 1,95                   | PC     | 15,70  |       | 3,14  |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ey  | -55         | 3,65   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -58,970  | -71,267                | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -55,8       | 2,79   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -61,402  | -70,802                | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
| 2° étage | G+Q+Ex   | -64,3       | 157,43 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 189,021  | -341,391               | 1,50                   | PC     | 28,43  | 6,97  | 5,69  | 7,59                 | (2x4T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|          | G+Q+Ey   | -90,3       | 5,3    | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -98,015  | -115,871               | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ex  | -38,6       | 156,33 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 217,595  | -309,112               | 1,74                   | PC     | 37,94  |       | 7,59  |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ex  | -94,8       | -155,5 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 149,542  | -374,234               | 1,20                   | PC     | 18,02  |       | 3,60  |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ey  | -64,3       | 3,6    | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -70,168  | -82,297                | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -64,8       | 2,53   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -72,456  | -80,980                | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
| 1° étage | G+Q+Ex   | -37,6       | 223,77 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 332,365  | -421,560               | 1,86                   | PC     | 61,83  | 8,24  | 12,37 | 15,13                | (2x4T12)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|          | G+Q+Ey   | -104        | 5,43   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -114,218 | -132,512               | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ex  | -7,48       | 223,29 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 367,291  | -385,017               | 2,06                   | PC     | 75,67  |       | 15,13 |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ex  | -144        | -222,7 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 204,776  | -545,510               | 1,15                   | PC     | 23,59  |       | 4,72  |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ey  | -73,6       | 3,73   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -80,861  | -93,428                | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -74,1       | 1,62   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -85,115  | -90,573                | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
| RDC      | G+Q+Ex   | -2,25       | 310,55 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 520,486  | -525,818               | 2,10                   | PC     | 109,26 | 9,06  | 21,85 | 25,35                | (2x5T16)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|          | G+Q+Ey   | -117        | 7,56   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -125,309 | -150,781               | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ex  | 32,24       | 309,58 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 559,717  | -483,319               | 2,26                   | PC     | 126,75 |       | 25,35 |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ex  | -199        | -308,7 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 283,890  | -756,046               | 1,15                   | PC     | 32,70  |       | 6,54  |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ey  | -81,6       | 5,36   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -87,677  | -105,736               | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -83,2       | 1,59   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -95,912  | -101,269               | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
| Sous-sol | G+Q+Ex   | 5,95        | 324,67 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 553,988  | -539,889               | 2,14                   | PC     | 118,40 | 9,26  | 23,68 | 27,69                | (2x5T16)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|          | G+Q+Ey   | -4,55       | 3,24   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 0,067    | -10,849                | 0,03                   | PC     | 0,00   |       | 0,00  |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ex  | 44,77       | 323,4  | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 597,844  | -491,754               | 2,32                   | PC     | 138,43 |       | 27,69 |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ex  | -228        | -322,8 | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | 273,465  | -814,247               | 1,06                   | PC     | 29,01  |       | 5,80  |                      |   |   |
|          | 0,8G+Ey  | -89,1       | 7,04   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -93,733  | -117,452               | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |
|          | 0,8G-Ey  | -3,35       | 2,12   | 4,22   | 0,2  | 0,844 | 1,253               | 2,110               | -0,398   | -7,541                 | 0,00                   | EC     | EC     |       | EC    |                      |   |   |

Tableau VI-11 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.L.2.

| Voile   | Etage                | Combinaison | N(t)   | M(T,m) | L(m) | e(m)  | A (m <sup>2</sup> ) | l (m4) | V (m)    | $\sigma_t$ (T/m <sup>2</sup> ) | $\sigma_c$ (T/m <sup>2</sup> ) | LT (m) |       | N (T)  | A min | A (cm <sup>2</sup> ) | A/choisi |   |
|---------|----------------------|-------------|--------|--------|------|-------|---------------------|--------|----------|--------------------------------|--------------------------------|--------|-------|--------|-------|----------------------|----------|---|
| V.L.2   | 8 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | -15,9  | 89,04  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 90,122                         | -121,875                       | 2,13   | PC    | 19,23  | 8,91  | 3,85                 | 4,14     | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|         |                      | G+Q+Ey      | -1,73  | -3,31  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 2,217                          | -5,664                         | 1,41   | PC    | 0,31   |       | 0,06                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ex     | -11,8  | 87,85  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 92,839                         | -116,325                       | 2,23   | PC    | 20,69  |       | 4,14                 |          |   |
|         |                      | 0,8G-Ex     | -13,2  | -85,16 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 88,192                         | -114,567                       | 2,18   | PC    | 19,26  |       | 3,85                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ey     | -16,4  | 2,65   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -13,190                        | -19,499                        | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         | 7 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | -30    | 137,15 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 133,371                        | -193,172                       | 2,05   | PC    | 27,35  | 8,84  | 5,47                 | 6,35     | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|         |                      | G+Q+Ey      | -0,95  | -2,53  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 2,066                          | -3,958                         | 1,72   | PC    | 0,36   |       | 0,07                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ex     | -19,5  | 136,99 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 143,648                        | -182,513                       | 2,21   | PC    | 31,76  |       | 6,35                 |          |   |
|         |                      | 0,8G-Ex     | -35,5  | -136,9 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 127,581                        | -198,318                       | 1,97   | PC    | 25,07  |       | 5,01                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ey     | -31,5  | 3,67   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -27,015                        | -35,753                        | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         | 6 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | -39,8  | 142,69 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 130,205                        | -209,528                       | 1,92   | PC    | 25,05  | 8,71  | 5,01                 | 6,41     | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|         |                      | G+Q+Ey      | -64,6  | 4,4    | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -59,144                        | -69,620                        | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ex     | -22,5  | 142,28 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 147,008                        | -191,749                       | 2,18   | PC    | 32,03  |       | 6,41                 |          |   |
|         |                      | 0,8G-Ex     | -58,1  | -145   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 114,825                        | -230,503                       | 1,67   | PC    | 19,17  |       | 3,83                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ey     | -46,3  | 3,81   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -41,560                        | -50,631                        | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         | 5 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | -49,4  | 130,7  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 106,370                        | -204,816                       | 1,72   | PC    | 18,25  | 8,40  | 3,65                 | 5,46     | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|         |                      | G+Q+Ey      | -2,07  | -2,44  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 0,843                          | -4,966                         | 0,73   | PC    | 0,06   |       | 0,01                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ex     | -25,5  | 130,39 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 129,875                        | -180,572                       | 2,10   | PC    | 27,28  |       | 5,46                 |          |   |
|         |                      | 0,8G-Ex     | -82,2  | -132,3 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 75,557                         | -239,342                       | 1,20   | PC    | 9,10   |       | 1,82                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ey     | -1,4   | -1,47  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 0,356                          | -3,144                         | 0,51   | PC    | 0,02   |       | 0,00                 |          |   |
|         | 4 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | -1,34  | 52,87  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 61,605                         | -64,274                        | 2,46   | PC    | 15,13  | 9,83  | 3,03                 | 4,16     | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|         |                      | G+Q+Ey      | -2,82  | -2,44  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 0,096                          | -5,713                         | 0,08   | PC    | 0,00   |       | 0,00                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ex     | -30,1  | 114,49 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 106,285                        | -166,305                       | 1,96   | PC    | 20,80  |       | 4,16                 |          |   |
|         |                      | 0,8G-Ex     | -3,65  | -52,78 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 59,197                         | -66,468                        | 2,36   | PC    | 14,00  |       | 2,80                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ey     | -68,6  | 3,04   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -64,718                        | -71,956                        | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         | 3 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | -67    | 176,92 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 143,843                        | -277,389                       | 1,71   | PC    | 24,66  | 9,36  | 4,93                 | 7,88     | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|         |                      | G+Q+Ey      | -118   | 4,61   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -112,151                       | -123,127                       | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ex     | -29,1  | 177,24 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 182,013                        | -239,981                       | 2,17   | PC    | 39,41  |       | 7,88                 |          |   |
|         |                      | 0,8G-Ex     | -4,31  | -53    | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 58,801                         | -67,387                        | 2,34   | PC    | 13,75  |       | 2,75                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ey     | -82,1  | 3,84   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -77,152                        | -86,294                        | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         | 2 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | -72,4  | 268,47 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 247,500                        | -391,704                       | 1,94   | PC    | 48,11  | 9,20  | 9,62                 | 13,47    | (2x4T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|         |                      | G+Q+Ey      | -138   | 3,95   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -133,206                       | -142,611                       | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ex     | -27    | 268,62 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 292,938                        | -346,623                       | 2,30   | PC    | 67,36  |       | 13,47                |          |   |
|         |                      | 0,8G-Ex     | -165   | -269,8 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 156,773                        | -485,478                       | 1,23   | PC    | 19,21  |       | 3,84                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ey     | -95,1  | 3,32   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -90,799                        | -98,703                        | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         | 1 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | -77,4  | 398    | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 396,700                        | -550,904                       | 2,10   | PC    | 83,37  | 9,52  | 16,67                | 21,38    | (2x6T12)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|         |                      | G+Q+Ey      | -163   | 4,8    | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -156,856                       | -168,284                       | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ex     | -24,7  | 398    | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 449,230                        | -498,374                       | 2,38   | PC    | 106,91 |       | 21,38                |          |   |
|         |                      | 0,8G-Ex     | -191   | -398,4 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 284,029                        | -664,527                       | 1,50   | PC    | 42,69  |       | 8,54                 |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ey     | -112   | 4,29   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -106,317                       | -116,531                       | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         | RDC                  | G+Q+Ex      | -83,4  | 577,04 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 603,844                        | -770,039                       | 2,21   | PC    | 133,23 | 9,70  | 26,65                | 32,16    | (2x6T16)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|         |                      | G+Q+Ey      | -182   | 7,3    | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -172,993                       | -190,374                       | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ex     | -23,7  | 577,09 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 663,425                        | -710,577                       | 2,42   | PC    | 160,81 |       | 32,16                |          |   |
|         |                      | 0,8G-Ex     | -215   | -575,2 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 470,255                        | -899,199                       | 1,72   | PC    | 81,06  |       | 16,21                |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ey     | -124   | 6,52   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -116,043                       | -131,567                       | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         | Sous-sol             | G+Q+Ex      | -97,5  | 591,6  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 607,193                        | -801,356                       | 2,16   | PC    | 131,40 | 9,60  | 26,28                | 32,33    | (2x6T16)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|         |                      | G+Q+Ey      | -202   | 8,35   | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -191,484                       | -211,365                       | 0,00   | EC    | EC     |       | EC                   |          |   |
|         |                      | 0,8G+Ex     | -30,7  | 591,29 | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | 673,298                        | -734,513                       | 2,40   | PC    | 161,65 |       | 32,33                |          |   |
| 0,8G-Ex |                      | -233        | -588,9 | 5,02   | 0,2  | 1,004 | 2,108               | 2,510  | 468,493  | -933,533                       | 1,68                           | PC     | 78,59 | 15,72  |       |                      |          |   |
| 0,8G+Ey |                      | -137        | 7,47   | 5,02   | 0,2  | 1,004 | 2,108               | 2,510  | -127,890 | -145,676                       | 0,00                           | EC     | EC    | EC     |       |                      |          |   |
|         |                      | 0,8G-Ey     | -152   | -5,49  | 5,02 | 0,2   | 1,004               | 2,108  | 2,510    | -145,098                       | -158,169                       | 0,00   | EC    | EC     | EC    |                      |          |   |

**Tableau VI-12 : Ferrailage longitudinal : Voiles V.L.A.**

| Voile                | Etage                | Combinaison | N(t)    | M(T,m) | L(m)  | e(m)  | A (m <sup>2</sup> ) | l (m4) | V (m)   | $\sigma_t$ (T/m <sup>2</sup> ) | $\sigma_c$ (T/m <sup>2</sup> ) | LT (m) |       | N (T) | A min                                | A (cm <sup>2</sup> )                 | A/choisi                                  |   |
|----------------------|----------------------|-------------|---------|--------|-------|-------|---------------------|--------|---------|--------------------------------|--------------------------------|--------|-------|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| V.L.A<br>1.96 / 0.16 | 8 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | -3,15   | 3,08   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 20,021                         | -40,110                        | 0,65   | PC    | 1,05  | 4,02                                 | 0,21<br>0,53<br>0,25<br>0,27<br>0,65 | 0,65                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |                      | G+Q+Ey      | 1,81    | 2,09   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 26,173                         | -14,630                        | 1,26   | PC    | 2,63  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ex     | -3,21   | 3,43   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 23,246                         | -43,718                        | 0,68   | PC    | 1,27  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G-Ex     | -4,79   | -4,33  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 26,993                         | -57,542                        | 0,63   | PC    | 1,35  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ey     | 1,83    | 2,94   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 34,534                         | -22,864                        | 1,18   | PC    | 3,26  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      |             | 0,8G-Ey | -4,42  | -6,85 | 1,96  | 0,16                | 0,314  | 0,100   | 52,772                         | -80,961                        | 0,77   | PC    | 3,27  |                                      |                                      |   |   |
|                      | 7 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | 3,86    | 2,56   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 37,298                         | -12,681                        | 1,46   | PC    | 4,36  | 4,68                                 | 0,87<br>0,51<br>0,55<br>0,51<br>0,66 | 0,87                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |                      | G+Q+Ey      | 1,05    | 2,62   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 28,923                         | -22,227                        | 1,11   | PC    | 2,56  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ex     | -4,51   | 6,22   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 46,336                         | -75,098                        | 0,75   | PC    | 2,77  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G-Ex     | -4,82   | -6,1   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 44,176                         | -74,915                        | 0,73   | PC    | 2,57  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ey     | 1,25    | 3,43   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 37,468                         | -29,496                        | 1,10   | PC    | 3,29  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      |             | 0,8G-Ey | -2,01  | -6,17 | 1,96  | 0,16                | 0,314  | 0,100   | 53,819                         | -66,638                        | 0,88   | PC    | 3,77  |                                      |                                      |   |   |
|                      | 6 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | 3,63    | 2,83   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 39,200                         | -16,050                        | 1,39   | PC    | 4,36  | 4,45                                 | 0,87<br>0,60<br>0,99<br>0,54<br>0,73 | 0,99                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |                      | G+Q+Ey      | 1,09    | 3,19   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 34,615                         | -27,664                        | 1,09   | PC    | 3,02  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | G+Q-Ey      | 3,79    | 3,58   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 47,032                         | -22,861                        | 1,32   | PC    | 4,96  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G-Ex     | -4,57   | -6,15  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 45,461                         | -74,606                        | 0,74   | PC    | 2,70  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ey     | 1,25    | 3,94   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 42,447                         | -34,475                        | 1,08   | PC    | 3,67  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      |             | 0,8G-Ey | -2,03  | -6,51 | 1,96  | 0,16                | 0,314  | 0,100   | 57,075                         | -70,021                        | 0,88   | PC    | 4,02  |                                      |                                      |   |   |
|                      | 5 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | 3,04    | 3,29   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 41,809                         | -22,422                        | 1,28   | PC    | 4,27  | 4,08                                 | 0,85<br>0,63<br>0,98<br>0,60<br>0,76 | 0,98                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |                      | G+Q+Ey      | 0,92    | 3,47   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 36,806                         | -30,939                        | 1,06   | PC    | 3,14  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ex     | 3,23    | 4      | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 49,346                         | -28,746                        | 1,24   | PC    | 4,89  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G-Ex     | -4,22   | -6,39  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 48,920                         | -75,833                        | 0,77   | PC    | 3,01  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ey     | 1,12    | 4,18   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 44,375                         | -37,232                        | 1,07   | PC    | 3,78  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      |             | 0,8G-Ey | -2,11  | -6,57 | 1,96  | 0,16                | 0,314  | 0,100   | 57,405                         | -70,862                        | 0,88   | PC    | 4,03  |                                      |                                      |   |   |
|                      | 4 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | 2,6     | 4,59   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 53,096                         | -36,515                        | 1,16   | PC    | 4,93  | 3,76                                 | 0,99<br>0,68<br>1,03<br>0,57<br>0,80 | 1,03                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |                      | G+Q+Ey      | -0,65   | 4,86   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 45,368                         | -49,514                        | 0,94   | PC    | 3,40  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ex     | 2,85    | 4,66   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 54,577                         | -36,401                        | 1,18   | PC    | 5,13  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G-Ex     | -3,96   | -6,01  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 46,039                         | -71,295                        | 0,77   | PC    | 2,83  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ey     | -0,21   | 5,38   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 51,848                         | -53,187                        | 0,97   | PC    | 4,01  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      |             | 0,8G-Ey | -1,91  | -6,85 | 1,96  | 0,16                | 0,314  | 0,100   | 60,776                         | -72,957                        | 0,89   | PC    | 4,33  |                                      |                                      |   |   |
|                      | 3 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | 1,61    | 5,88   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 62,532                         | -52,264                        | 1,07   | PC    | 5,34  | 3,49                                 | 1,07<br>0,54<br>1,18<br>0,65<br>0,65 | 1,18                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |                      | G+Q+Ey      | -1,48   | 4,47   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 38,915                         | -48,354                        | 0,87   | PC    | 2,72  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ex     | 2,16    | 6,24   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 67,800                         | -54,024                        | 1,09   | PC    | 5,92  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G-Ex     | -5,14   | -7,18  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 53,698                         | -86,478                        | 0,75   | PC    | 3,23  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ey     | -0,92   | 4,84   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 44,312                         | -50,180                        | 0,92   | PC    | 3,26  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      |             | 0,8G-Ey | -2,08  | -6,27 | 1,96  | 0,16                | 0,314  | 0,100   | 54,572                         | -67,838                        | 0,87   | PC    | 3,81  |                                      |                                      |   |   |
|                      | 2 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | 3,26    | 5,39   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 63,010                         | -42,219                        | 1,17   | PC    | 5,92  | 3,84                                 | 1,18<br>0,42<br>1,33<br>0,42<br>0,55 | 1,33                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |                      | G+Q+Ey      | -1,74   | 3,81   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 31,643                         | -42,740                        | 0,83   | PC    | 2,11  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ex     | 3,97    | 5,79   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 69,179                         | -43,860                        | 1,20   | PC    | 6,64  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G-Ex     | -7,42   | -6,69  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 41,644                         | -88,966                        | 0,62   | PC    | 2,08  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ey     | -1,03   | 4,21   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 37,812                         | -44,381                        | 0,90   | PC    | 2,73  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      |             | 0,8G-Ey | -2,49  | -5,67 | 1,96  | 0,16                | 0,314  | 0,100   | 47,408                         | -63,288                        | 0,84   | PC    | 3,18  |                                      |                                      |   |   |
|                      | 1 <sup>e</sup> étage | G+Q+Ex      | 5,38    | 4,24   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 58,545                         | -24,233                        | 1,39   | PC    | 6,49  | 4,44                                 | 1,30<br>0,29<br>0,64<br>0,14<br>0,42 | 1,30                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |                      | G+Q+Ey      | -1,81   | 2,95   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 23,025                         | -34,568                        | 0,78   | PC    | 1,44  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ex     | -26,4   | 17,04  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 82,153                         | -250,521                       | 0,48   | PC    | 3,18  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G-Ex     | -10,1   | -5,52  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 21,582                         | -86,186                        | 0,39   | PC    | 0,68  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G+Ey     | -0,97   | 3,34   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 29,510                         | -35,697                        | 0,89   | PC    | 2,09  |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      |             | 0,8G-Ey | -3     | -4,81 | 1,96  | 0,16                | 0,314  | 0,100   | 37,387                         | -56,519                        | 0,78   | PC    | 2,33  |                                      |                                      |   |   |
|                      | RDC                  | G+Q+Ex      | -49,3   | 32,96  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 164,630                        | -478,852                       | 0,50   | PC    | 6,60  | 2,65                                 | 1,32<br>0,09<br>2,47<br>1,06<br>0,22 | 2,47                                      | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |
|                      |                      | G+Q+Ey      | -1,92   | 1,61   | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 0,980   | 9,594                          | -21,839                        | 0,60   | PC    | 0,46  |                                      |                                      |   |   |
| 0,8G+Ex              |                      | -30,3       | 33      | 1,96   | 0,16  | 0,314 | 0,100               | 0,980  | 225,384 | -418,879                       | 0,69                           | PC     | 12,36 |       |                                      |                                      |   |   |
| 0,8G-Ex              |                      | -55         | -33,09  | 1,96   | 0,16  | 0,314 | 0,100               | 0,980  | 147,659 | -498,361                       | 0,45                           | PC     | 5,29  |       |                                      |                                      |   |   |
| 0,8G+Ey              |                      | -0,95       | 1,99    | 1,96   | 0,16  | 0,314 | 0,100               | 0,980  | 16,396  | -22,455                        | 0,83                           | PC     | 1,08  |       |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G-Ey     | -3,04   | -3,17  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | 21,250  | -40,638                        | 0,67                           | PC     | 1,14  |       |                                      |                                      |   |   |
| Sous-sol             | G+Q+Ex               | -53,5       | 32,44   | 1,96   | 0,16  | 0,314 | 0,100               | 0,980  | 146,034 | -487,296                       | 0,45                           | PC     | 5,28  | 2,68  | 1,06<br>0,33<br>2,22<br>0,85<br>0,40 | 2,22                                 | (2x2T10)<br>e=15<br>+<br>(2xTSØ6)<br>e=15 |   |
|                      | G+Q+Ey               | -3,39       | 4,06    | 1,96   | 0,16  | 0,314 | 0,100               | 0,980  | 28,822  | -50,442                        | 0,71                           | PC     | 1,64  |       |                                      |                                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ex              | -32,9       | 32,39   | 1,96   | 0,16  | 0,314 | 0,100               | 0,980  | 211,362 | -420,992                       | 0,66                           | PC     | 11,08 |       |                                      |                                      |   |   |
|                      | 0,8G-Ex              | -57,9       | -32,26  | 1,96   | 0,16  | 0,314 | 0,100               | 0,980  | 130,342 | -499,474                       | 0,41                           | PC     | 4,23  |       |                                      |                                      |   |   |
|                      | 0,8G+Ey              | -1,59       | 3,56    | 1,96   | 0,16  | 0,314 | 0,100               | 0,980  | 29,681  | -39,821                        | 0,84                           | PC     | 1,99  |       |                                      |                                      |   |   |
|                      |                      | 0,8G-Ey     | -6,15   | -1,31  | 1,96  | 0,16  | 0,314               | 0,100  | -6,823  | -32,399                        | 0,00                           | EC     | EC    |       |                                      |                                      |   |   |

## CHAPITRE VII : Etude de fondation

### *VII-1 Introduction*

Les fondations représentent un élément important dans la construction parasismique ; c'est le lien entre le sol et la structure.

L'expérience montre, en effet, que les bâtiments avec des fondations sommairement étudiées ont un comportement beaucoup plus défavorable que ceux correctement étudiées et solidement fondées.

### *VII-2 Fonctions assurées par les fondations*

La fondation est un élément de structure qui a pour objet de transmettre au sol les efforts apportés par la structure.

Dans le cas le plus général, un élément déterminé de la structure peut transmettre à sa fondation

- Un effort normal charge verticale centrée dont il convient de connaître les valeurs extrêmes.
- Une force horizontale résultant, par exemple, de l'action du vent ou du séisme, qui peut être variable en grandeur et en direction.
- Un moment qui peut être de grandeur variable et s'exercer dans des plans différents.

Compte tenu de ces sollicitations, la conception générale des fondations doit assurer la cohérence du projet vis-à-vis du site, du sol, de l'ouvrage et interaction sol structure.

### *VII-3 Classification des fondations*

Fondé un ouvrage consiste essentiellement à répartir les charges qu'ils supportent sur le sol ou dans le sol suivant l'importance des charges et la résistance du terrain.

- a. Lorsque les couches de terrain capable de supporter l'ouvrage sont à une faible profondeur on réalise les fondations superficielles (semelles isolées, filantes et radier général).
- b. Lorsque les couches de terrain capable de supportée l'ouvrage sont à une grande profondeur on réalise les fondations profondes et semi profondes (puits et pieux).

### ***VII-4 Critères du choix du système de fondation***

Le choix du type de fondation doit faire l'objet de soins attentifs, et être compatible avec le type de structure, d'où :

- Il convient d'éviter d'asseoir la construction sur deux formations géologiques de propriétés mécaniques très différentes.
- Il est souhaitable d'éviter d'associer sous un même bloc des systèmes de fondations très différentes.
- Il convient que la cote à laquelle sont descendues les fondations soit aussi uniforme que possible et d'éviter les décrochement brutaux.
- Il est nécessaire de disposer au niveau des points d'appui (semelles) un réseau bidirectionnel de longrines tendant à s'opposer à leur déplacement relatif horizontal tant en compression qu'en extension, De même, dans certains cas, un dallage lié à la structure peut être suffisant.

### ***VII-5 Semelles filantes***

L'effort normal supporté par la semelle filante est la somme des efforts normaux de tous les poteaux qui se trouve dans la même ligne.

On doit vérifier que:  $\sigma_{sol} \geq \frac{N}{S}$

Tel que:

$N = \sum N_i$  de chaque file de poteaux.

$S = B \times L$

$B$ : Largeur de la semelle.

$L$ : Longueur de la file considérée.

$$\Rightarrow B \geq \frac{N}{L\sigma_{sol}}$$

Les résultats sont résumés dans le tableau qui suit

**Tableau VII.1: Sections des semelles filantes**

| <i>Files</i> | <i>N(kN)</i> | <i>S(m<sup>2</sup>)</i> | <i>L(m)</i> | <i>B(m)</i> | <i>B<sup>choisie</sup> (m)</i> |
|--------------|--------------|-------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|
| 1            | 4351,64      | 28,94                   | 14,4        | 2,01        | 2,10                           |
| 2            | 16745,72     | 111,19                  | 45,2        | 2,46        | 2,50                           |
| 3            | 18927,44     | 125,74                  | 56,9        | 2,21        | 2,30                           |
| 4            | 20206,85     | 134,28                  | 56,9        | 2,36        | 2,40                           |
| 5            | 17465,72     | 116,07                  | 56,9        | 2,04        | 2,10                           |
| 6            | 7264,30      | 48,32                   | 26,55       | 1,82        | 2,00                           |
| 6'           | 4967,35      | 33,08                   | 12,3        | 2,69        | 2,70                           |
| 7            | 4396,70      | 28,91                   | 12,15       | 2,38        | 2,40                           |
| 7'           | 2680,69      | 17,82                   | 8,45        | 2,11        | 2,20                           |
| 8            | 4920,08      | 32,68                   | 12,15       | 2,69        | 2,70                           |
| 9            | 6250,71      | 41,55                   | 12,15       | 3,42        | 3,50                           |
| 10           | 4912,45      | 32,68                   | 12,15       | 2,69        | 2,70                           |

### **Conclusion**

Les semelles filantes sont encombrées, c.-à-d la somme des surfaces des semelles est supérieure à 50% de la surface de l'ouvrage.

Donc il est recommandé d'opter pour un radier général.

## **VII-6 Radier général**

### **VII-6-1 Introduction**

Un radier est une dalle pleine réalisée sous toute la surface de la construction.

Cette dalle peut être massive (de forte épaisseur) ou nervurée; dans ce cas la dalle est mince mais elle est raidie par des nervures croisées de grande hauteur.

Dans notre cas, on optera pour un radier nervuré (plus économique que pratique).

L'effort normal supporté par le radier est la somme des efforts normaux de tous les voiles.

### **Surface nécessaire**

La surface nécessaire du radier peut être déterminée par la formule suivante:  $\sigma_{\max} \leq \sigma_{sol}$

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{S_{nec}} \leq \sigma_{sol} \Rightarrow S_{nec} \geq \frac{N}{\sigma_{sol}}$$

Pour:  $\begin{cases} N = 70921,35kN \\ \sigma_{sol} = 2;00bars \end{cases}$

#### **A) Pré-dimensionnement du radier**

##### ➤ **Dalle**

L'épaisseur de la dalle du radier doit satisfaire aux conditions suivantes:

- **Selon la condition d'épaisseur minimale**

La hauteur du radier doit avoir au minimum 25 cm ( $h_{\min} \geq 25$  cm)

- **Selon la condition forfaitaire**

$$\frac{L_{\max}}{8} \leq h \leq \frac{L_{\max}}{5}$$

h : épaisseur du radier

Lmax : distance entre deux voiles successifs

$$L_{\max} = 3,56 \text{ m} \Rightarrow 44,50 \text{ cm} \leq h \leq 71,50 \text{ cm}$$

On choisit h=55cm

- **Condition de longueur d'élasticité**

Pour étudier la raideur de la dalle du radier, on utilise la notion de la longueur élastique définie par

l'expression suivante:  $L_{\max} \leq \frac{\pi}{2} L_e$

$$L_e = \sqrt{\frac{4 \cdot EI}{K \cdot b}} > \frac{2}{\pi} \cdot L_{\max}$$

Avec :

Le : Longueur élastique

b=1: Largeur de la semelle par bande d'un mètre (b=1m)..

Lmax : La distance maximale entre deux voiles successifs

I : Inertie de la section du radier

E : Le module d'élasticité de béton.

K : Module de raideur du sol, rapporté à l'unité de surface. K = 40 MPa

On pourra par exemple adopter pour  $K$  les valeurs suivantes :

- $K=0,5[\text{kg}/\text{cm}^3]$  → pour un très mauvais sol.
- $K=4 [\text{kg}/\text{cm}^3]$  → pour un sol de densité moyenne.
- $K=12[\text{kg}/\text{cm}^3]$  → pour un très bon sol.

De la condition précédente, nous tirons  $h$  :

$$h \geq \sqrt[3]{\left(\frac{2}{\pi} \cdot L_{MAX}\right)^4 \cdot \frac{K}{E}}$$

Pour un chargement de long durée ;  $E = 20000 \text{ MPa}$ , donc :

$$h \geq \sqrt[3]{\left(\frac{2 \times 3.56}{3.14}\right)^4 \times \frac{40}{20000}} = 37,50 \text{ cm}$$

### **Conclusion**

On adoptera une épaisseur du radier :  $h = 55 \text{ cm}$

Donc on ajoute au radier un débord minimal de largeur  $L_d$ , avec  $L_d \geq (h/2 ; 30 \text{ cm})$

Nous prenons :  $L_d = 30 \text{ cm}$

$$S_{\text{radier}} = S_{\text{bâtiment}} + S_{\text{débord}} = 406,78 \text{ m}^2$$

### **B) Vérification des contraintes**

$$\sigma_{\text{adm}} = 2,50 \text{ bars}$$

$$\text{Poids du radier} : S_{\text{rad}} \cdot e_{\text{table}} \cdot 25 = 406,78 \times 0,55 \times 25 = 5593,22 \text{ KN}$$

$$N_u = 63370,50 + 1,35 \times 5593,22 = 70921,35 \text{ KN}$$

$$N_s = 46194,90 + 5593,22 = 51788,12 \text{ KN}$$

$$N_E = 76861,10 + 5593,22 = 82454,32 \text{ KN}$$

$$\text{E L U: } S_{\text{radier}} \geq \frac{N_u}{1,33 \bar{\sigma}_{\text{sol}}} = \frac{70921,35}{1,33 \times 200} = 266,62 \text{ m}^2$$

$$\text{E L S: } S_{\text{radier}} \geq \frac{N_s}{\bar{\sigma}_{\text{sol}}} = \frac{51788,12}{200} = 258,94 \text{ m}^2$$

$$E I S : S_{radier} \geq \frac{N_E}{1,5 \bar{\sigma}_{sol}} = \frac{82454,32}{1,5 \times 200} = 274,85 \text{ m}^2$$

$$S_{radier} = 406,78 \text{ m}^2 > \text{Max} (S1; S2; S3) = 274,85 \text{ m}^2 \Rightarrow \text{condition vérifié}$$

**C) vérification de la contrainte de cisaillement**

$$\tau_u = \frac{T_u}{b \cdot d} \leq 0,05 f_{c28} = 1,25 \text{ MPa}$$

Avec :  $b = 55 \text{ cm}$  ;  $d = 0,9 h = 49,5 \text{ cm}$

$$T_u^{\max} = q_u \frac{L_{\max}}{2}$$

$$T_u^{\max} = \frac{N_u \cdot b}{S_{rad}} \frac{L_{\max}}{2} = \frac{70921,35 \times 0,55}{406,78} \cdot \frac{3,56}{2} = 170,69 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{170,69}{0,55 \times 0,495} = 0,63 \text{ MPa} \leq \tau_u = 1,25 \text{ MPa} \Rightarrow \text{condition vérifié}$$

**D) Vérification de l'effort de sous pression**

Cette vérification justifiée le non soulèvement de la structure sous l'effet de la pression hydrostatique.

$$G \geq \alpha S_{rad} \cdot \gamma_w \cdot Z = 1,5 \times 10 \times 0,55 \times 406,78 = 3355,93 \text{ KN}$$

G : Poids total du bâtiment à la base du radier

$\alpha$  : Coefficient de sécurité vis à vis du soulèvement  $\alpha = 1.5$

$\gamma_w$  : Poids volumique de l'eau ( $\gamma_w = 10 \text{ KN/m}^3$ )

Z : Profondeur de l'infrastructure ( $h = 1.00 \text{ m}$ )

$$GT = 51279,65 \text{ KN} > 3355,93 \text{ KN}$$

$\Rightarrow$  Pas de risque de soulèvement de la structure.

**E) Vérification de la stabilité du radier**

Elle consiste, à vérifier les contraintes du sol sous le radier ; sollicité par les efforts suivants :

- ✓ Efforts normaux dus aux charges verticales.
- ✓ Effort de renversement du au séisme.

$$M = M_0 + T_0 h$$

## CHAPITRE VII : Etude de fondation

$M_0$  : moment sismique à la base de la structure

$T_0$  : Effort tranchant à la base de la structure

$h$  : profondeur de l'infrastructure

Le diagramme trapézoïdal des contraintes donne :

$$\sigma_m = \frac{3\sigma_1 + \sigma_2}{4}$$

On doit vérifier que :

ELU :  $\sigma_m \leq 1,33 \sigma_{sol}$

ELS :  $\sigma_m \leq \sigma_{sol}$

$\sigma_{sol} = 200 \text{ KN} / \text{m}^2$        $1,33 \sigma_{sol} = 266 \text{ KN} / \text{m}^2$

Avec :

$$\sigma_{1,2} = \frac{N}{S_{rad}} \pm \frac{M V}{I}$$

**Tableau VII-2 : Vérification de la stabilité du radier**

|            | ELU        |            |            | ELS        |            |            | Obser |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------|
|            | $\sigma_1$ | $\sigma_2$ | $\sigma_m$ | $\sigma_1$ | $\sigma_2$ | $\sigma_m$ |       |
| <b>X-X</b> | 133.70     | 133.69     | 133.70     | 97.63      | 97.63      | 97.63      | OK    |
| <b>Y-Y</b> | 133.70     | 133.69     | 133.70     | 97.63      | 97.63      | 97.63      | OK    |

### F) Vérification au poinçonnement

On doit vérifier que:

$$N_u \leq \frac{0,07 \mu_c h f_{c28}}{\gamma_b}$$

Avec :

$\mu_c$  : Périmètre du contour projeté sur le plan moyen du radier

$N_u$  : Charge de calcul à l'E.L.U

$h$ : Épaisseur total du radier

*Tableau VI-3 : Vérification de poinçonnement*

| Voiles | Q <sub>u</sub> (kN) | Hr (m) | L (m) | e (m) | μ <sub>c</sub> (m) | T <sub>adm</sub> (kN) | Verification |
|--------|---------------------|--------|-------|-------|--------------------|-----------------------|--------------|
| V.T.1  | -1407.18            | 0.55   | 6.18  | 0.16  | 11.20              | 8820.00               | <b>OK</b>    |
| V.T.2  | -1457.08            | 0.55   | 6.54  | 0.16  | 12.30              | 9686.25               | <b>OK</b>    |
| V.T.3  | -2036.41            | 0.55   | 2.36  | 0.16  | 14.20              | 11182.50              | <b>OK</b>    |
| V.T.4  | -788.22             | 0.55   | 2.46  | 0.16  | 7.00               | 5512.50               | <b>OK</b>    |
| V.T.5  | -667.58             | 0.55   | 6.07  | 0.16  | 7.00               | 5512.50               | <b>OK</b>    |
| V.T.6  | -2177.73            | 0.55   | 4.85  | 0.16  | 14.50              | 11418.75              | <b>OK</b>    |
| V.T.7  | -612.95             | 0.55   | 3.35  | 0.16  | 5.80               | 4567.50               | <b>OK</b>    |
| V.T.8  | -2518.08            | 0.55   | 5.53  | 0.16  | 10.80              | 8505.00               | <b>OK</b>    |
| V.T.A  | -881.55             | 0.55   | 2.13  | 0.16  | 7.40               | 5827.50               | <b>OK</b>    |
| V.L.1  | -2479.79            | 0.55   | 4.22  | 0.2   | 12.00              | 9450.00               | <b>OK</b>    |
| V.L.2  | -2302.39            | 0.55   | 5.02  | 0.2   | 13.90              | 10946.25              | <b>OK</b>    |
| V.L.A  | -812.92             | 0.55   | 1.9   | 0.16  | 11.20              | 8820.00               | <b>OK</b>    |

**G) Calcul du ferrailage du radier**

Le radier est considéré comme un plancher dalle renversé, la dalle ayant une épaisseur de 55<sup>cm</sup>.

- *Le panneau le plus sollicité*

$$L_x = 3,56^m$$

$$L_y = 7,27^m \Rightarrow \alpha = 0,49$$

$$\mu_b = \frac{M_{ut}}{b d^2 f_{bc}} \quad \mu_b = \frac{M_{ua}}{b d^2 f_{bc}},$$

$$A_t = \frac{M_{ut}}{(\beta d f_e / \gamma_s)} \quad , \quad A_a = \frac{M_{ua}}{(\beta d f_e / \gamma_s)}$$

- ✓ ELU : μ<sub>x</sub> = 0,0820 & μ<sub>y</sub> = 0,2951
- ✓ ELS : μ<sub>x</sub> = 0,0869 & μ<sub>y</sub> = 0,4675

**Tableau VI-4 : Le panneau le plus sollicité**

| Panneau | L <sub>x</sub> | L <sub>y</sub> | $\alpha = \frac{L_x}{L_y}$ | ELU     |         | ELS     |         |
|---------|----------------|----------------|----------------------------|---------|---------|---------|---------|
|         |                |                |                            | $\mu_x$ | $\mu_y$ | $\mu_x$ | $\mu_y$ |
| Pl      | 3.56           | 7.27           | 0.49                       | 0.0820  | 0.2951  | 0.0869  | 0.4675  |

$0 \leq \alpha \leq 1 \Rightarrow$  La dalle travail dans les deux sens

Sens de la petite portée :  $M_x = \mu_x \cdot P \cdot l_x^2$

Sens la deuxième portée :  $M_y = \mu_y \cdot M_x$

Aération des moments (méthode forfaitaire)

- **Panneau de rive**

a) Moment en travée = 0,85 M

b) Moment sur appuis = 0,5 M

- **Panneau intermédiaire**

a) Moment en travée = 0,75 M

b) Moment sur appuis = 0,5 M

$b_0 = 100\text{cm}$ ;  $h = 50\text{cm}$ ;  $c = 5\text{cm}$  (Enrobage);  $f_{c28} = 25\text{ Mpa}$  ;  $f_e = 400\text{ Mpa}$

$\gamma_b = 1,5$  ;  $\gamma_s = 1,15$  en SDT

Le panneau de rive étant le plus sollicité, le calcul se fera sur cette partie et généralisé pour le reste du radier.

**Tableau VI-5 : les moments**

|                   | ELU            |                | ELS            |                |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|                   | M <sub>x</sub> | M <sub>y</sub> | M <sub>x</sub> | M <sub>y</sub> |
| <b>En travée</b>  | <b>182.90</b>  | <b>210.40</b>  | <b>135.10</b>  | <b>154.00</b>  |
| <b>A l'appuis</b> | <b>-171.20</b> | <b>-177.90</b> | <b>-124.90</b> | <b>-129.70</b> |

On prends

Partie sup. :  $A_{sup} = 12.40\text{ cm}^2/\text{ml}$

Partie inf. :  $A_{inf} = 10.50\text{ cm}^2/\text{ml}$

Soit un ferrailage composé de 7T16/ml (14,07cm<sup>2</sup>) en nappe inférieure et 7T14/ml (10,78cm<sup>2</sup>) en nappe supérieure.

### *VII-7 Etude de voile périphérique*

#### *VII-7-1 Introduction*

Notre structure comporte un voile périphérique qui s'élève du niveau de fondation jusqu'au niveau du plancher de RDC.

Il forme par sa grande rigidité qu'il crée à la base un caisson rigide et indéformable avec les planchers du RDC, le sous sol et les fondations.

#### *VII-7-2 Pré-dimensionnement*

Pour le pré dimensionnement du voile périphérique, on se réfère aux prescriptions du **RPA99 modifié en 2003**, qui stipule d'après l'article 10.1.2.

- Les ossatures au dessous du niveau de base comportent un voile périphérique continu entre le niveau de fondation et le niveau de base
- Ce voile doit avoir les caractéristiques minimales ci-dessous :
  - ✓ Epaisseur  $e \geq 15$  cm
  - ✓ Les armatures sont constituées de deux nappes.
  - ✓ Le pourcentage minimum des armatures est de  $0,1\%B$  dans les deux sens (horizontal et vertical).
  - ✓ Les ouvertures dans ce voile ne doivent pas réduire sa rigidité d'une manière importante.
  - ✓ La longueur de recouvrement est de  $50\varnothing$  avec disposition d'équerres de renforcement dans les angles.

Avec

B : Section du voile.

#### *VII-7-3 Évaluation des charges*

On considère le voile comme une dalle pleine reposant sur 4 appuis et qui supporte les charges horizontales dues aux poussées des terres. On considère le tronçon le plus défavorable.

$$L_x = 3,56 - 0,16 = 3,40 \text{ m} ; L_y = 7,27 \text{ m.}$$

## CHAPITRE VII : Etude de fondation

Les charges et surcharges prise uniformément répartie sur une bande de 1m se situe à la base du voile (cas le plus défavorable).

**BAEL91 modifié 99**, la charge de poussées des terres est données par

$$Q = A \cdot \gamma \cdot H$$

Avec

Q = Contrainte à la base sur une bande de 1m.

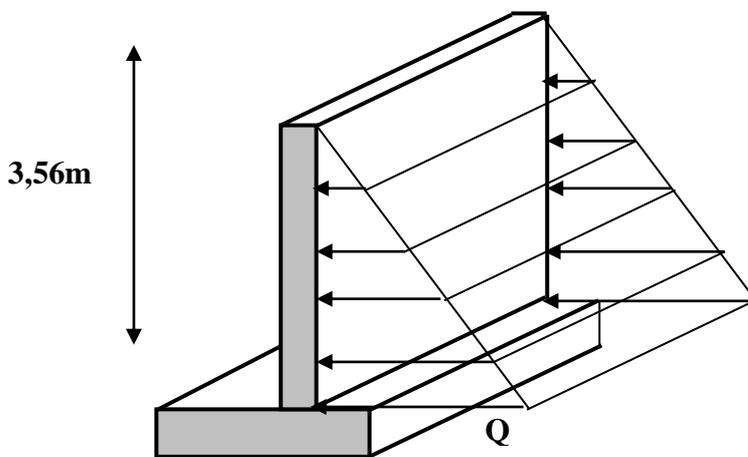
A = Coefficient numérique en fonction de l'angle de frottement interne.

$\gamma$  = Poids spécifique des terres ( $\gamma_h = 21,90 \text{ kN/m}^3$ ).

H = Hauteur du voile (H=3,68m).

$$\varphi = 40^\circ,6 \Rightarrow A = f(\varphi) = \text{tg}^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) = 0,2116$$

$$\text{Donc } Q = A \cdot \gamma \cdot H = 17,53 \text{ kN/ml} \Rightarrow Q_u = 1,35Q = 23,02 \text{ kN/ml}$$



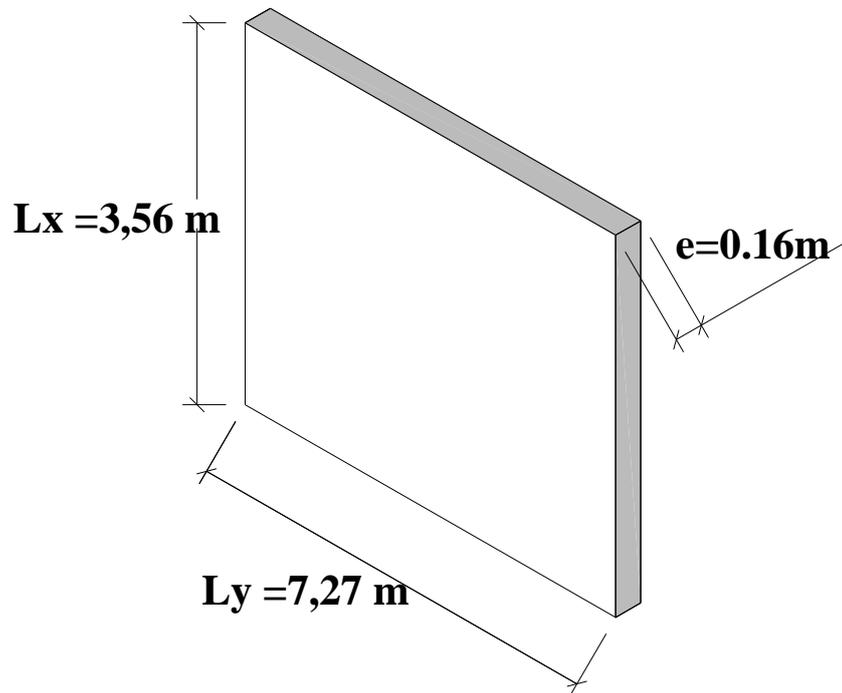


Figure VII-1 : Vue illustrant les dimensions du panneau le plus sollicité.

#### VII-7-4 Effort dans la dalle

$$\frac{L_x}{L_y} = \frac{3,56}{7,27} = 0,49 > 0,4 \Rightarrow \text{La dalle travaille dans les deux sens.}$$

X-X

$$\begin{cases} \mu_x = 0,048 \\ \mu_y = 0,735 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_x = \mu_x Q_u L_x^2 = 14,96 \text{ kNm} \\ M_y = \mu_y M_x = 10,99 \text{ kNm} \end{cases}$$

- **Moment en travée :**  $\begin{cases} M_{tx} = 0,85 M_x = 12,71 \text{ kNm} \\ M_{ty} = 0,85 M_y = 9,34 \text{ kNm} \end{cases}$
- **Moment sur appuis :**  $M_{ax} = M_{ay} = 0,5 M_x = 7,48 \text{ kNm}$

**VII-7-5 Calcul du ferrailage**

$b = 100 \text{ cm} ; h = 18 \text{ cm} ; d = 16,20 \text{ cm} ; \sigma_{bc} = 14,17 \text{ MPa} ;$

**Tableau VII-6 : Ferrailage du voile périphérique.**

|               | Sens | $M_u$<br>(kNm) | $A_s'$<br>(cm <sup>2</sup> ) | $A_s^{cal}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Choix | $A_s^{adp}$<br>(cm <sup>2</sup> ) | Esp<br>(cm) |
|---------------|------|----------------|------------------------------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-------------|
| <b>Travée</b> | x-x  | 12,71          | 0                            | 2,18                              | 4T10  | 3,14                              | 20          |
|               | y-y  | 9,34           | 0                            | 1,60                              | 4T10  | 3,14                              | 20          |
| <b>Appuis</b> | x-x  | 7,48           | 0                            | 1,28                              | 4T10  | 3,14                              | 20          |
|               | y-y  |                |                              |                                   |       |                                   |             |

**VII-7-6 Condition de non fragilité**

Pour les dalles travaillent dans les deux sens et dont l'épaisseur est compté entre 12 et 30 cm  
( $12 \leq e \leq 30$ ) (cm).

$$\begin{cases} A_x \geq A_x^{\min} ; & A_x^{\min} = \rho_0 \left[ 3 - \frac{L_x}{L_y} \right] \frac{bh}{2} \\ A_y \geq A_y^{\min} ; & A_y^{\min} = \rho_0 bh \end{cases}$$

$\rho_0 = 0,0008$  pour les barres de FeE400

$$\begin{cases} A_x^{\min} = 0,0008 \left( 3 - \frac{3,68}{4,20} \right) \frac{100 \cdot 18}{2} = 1,52 \text{ cm}^2 \\ A_y^{\min} = 0,0008 \times 100 \times 18 = 1,44 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

En travée  $\begin{cases} A_x = 3,14 \text{ cm}^2 > A_x^{\min} = 1,52 \text{ cm}^2 \\ A_y = 3,14 \text{ cm}^2 > A_y^{\min} = 1,44 \text{ cm}^2 \end{cases}$

Sur appuis  $\begin{cases} A_x = 3,14 \text{ cm}^2 > A_x^{\min} = 1,98 \text{ cm}^2 \\ A_y = 3,14 \text{ cm}^2 > A_y^{\min} = 1,44 \text{ cm}^2 \end{cases}$

**VII-7-7 Vérification de l'effort tranchant**

On doit vérifier que  $\tau_u = \frac{T_u^{\max}}{bd} \leq \bar{\tau}_u = 0,05 f_{c28} = 1,25 \text{MPa}$

$$T_x = \frac{q_u L_x L_y}{2L_x + L_y} = 30,77 \text{kN} \quad \text{et} \quad T_y = \frac{q_u L_x}{3} = 28,23 \text{kN} \Rightarrow T_u^{\max} = \text{Max}(T_x; T_y) = 30,77 \text{kN}$$

$$\tau_u = \frac{30,77 \cdot 10^3}{1000 \cdot 162} = 0,189 \text{MPa} < 1,25 \text{MPa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée}$$

**VII-7-8 Vérification à l'ELS**

**a. Evaluation des sollicitations à l'ELS**

$$\frac{L_x}{L_y} = 0,49 > 0,4 \Rightarrow \begin{cases} \mu_x = 0,048 \\ \mu_y = 0,433 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} M_x = \mu_x Q_{ser} L_x^2 = 11,39 \text{kNm} \\ M_y = \mu_y M_x = 4,93 \text{kNm} \end{cases}$$

$$Q_{ser} = 17,53 \text{kN/ml}$$

- **Moment en travée :**  $\begin{cases} M_{tx} = 0,85 M_x = 9,68 \text{kNm} \\ M_{ty} = 0,85 M_y = 4,19 \text{kNm} \end{cases}$
- **Moment sur appuis :**  $M_{ax} = M_{ay} = 0,5 M_x = 5,69 \text{kNm}$

**b. Vérification des contraintes**

Il faut vérifier que  $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 \text{MPa}$

**Tableau VII-7 : Vérification des contraintes à l'ELS**

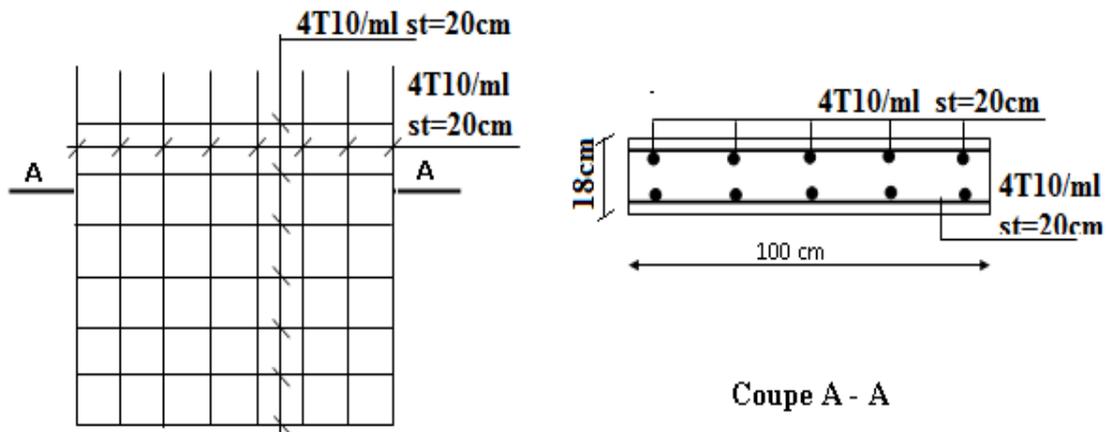
|               | Sens | M <sub>ser</sub><br>(kNm) | A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> ) | Y(cm) | σ <sub>bc</sub><br>(MPa) | σ̄ <sub>bc</sub><br>(MPa) | σ <sub>s</sub><br>(MPa) | σ̄ <sub>s</sub><br>(MPa) | Vérification |
|---------------|------|---------------------------|-----------------------------------|-------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| <b>Travée</b> | x-x  | 9,68                      | 3,14                              | 3,30  | 3,1                      | 15                        | 32,2                    | 240                      | OK           |
|               | y-y  | 4,19                      | 3,14                              | 3,30  | 1,3                      | 15                        | 13,9                    | 240                      | OK           |
| <b>Appuis</b> | x-x  | 5,69                      | 3,14                              | 3,30  | 1,8                      | 15                        | 18,9                    | 240                      | OK           |
|               | y-y  |                           |                                   |       |                          |                           |                         |                          |              |

**c. Vérification de la flèche**

Il n'est pas nécessaire de faire la vérification de la flèche, si les trois conditions citées ci-dessous sont vérifiées simultanément [3]

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{h}{L_x} \geq \frac{M_t}{20M_x} \\ \frac{h}{L_x} \geq \frac{1}{27} \text{ à } \frac{1}{35} \\ \frac{A_s}{bd} \leq \frac{2}{f_e} \end{array} \right. \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 0,0489 > 0,0216 \dots\dots\dots \text{Vérifiée} \\ 0,0489 > 0,028 \text{ à } 0,037 \dots\dots\dots \text{Vérifiée} \\ 1,9 \cdot 10^{-3} < 5 \cdot 10^{-3} \dots\dots\dots \text{Vérifiée} \end{array} \right.$$

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



**Figure VII-2** : Schéma de ferrailage de voile périphérique.

## CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

Le projet de fin d'étude est une phase importante dans le cycle de formation d'un ingénieur, vu que c'est la meilleure occasion pour l'étudiant de démontrer, de mettre en évidence et surtout d'améliorer les connaissances acquises durant le cursus universitaire. Nous avons eu l'occasion durant notre stage effectué sur le site de mettre en pratique nos connaissances théoriques et de les approfondir mais le chemin est encore long pour prétendre être un « ingénieur ». Il nous reste beaucoup de chose à apprendre car le domaine du génie civil ne nous a pas encore livré tous ces secrets.

Le thème de notre projet a traité l'étude d'une structure en béton armé a voile porteur, réalisé selon la technique « coffrage tunnel », nous avons pu grâce à cette étude, découvrir, apprécier et déceler les avantages et les inconvénients de ce type de structure.

Les conclusions que nous pouvons tirer sont résumées dans les points suivants :

- Les structures à voiles porteurs ne sont pas complètement faibles face aux séismes.
- Cette vulnérabilité se présente sous la forme d'une flexibilité à la torsion lors d'un Séisme, comme l'a pu démontrer l'étude sismique.
- Il présente des facilités pour le calcul et la modélisation car il ne contient pas un système portique (poutres/poteaux).
- <sup>TM</sup> Enfin, nous espérons que ce modeste travail sera un point de départ pour d'autres projets dans notre vie professionnelle.



## *REFERENCES BIBLIOGRAPHIE*



- [1]* Règles parasismique algériennes 1999.version2003.
- [2]* Règles béton armé aux états limites 1991 BAEL 91.modifier99.
- [3]* Règles de conception et de calcul des ouvrages en BA(CBA93).
- [4]* Formulaire du béton armé 1.....Victor davidovici.
- [5]* Calcul des ouvrages en béton armé .....y. Chérait.
- [6]* Etude de la structure en béton .....jean-marie Husson.
- [7]* Charges permanentes et charges d'exploitation .....D.T.R B.C 22.
- [8]* Introduction au calcul des fondations, par Ali Bouafia, O.P.U 2003

