



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE AMAR TELIDJI- LAGHOUCAT

FACULTE DE GENIE CIVIL ET D'ARCHITECTURE

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : GHOZLANE ROUMAISSA

Domaine Sciences et Technologies

Filière Génie Civil

Option : Structures

THEME

***OPTIMISATION STRUCTURELLE ET THERMIQUE D'UN
BATIMENT A BASSE CONSOMMATION ENERGETIQUE***

Jury de soutenance

Nom et Prénom	Grade	Qualité
Mr. ZAIDI Ali	Professeur	Président
Mr. FERHAT Ahmida	Maître Assistant A	Examineur
Mr. SOUALHI Hamza	Maîtres de Conférences A	Rapporteur
Mr. BELAIDI Akram Salah Eddine	Professeur	Co-Rapporteur

Promotion : Septembre –2024

المخلص

يهدف هذا المشروع إلى إجراء دراسة لتحسين الحراري ودراسة للتحسين الهيكلي لبناية سكنية (R+5+S.sol) تقع في بلدية هراوة (رويبة، الجزائر العاصمة)، وتصنف على أنها منطقة ذات زلازل عالية وفقاً لـ RPA99 التنظيم الزلزالي الجزائري (ver2003).

لتحقيق التحسين الحراري، سنستخدم برنامج ارشيمست، الذي يعتمد على اللوائح الحرارية لعام 2012 (RT2012).

يتم التحسين الهيكلي وفقاً للقواعد الزلزالية الجزائرية ونظم التصميم الخرسانة المسلحة BAEL91 و CBA93

الكلمات المفتاحية: التحسين الحراري؛ التنظيم الحراري لعام 2012؛ بناء الطاقة المنخفضة؛ التحسين الهيكلي.

Résumé

Ce projet vise à établir une étude d'optimisation thermique et une étude d'optimisation structurelle d'une résidence (R+5+S.sol) située dans la commune de H'raoua (Rouïba, Alger) qui est classée dans une région à sismicité élevée selon la réglementation parasismique algérienne RPA99 (ver2003).

Pour réaliser l'optimisation thermique, on utilisera le logiciel d'Archimist, qui s'appuie sur les réglementations thermiques 2012(RT2012).

L'optimisation structurelle est effectuée selon les règles parasismiques algériennes et les règles du béton armé BAEL91 et CBA93.

Les mots-clés : Optimisation thermique ; Réglementation thermique 2012 ; Bâtiment à basse consommation énergétique ; Optimisation structurelle.

Abstract

This project aims to establish a thermal optimization study and a structural optimization study of a residence (R+5+S.sol) located in the municipality of H'raoua (Rouïba, Algiers), which is classified as an area with high seismicity according to the Algerian seismic regulation RPA99 (ver2003).

To achieve thermal optimization, we will use the software of Archimist, which is based on the 2012 thermal regulations (RT2012).

Structural optimization is carried out according to the Algerian seismic rules and also the BAEL91 and CBA93 reinforced concrete rules.

Keywords: Thermal optimization; Thermal regulation 2012; Low energy building; Structural optimization.

Remerciements

**En achevant ce modeste travail nous remercions DIEU qui nous a permis d'arriver
jusque-là.**

**Tout d'abord, je remercie chaleureusement mes encadreurs Mr. SOUALHI Hamza
et Mr. BELAIDI Akram Salah Eddine, pour leur patience, leurs conseils avisés et leur
soutien constant tout au long de ce projet.**

**Je remercie les membres de jury d'avoir accepté l'évaluation de mon projet de fin
d'étude.**

**Je souhaite également remercier l'ensemble des professeurs de génie civil pour
leur enseignement tous ces années.**

**Un grand merci à ma famille pour leur soutien inconditionnel et leur
compréhension durant cette période intense et mes collègues et amis pour leur
encouragement et leur aide précieuse.**

Table des matières

<i>المُلخَص</i>	2
<i>Résumé</i>	2
<i>Abstract</i>	2
<i>Remerciements</i>	3
<i>Liste des symboles</i>	14
<i>Introduction générale</i>	17
<i>Chapitre 1 . Bâtiment à basse consommation énergétique</i>	18
1.1 Introduction	18
1.2 Aperçu historique	18
1.3 Bâtiment à basse consommation	20
1.3.1 À quoi cela sert-il ?	20
1.4 Le règlement thermique en Algérie	21
1.4.1 Les éléments essentiels de cette réglementation thermique	22
1.5 Les déperditions thermiques	22
1.6 Le diagnostic performance énergétique	23
1.7 Les matériaux utilisés pour l'isolation	23
1.7.1 Laine de roche	24
1.7.2 Laine minérale	24
1.7.3 Le polystyrène	25
1.7.4 Les panneaux sandwich.....	26
1.8 Les méthodes d'isolation	26
1.8.1 Isolation Thermique par intérieure (ITI).....	26
1.8.2 Isolation Thermique par extérieur (ITE)	27
1.9 Le règlement thermique 2012 (RT2012)	28
1.9.1 Les principales exigences dans Le RT2012	28
1.10 La perméabilité à l'air de l'enveloppe	29
1.11 Ponts thermiques	30
1.11.1 Ponts thermiques verticaux	30
1.11.2 Ponts thermiques horizontaux.....	31
1.11.3 Le ratio de transmission thermique linéique	31
1.11.4 Les effets des ponts thermiques sur l'habitation	31

1.11.5	Les types de pont thermique	32
1.11.6	Identifier les ponts thermiques dans un bâtiment.....	32
1.11.7	Traitement des ponts thermiques.....	33
1.12	Performance minimale des isolants	33
1.13	Les vitrages adaptés à la RT 2012	34
1.13.1	Les caractéristiques des vitrages.....	34
1.13.2	Les exigences de la RT 2012	34
1.13.3	Les coefficients caractérisant une fenêtre	34
1.14	Calcul thermique	35
1.14.1	Le principe de travail	35
1.14.2	Logiciel de Archimist	35
1.14.3	Les fonctions d'Archimist	36
1.14.4	Les avantages et les inconvénients d'Archimist	37
1.14.5	Le calcul thermique	38
1.14.6	La résistance thermique	43
1.14.7	Vérification de la surface de vitrage.....	48
1.15	Conclusion	48
Chapitre 2 . Présentation du projet.....		50
2.1	Introduction.....	50
2.2	Présentation de l'ouvrage.....	50
2.3	Caractéristique géométrique du bâtiment.....	50
2.3.1	Les vues en 3D.....	51
2.4	Caractéristique géométrique du sol	53
2.5	Le comportement climatique en Alger	54
2.6	Conception structurel.....	54
2.6.1	Système de contreventement	54
2.6.2	Les planchers.....	55
2.6.3	Le déplacement entre étages.....	55
2.6.4	Maçonneries.....	55
2.6.5	L'acrotère	55
2.6.6	Revêtement	55
2.6.7	Isolation.....	56
2.7	Caractéristiques des matériaux.....	56
2.7.1	Le béton armé	56
2.7.2	Les formulations requises pour effectuer le calcul du béton.....	56

2.7.3	Acier	59
2.8	Hypothèses de calcul	60
2.8.1	À l'état limite ultime "ELU"	60
2.8.2	À l'état limite de service (ELS)	60
2.9	Conclusion	60
Chapitre 3 . Optimisation structurelle		61
3.1	Introduction	61
3.2	Les étapes de calcul	61
3.3	Pré dimensionnement des éléments et évaluations des charges	61
3.3.1	Choix du sens porteur	61
3.3.2	Pré dimensionnement des poutres	62
3.3.3	Pré dimensionnement des planchers	63
3.3.4	Pré dimensionnement des voiles	70
3.3.5	Pré dimensionnement des escaliers	70
3.3.6	Acrotère	76
3.3.7	Pré dimensionnement des Poteaux	76
3.4	Calcul des éléments non structuraux	98
3.4.1	Plancher en corps creux	98
a)	Selon le BAEL 91 modifié 99	105
b)	Selon RPA 99	105
a)	Appui de rive	106
b)	Appui intermédiaire	106
3.4.2	Acrotère	113
3.4.3	Balcon	118
3.4.4	Escalier	121
3.5	Etude dynamique	130
3.5.1	Modélisation sur robot analyses structurel	130
3.5.2	Rappel sur les méthodes des calculs	130
3.5.3	Modélisation	131
3.6	Calcul de ferrailage pour les éléments porteurs	146
3.6.1	Ferrailage de poteau	146
3.6.2	Ferrailages des poutres :	152
3.6.3	Ferrailage des voiles	174
3.7	Conclusion	178
Conclusion générale		179

Références..... 180
Annexe 185

Liste des figures

Figure 1-1 Historique des exigences de consommation dans le bâtiment neuf depuis 1974 [3].	19
Figure 1-2. La consommation énergétique depuis 1974 à 2020 [3].	20
Figure 1-3. Schéma représentative d'une maison BBC [3].	21
Figure 1-4 . Déperdition thermique.	22
Figure 1-5.Le diagnostic performance énergétique [28].	23
Figure 1-6.Isolation avec laine de roche [29].	24
Figure 1-7. Laine de Roche [30].	24
Figure 1-8. Laine minérale [31].	25
Figure 1-9. Isolation d'un mur avec le polystyrène [27].	25
Figure 1-10. Des panneaux sandwich de toiture [16].	26
Figure 1-11. Isolation de toiture par intérieur [32].	27
Figure 1-12. Isolation du mur par intérieur [33].	27
Figure 1-13.Isolation des murs extérieur [34].	27
Figure 1-14.Perméabilité à l'aire de l'enveloppe des bâtiments, CETE Lyon, 2006. [3].	30
Figure 1-15. Plancher courant/ mur, cas d'un plancher lourd [3].	31
Figure 1-16. Diagramme de performance énergétique [2].	35
Figure 1-17. Dessin du plan à l'échelle [3].	36
Figure 1-18. Code couleur pour les compositions [3].	36
Figure 1-19. Dessin des murs porteurs [3].	37
Figure 1-20. Les caractéristiques du projet.	38
Figure 1-21. Mur <i>extérieur</i> 0.3 m.	38
Figure 1-22. Mur intérieur 0.1 m.	39
Figure 1-23. Mur intérieur 0.2 m.	39
Figure 1-24. S.sol.	40
Figure 1-25. RDC.	40
Figure 1-26. 1 ^{er} au 4 ^{ème} étage.	41
Figure 1-27. 5 ^{ème} étage.	41
Figure 1-28.sinariou de chauffage.	42
Figure 1-29. Diagnostic de performance énergétique avec RT2012.	44
Figure 1-30. Diagnostic de performance entéritique avec RE2020.	45
Figure 1-31. Les bilans énergétique et économique "Sans isolation thermique".	45
Figure 1-32. Diagnostic de performance énergétique avec RT2012 après l'ajout du matériau isolant.	47
Figure 1-33. Diagnostic de performance énergétique avec RE2020 après l'ajout du matériau isolant.	47
Figure 1-34.Les bilans énergétique et économique "Avec isolation thermique".	47
Figure 2-1. Localisation du projet.	50
Figure 2-2. Façade principe	51
Figure 2-3. Façade principe en 3D.	52
Figure 2-4. Façade Postérieure.	52

Figure 2-5. Vue sur la terrasse	53
Figure 2-6. Façade Postérieure.....	53
Figure 3-1.Schéma de sens porteur.	62
Figure 3-2. Les éléments de plancher en corps creux [35].....	64
Figure 3-3. Les dimensions des poutrelles.	66
Figure 3-4. Schéma de dalle pleine [36].	67
Figure 3-5. Schema de balcon.....	68
Figure 3-6. Les conditions de rigidité à l'extrémité.....	70
Figure 3-7. Schéma d'escalier.	71
Figure 3-8.Vue en plan de l'escalier.	71
Figure 3-9. Coupe transversale de l'escalier.	71
Figure 3-10. Schéma statique d'escalier	72
Figure 3-11.Vue en plan de l'escalier.	73
Figure 3-12. Coupe transversale de l'escalier.	73
Figure 3-13. Schéma statique d'escalier	74
Figure 3-14. L'acrotère.	76
Figure 3-15. Schéma du ferrailage des poutrelles.	111
Figure 3-16. Disposition constructive des armatures de la table de compression.	112
Figure 3-17. Schéma de ferrailage de l'acrotère coupe A-A.	117
Figure 3-18.Schéma de ferrailage de l'acrotère coupe B-B.....	117
Figure 3-19. Ferrailage de balcon coupe A-A.....	121
Figure 3-20. Ferrailage de balcon coupe B-B.	121
Figure 3-21. Schéma du ferrailage d'escalier bloc1.....	126
Figure 3-22. Schéma du ferrailage d'escalier bloc2.	127
Figure 63.Schéma statique de la poutre palier.	127
Figure 24.Schéma du ferrailage de la poutre palier.....	130
Figure 3-25.Vue en 3D bloc 1.....	132
Figure 3-26.Vue de dessus.	132
Figure 3-27.Vue de dessous.	132
Figure 3-28.Vue en 3D bloc 2.....	133
Figure 3-29.Vue de dessus.	133
Figure 3-30.Vue de dessous.	133
Figure 3-31.Vue en 3D entre bloc.....	134
Figure 3-32.Vue de dessus.	134
Figure 3-33.Vue de dessous.	134
Figure 3-34.Paramètres d'analyse modale	135
Figure 3-35. Les différentes combinaisons.	135
Figure 3-36. Concentration des masses de la structure.	135
Figure 3-37. Paramètres d'action sismique pour le sens x.....	135
Figure 3-38. Paramètres d'action sismique pour le sens y.....	136
Figure 3-39. Mode 1"Déplacement".	136
Figure 3-40. Mode 2"Déplacement".	137
Figure 3-41. Mode 3" Torsion ".	137
Figure 3-42. Mode 1"Déplacement".	138
Figure 3-43. Mode 2"Déplacement".	138
Figure 3-44. Mode 3" Torsion ".	138

Figure 3-45. Participation des masses aux réponses dynamiques "Bloc1"	139
Figure 3-46. Participation des masses aux réponses dynamiques "Bloc2"	139
Figure 3-47.La force sismique sens x-x.	142
Figure 3-48.La force sismique sens y-y	142
Figure 3-49. La force sismique sens x-x.	142
Figure 3-50. La force sismique sens y-y.	143
Figure 51.Schéma d'un ferrailage de poteau (40x40).....	152
Figure 52.Schéma du ferrailage de la poutre principale.....	173
Figure 93.Schéma du ferrailage de la voile.....	178

Liste des tableaux

Tableau 1-1. Les points forts et faibles de polystyrène [11].	25
Tableau 1-2. Bâtiment neuf.	33
Tableau 1-3. Bâtiment en rénovation.	33
Tableau 1-4. La résistance thermique de mur sans isolation.	43
Tableau 1-5. La résistance thermiques de toit sans isolation thermique.	43
Tableau 1-6. La résistance Thermiques de sol sans isolation Thermiques.	44
Tableau 1-7. La résistance thermique de mur avec l'isolation thermique.	45
Tableau 1-8. La résistance thermique de toit avec l'isolation thermique.	46
Tableau 1-9. La résistance thermique de sol avec l'isolation.	46
Tableau 1-10. Calcul de la surface de vitrage.	48
Tableau 2-1. Les dimensions en élévation	51
Tableau 2-2. Les dimensions en plan	51
Tableau 2-3 Les relations de résistance à la compression pour le béton pour $f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$	56
Tableau 2-4. La relation de résistance à la traction pour le béton	57
Tableau 2-5. Les valeurs de γ_b et θ .	58
Tableau 2-6 Le type de fissuration et τ_u	58
Tableau 2-7. Les différents types d'aciers utilisés et leurs variations	59
Tableau 2-8. σ en fonction de type de fissuration	59
Tableau 2-9. La valeur de η	60
Tableau 3-1 Les dimensions de ht et b pour les poutres principales	62
Tableau 3-2 Les dimensions de ht et b pour les poutres principales	62
Tableau 3-3. Les conditions de RPA.	63
Tableau 3-4. Les dimensions de h et b pour les poutres secondaires	63
Tableau 3-5. Les conditions de RPA.	63
Tableau 3-6 Terrasse accessible	66
Tableau 3-7. Terrasse inaccessible.	66
Tableau 3-8. Plancher étage courant	67
Tableau 3-9. Dalle pleine	69
Tableau 3-10. Calcul des charges sur palier (Bloc 1).	73
Tableau 3-11. Calcul des charges sur volée (Bloc 1)	73
Tableau 3-12. Calcul des charges sur paliers (Bloc 2)	75
Tableau 3-13. Calcul des charges sur volée (Bloc 2)	75
Tableau 3-14 .Les poteaux de rive (Bloc1).	79
Tableau 3-15. Les sections finales des poteaux de rive (Bloc1)	81
Tableau 3-16.Vérification des sections des poteaux Bloc 1.	82
Tableau 3-17. Les poteaux de rive (Bloc2).	82
Tableau 3-18. Les sections finales des poteaux de rive (Bloc2).	85
Tableau 3-19. Vérification des sections des poteaux Bloc 2.	85

Tableau 3-20. Les poteaux intermédiaires (Bloc1)	86
Tableau 3-21. Les sections finales des poteaux intermédiaires (Bloc1).....	88
Tableau 3-22. Vérification des sections des poteaux intermédiaire Bloc 1.....	89
Tableau 3-23. Les poteaux intermédiaire (Bloc2).....	89
Tableau 3-24. Les sections finales des poteaux intermédiaires (Bloc2).....	91
Tableau 3-25. Vérification des sections des poteaux intermédiaire Bloc 2.....	92
Tableau 3-26. Les poteaux centraux (Bloc1).	92
Tableau 3-27. Les sections finales des poteaux centraux (Bloc1).....	95
Tableau 3-28. Vérification des sections des poteaux centraux Bloc 1.	95
Tableau 3-29. Les poteaux centraux (Bloc2).	95
Tableau 3-30. Les sections finales des poteaux centraux (Bloc2).....	97
Tableau 3-31. Vérification des sections des poteaux centraux Bloc 2.	98
Tableau 3-32.Evaluation des charges et surcharges.	99
Tableau 3-33.Combinaison des charges et calcul des moments.....	99
Tableau 3-34.Evaluation des charges et surcharges.	100
Tableau 3-35. Dalle à cinq travées a ELU.	101
Tableau 3-36. Dalle à trois travées a ELU.	102
Tableau 3-37. Dalle à cinq travées à ELS.	102
Tableau 3-38. Dalle à trois travées a ELS.	103
Tableau 3-39. Résultat de la méthode forfaitaire.	103
Tableau 3-40. Les données pour le calcul de ferrailage.	103
Tableau 3-41. Les résultats du calcul ferrailage en travée.	104
Tableau 3-42.Les résultats du calcul ferrailage sur appui.	104
Tableau 3-43.Résultat de la vérification.	108
Tableau 3-44. Combinaison d'action.	114
Tableau 3-45. Les formules à ELU	121
Tableau 3-46. Les formules à ELS.....	122
Tableau 3-47. Les sollicitations à ELU.....	122
Tableau 3-48. Les sollicitations à ELU.....	122
Tableau 3-49. Les sollicitations à ELS.....	122
Tableau 3-50. Les sollicitations à ELS.....	123
Tableau 3-51. Ferrailage à mi- travée.	123
Tableau 3-52. Vérification à ELS.	123
Tableau 3-53. Ferrailage sur appui.....	123
Tableau 3-54. Vérification à ELS.	124
Tableau 3-55. Les sollicitations à ELU.....	124
Tableau 3-56. Les sollicitations à ELU.....	124
Tableau 3-57. Les sollicitations à ELS.....	125
Tableau 3-58. Les sollicitations à ELS.....	125
Tableau 3-59. Ferrailage à mi- travée.	125

Tableau 3-60. Vérification à ELS.	125
Tableau 3-61. Ferrailage sur Appui.	126
Tableau 3-62. Vérification à ELS.	126
Tableau 3-63. Vérification des déplacements latéraux inter-étages Bloc1.....	143
Tableau 3-64. Vérification des déplacements latéraux inter-étages Bloc2.....	144
Tableau 3-65. Vérification de l'effort normale réduit bloc1.	144
Tableau 3-66. Vérification de l'effort normale réduit bloc2.	144
Tableau 3-67. Effet P- Δ Bloc 1.....	145
Tableau 3-68. Effet P- Δ Bloc 2.....	145
Tableau 3-69. Justification des voiles sous charges verticales 'Bloc1'.....	146
Tableau 3-70. Justification des voiles sous charges verticales 'Bloc2'.....	146
Tableau 3-71. Les sollicitations max obtenues par Robot Structural Bloc1.....	147
Tableau 3-72. Les sollicitations max obtenues par Robot Structural Bloc2.....	147
Tableau 3-73. Le ferrailage longitudinale de chaque section et chaque bloc.	151
Tableau 3-74. Le choix des sections.	151
Tableau 3-75. Le ferrailage transversal de chaque section et chaque bloc.....	151
Tableau 3-76. Vérification.	151
Tableau 3-77. Sollicitations du poutre principale 'Bloc1'.	153
Tableau 3-78. Sollicitations du poutre secondaire 'Bloc1'.	153
Tableau 3-79. Sollicitations du poutre principale 'Bloc2'.	153
Tableau 3-80. Sollicitations du poutre secondaire 'Bloc2'.	154
Tableau 3-81. Résultat de ferrailage des poutres 'bloc1'.	173
Tableau 3-82. Résultat de ferrailage des poutres 'bloc2'.	173

Liste des symboles

A	Coefficient d'accélération de zone
A_{min}	Section des armatures comprimée
A_r	Section des armatures des répartitions
A_s	Section des armatures longitudinales
A_t	Section des armatures transversales
A	La longueur d'un section de poutre ou d'un poteau
B	La largeur d'un section de poutre ou d'un poteau
B_r	Section de béton réduite
C_T	Coefficient en fonction de système de contreventement et type de remplissage.
D	Facteur d'amplification dynamique.
e	Epaisseur d'un élément
E_{ij}	Module de déformation instantanée
E_{vj}	Module de déformation différé.
f	La flèche
f_{bu}	Contrainte limite admissible à ELU
f_e	Limite d'élastique de l'acier
f_i	La flèche instantané
f_v	La flèche différé.
f_{cj}	La résistance caractéristique à la compression du béton à l'âge de « j » jours.
f_{tj}	La résistance caractéristique à la traction du béton à l'âge de « j » jours.
G	Charge permanent
h_e	Hauteur libre d'étage
I	Moment d'inertie
I_f	Moment d'inertie fictive.
L	La longueur ou portée

l_f	La longueur de flambement
M_a	Moment sur appui
M_t	Moment sur travée
M_{ser}	Moment à ELS
M_u	Moment à ELU
N	Effort Normale
N_d	Effort normale de calcule s'exerçant sur une section de béton
N_u	Effort Normale ultime
P_k	Poids totale de la structure et des charges d'exploitation.
Q	La charge d'exploitation/ Facteur de qualité
R	La résistance thermique / Coefficient de comportement globale de la structure.
S_h	La surface habitable
S_t	Espacement entre les armatures
S_v	La surface de vitrage
T	La période fondamentale de la structure
T_2	La période caractéristique
U	Coefficient de transfert thermique des parois
V	La force sismique totale
V_k	Effort tranchant d'étage au niveau K
V_u	Effort tranchant vis-à-vis de ELU
V_x	La force sismique dans la direction x-x
V_y	La force sismique dans la direction y-y
W	La poids totale de la structure.
ψ	Le ration de transmission thermique linéique
λ	La conductivité thermique/ Élancement mécanique.
α	Coefficient en fonction de l'élancement mécanique

Δ_k	Déplacement relatif au niveau d'étage
γ_b	Coefficient partiel de sécurité sur le béton
γ_s	Coefficient partiel de sécurité sur l'acier
σ_{bc}	La contrainte de compression
σ_s	La contrainte limite de traction de l'acier
τ_u	Contrainte de cisaillement
$\bar{\tau}_u$	Contrainte admissible cisaillement
η	Coefficient de fissuration relatif à une armature
μ	Moment réduit
δ	Pourcentage des armatures
λ_i	Déformation instantané
λ_v	Déformation différée
β	Coefficient de pondération
$\xi(\%)$	Le pourcentage d'amortissement

Introduction générale

Après les crises qui ont touché le monde de l'énergie dans les années 1970 et les problèmes environnementaux qui ont résulté d'une mauvaise consommation d'énergie et de ses conséquences, il est devenu nécessaire de prendre du recul et d'évaluer la consommation d'énergie folle, en particulier dans le domaine de la construction, qui occupe la plus grande part de la consommation représentait environ 38 % de la consommation d'énergie mondiale. Selon des études menées par le UK Green Building Council, le secteur de la construction utilise plus de 400 tonnes de matières premières par an, contribuant à environ 23 % de la pollution atmosphérique, 40 % de la pollution de l'eau potable et 50 % des décharges.

Les gouvernements ont donc élaboré des stratégies pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) du secteur de la construction en donnant la priorité aux projets de construction à faible émission de carbone et en utilisant des matériaux qui réduisent les émissions de carbone au cours du cycle de vie.

Notre projet à souligner a deux facteurs importants dans le domaine de la construction qui sont l'optimisation thermique et l'optimisation structurelle qui jouent un rôle important dans de nombreux aspects, tels que la conformité économique, environnementale, le confort et la sécurité bien sûr.

L'optimisation thermique améliorée aide à assurer le confort des occupants en introduisant l'isolation thermique dans les murs et les surfaces et en réduisant les ponts thermiques qui causent des pertes d'énergie importantes, d'autre part en choisissant des matériaux d'isolation optimaux dont le choix est contrôlé par d'autres facteurs. De plus, il faut aussi utiliser les bonnes portes et fenêtres. Tous ces éléments doivent être conformes à la réglementation thermique.

L'optimisation structurelle vise à une analyse structurale minutieuse afin d'obtenir un bâtiment qui répond aux normes de sécurité et de sûreté tout en tenant compte des aspects économiques et environnementaux, elle consiste au pré dimensionnement des éléments ; évaluation des charges ; analyse dynamique ; détermination de la quantité et la disposition des aciers et finalement l'élaboration des plans d'exécution (Plans de génie civil).

Chapitre 1 . Bâtiment à basse consommation énergétique

1.1 Introduction

Dans le cadre de la croissance rapide de notre époque, il est devenu primordial de faire une pause et de prendre du recul afin d'évaluer l'état de l'environnement, qui est en danger en raison des dangers de la pollution et des émissions de dioxyde de carbone. Certains domaines sont responsables de ce problème, notamment la construction et l'aménagement. Les ingénieurs ont la responsabilité de trouver des solutions pour réduire l'impact des bâtiments sur l'environnement. Le concept de bâtiments à basse consommation et les Règlements thermiques sont nés de cette préoccupation.

Ce chapitre examine le concept de BBC, les réglementations thermiques et les diverses méthodes pour construire des bâtiments qui ne nuisent pas à notre environnement.

En se basant sur notre projet comme exemple, nous procédons à une étude thermique en utilisant le logiciel de *l'Archimist* et la réglementation thermiques 2012.

1.2 Aperçu historique

Tout est apparu avec le choc pétrolier que la France a subi pour la première fois en 1973, quand elle a sonné l'alarme et a commencé ses tentatives pour remédier à la situation et trouver des solutions.

La première réglementation thermique a été introduite RT1974 consiste à réduire la consommation énergétique des bâtiments neufs de 25% par rapport aux normes des années 1950 on insiste sur l'importance de l'isolation extérieur.

Au deuxième choc pétrolier en 1979, le RT1974 a été remplacé par le RT1982, ce dernier a consisté de réduire la consommation d'énergie du bâtiment à 20% par rapport à l'ancien.

Les constructions doivent tenir compte des orientations du vitrage pour assurer une perte de chaleur adoptée au volume habitable. De plus l'obligation de respecter la norme élevée d'isolation en vigueur depuis 1980 devient incontournable.

Après cela, la RT1988 est mise en œuvre en prenant en compte à la fois les pertes des bâtiments et l'approvisionnement en chauffage et en eau chaude sanitaire.

C'est également le premier règlement concernant les bâtiments tertiaires.

Après douze ans, le RT2000 a été mise en place, avec l'obligation des bâtiments résidentiels et non résidentiels de 20% à 40% respectivement. Cette nouvelle RT met l'accent sur la consommation bioclimatique (Bbio), l'amélioration de l'équipement des consommateurs et le confort estival (Tic). [1]

Les bâtiments à basse consommation se développent au début des années 2000 en réponse aux discussions sur la diminution des émissions de gaz à effet de serre et la lutte contre le changement climatique.

En 2007 la réglementation thermique 2005 a été mise en place, elle exige des normes plus strictes pour la construction des nouveaux bâtiments et instaure des exigences de performance énergétique. Les bâtiments qui respectent ces exigences peuvent être certifiés Bâtiment a basse consommation.

En 2013, la RT2012 a été mise en place pour remplacer la RT2005, Il est désormais obligatoire de respecter cette réglementation pour obtenir le label BBC.

Le principe est resté le même depuis 2021 avec 2020 qui est connu sous le nom de RE2020 (Règlementation environnementale 2020).

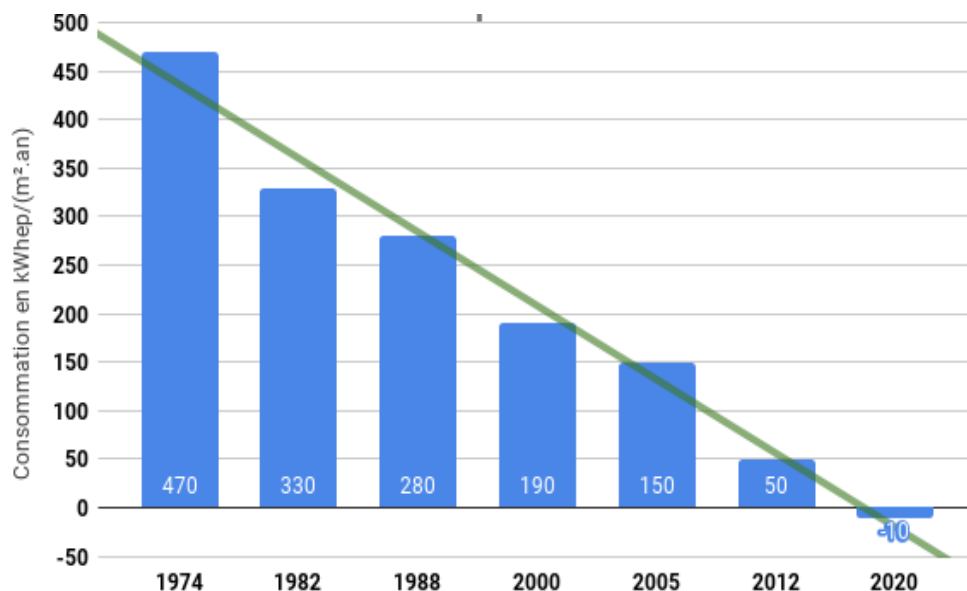


Figure 1-1 Historique des exigences de consommation dans le bâtiment neuf depuis 1974 [3].

L'association Effinergie a fait évoluer le label qu'elle promet pour continuer à améliorer les pratiques, parmi les déclinaisons les plus connues le BBC renouvelable et le BEPOS (Bâtiment à énergie positive). [2]

Bâtiments à énergie positive : « consommation d'énergie primaire inférieure à la quantité d'énergie renouvelable produite dans ces constructions, et notamment le bois-énergie » [3].

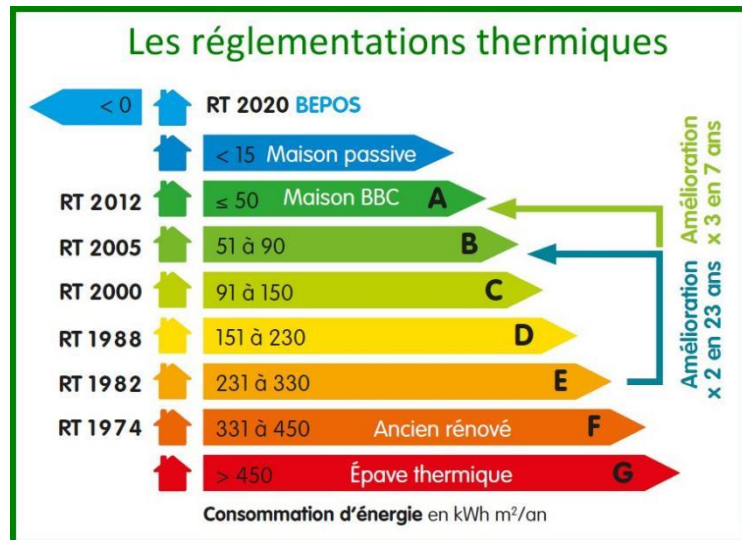


Figure 1-2. La consommation énergétique depuis 1974 à 2020 [3].

1.3 Bâtiment à basse consommation

Un bâtiment à basse consommation énergétique est un immeuble qui se construit en respectant certaines normes et critères de performance énergétique. Ces derniers peuvent impliquer une consommation d'énergie contrainte pour le chauffage, la ventilation, l'air conditionné et l'éclairage et des technologies utilisées à partir des économies d'énergie. Un bâtiment écologique doit également abaisser les rejets de gaz à effet de serre et encourager l'utilisation des sources renouvelables d'énergie.

1.3.1 À quoi cela sert-il ?

Ce label présente de nombreux avantages qui justifient notre choix notamment :

- Un système de ventilation qui protège et améliore la qualité de l'air.
- Une étanchéité à l'air optimale des ouvertures (Porte-Fenêtre),
- Une orientation du logement qui favorise l'entrée de la lumière naturelle. [4]

En résumé, le label BBC offre plusieurs bénéfices : Économie d'énergie, diminution des émissions de gaz à effet de serre et confort thermique.

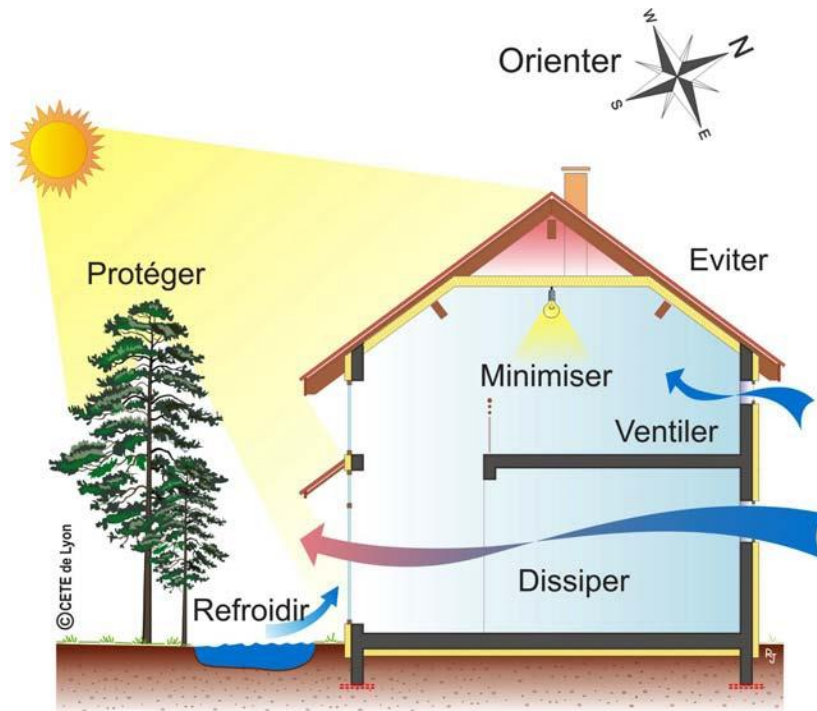


Figure 1-3. Schéma représentative d'une maison BBC [3].

1.4 Le règlement thermique en Algérie

En 1999, le premier code énergétique algérien du bâtiment a été créé par le Ministère du Logement et de l'Urbanisme. Le but de ce document, composé de deux fascicules (un pour l'hiver, DTR C3.2, et un autre pour l'été, DTR C3.4), était de diminuer de 20 % à 30 % la consommation d'énergie pour le chauffage [5]. À partir de 1997, l'Algérie a été le premier pays du Maghreb à instaurer une réglementation thermique des bâtiments, et cette réglementation est devenue obligatoire à partir de 2000. Son offre comprend deux techniques de calcul pour les besoins de chauffage et de refroidissement, dans le but de contrôler ces besoins [6].

La réduction de la consommation d'énergie et la contribution à la transition énergétique du pays nécessitent une amélioration de l'efficacité énergétique dans le domaine du bâtiment. Environ 30 % de l'énergie consommée en Algérie est destinée au secteur résidentiel, dont 70 % sont consacrés au chauffage et au refroidissement [6]. Devant la hausse de la consommation d'énergie en Algérie, un processus de transition énergétique a été mis en place afin de préserver son économie et garantir sa sécurité énergétique à long terme [5].

En 2016, une nouvelle version de la réglementation thermique algérienne pour les bâtiments a été publiée par le Ministère de l'Habitat, de l'Urbanisme et de la Ville. L'objectif de cette réglementation est de rendre obligatoire l'isolation thermique des bâtiments neufs afin de diminuer la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation. Il joue un rôle crucial dans l'amélioration de l'efficacité énergétique et la réponse aux besoins croissants en énergie dans le domaine du bâtiment résidentiel [5].

1.4.1 Les éléments essentiels de cette réglementation thermique

- Isolation thermique des bâtiments neufs : La réglementation exige que les nouveaux bâtiments soient conçus avec une isolation thermique adéquate pour minimiser les pertes de chaleur en hiver et les gains de chaleur en été.
- Réduction de la consommation d'énergie : L'objectif principal est de réduire la consommation d'énergie due au chauffage et à la climatisation.
- Puissances requises : Par exemple, la puissance de chauffage à installer pour un bâtiment classique est de 14,7 kW, tandis que la puissance du système de climatisation est de 8,4 kW [5].

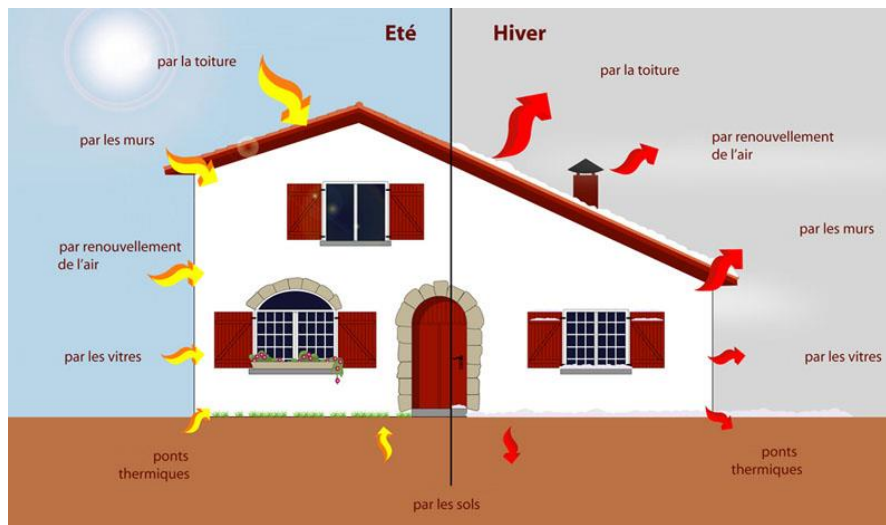


Figure 1-4 . Déperdition thermique

1.5 Les déperditions thermiques

Lorsque l'isolation d'un logement est insuffisante et que le renouvellement d'air n'est pas assuré, cela entraîne une déperdition thermique. Dans ce cas, la chaleur est évacuée par les différents éléments constitutifs de votre maison ou de votre appartement [18].

Le toit provoque principalement les pertes thermiques ; c'est donc le site le plus important en termes d'isolation, les murs sont la deuxième priorité pour avoir un logement d'isolation de puits juste derrière [13].

Le remplacement des fenêtres est très important pour réduire les factures de chauffage ; des fenêtres inefficaces peuvent causer des pertes de chaleur importantes, ce qui oblige le système de chauffage à travailler plus fort pour maintenir une température confortable à l'intérieur [19].

La perte thermique d'un logement est modérément affectée par le plancher, les ponts thermiques et les murs qui donnent sur des locaux non chauffés comme les garages, les caves

et les sous-sols. Ces projets d'isolation sont importants, mais ils ne sont pas aussi prioritaires [19].

1.6 Le diagnostic performance énergétique

Le DPE est un document de référence qui évalue la performance énergétique d'un logement et déterminer son taux d'émission de gaz à effet de serre. Il est établi en 2006 en France, il évalue le niveau de consommation d'énergie auquel les résidents doivent s'attendre. Il propose également des conseils pour améliorer l'efficacité énergétique et limiter l'impact environnemental d'un logement. Il est possible de recommander des travaux de rénovation, de l'isolation du bâtiment, de remplacer les systèmes de chauffage ou l'utilisation de sources d'énergie renouvelables [21].

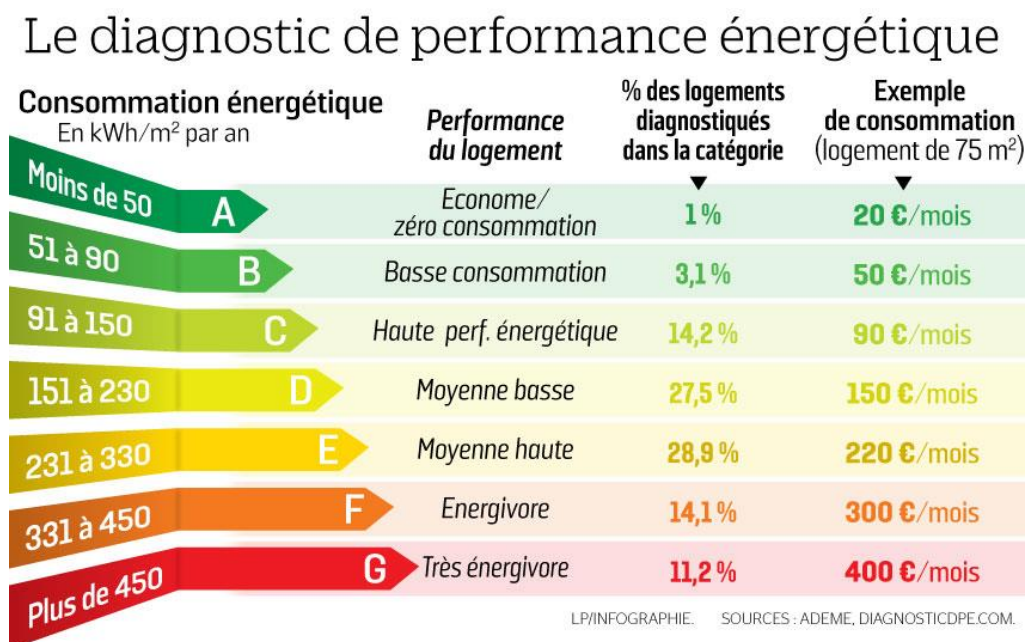


Figure 1-5. Le diagnostic performance énergétique [28].

Le DPE se présente sous la forme d'un rapport complet rassemblant les informations suivantes :

- L'étiquette énergie-climat ;
- L'estimation des coûts annuels d'énergie ;
- L'indicateur du confort d'été ;
- Les recommandations de travaux [21].

1.7 Les matériaux utilisés pour l'isolation

Lors du choix de l'isolant, il est intéressant de se renseigner sur les éventuels risques pour la santé ou encore l'impact de l'isolant sur l'environnement lors de son cycle de vie [22].

Ils existent plusieurs matériaux qui peuvent être utilisés pour isoler les bâtiments à la fois thermiquement et phonétiquement. Ce sont là quelques options courantes :

1.7.1 Laine de roche

La laine de roche est un élément d'isolation fabriquée à base des roches volcanique (Basalte ou la diabase). Ces roches sont fondues à des hautes températures, après transformées en fibres fin de fabriquer le matériau final. La laine de roche assure une isolation thermique excellente, elle diminue les pertes de chaleur en hiver et conserve la fraîcheur en été. Cela permet de contrôler la température dans l'intérieur des bâtiments. Outre sa performance thermique, la laine de roche présente également de bonnes caractéristiques acoustiques, son rôle est d'absorber les bruits et de réduire la transmission du son entre les pièces.



Figure 1-6. Isolation avec laine de roche [29].



Figure 1-7. Laine de Roche [30].

1.7.2 Laine minérale

La laine minérale est un matériau isolant fabriqué à partir de fils de verre fondu ou de roche fondue [6 - 9].

Ces fils sont joints d'une manière spéciale de sorte qu'une structure laineuse se forme. Ensuite, la laine peut être comprimée en panneaux ou matelas qui servent d'isolants [6]

Les isolants de laine de roche et de laine de laitier sont composés de matériaux bruts semblables, mais dans des proportions différentes, et ils sont fabriqués selon un processus servant à filer une composition de roche et de laitier fondus pour en faire des fibres résistant à des températures élevées [7].



Figure 1-8. Laine minérale [31].

1.7.3 Le polystyrène

Le polystyrène est un isolant extrêmement efficace et très utile pour l'isolation des murs par l'intérieur ou par l'extérieur, des planchers bas, des soubassements et des toitures terrasses, en raison de sa résistance à l'humidité. [10].

Tableau 1-1. Les points forts et faibles de polystyrène [11].

Les points forts	Les points faibles
Très léger Facile à installer	Un mauvais isolant phonique Mauvaise résistance au feu
Epaisseur fine est parfaite pour isoler un mur intérieur.	Un matériau non écologique



Figure 1-9. Isolation d'un mur avec le polystyrène [27].

1.7.4 Les panneaux sandwich

Un panneau sandwich connu sous le nom de bardage double peau monobloc, est un matériau de construction monobloc composé d'une couche de matériau isolant entre deux plaques de matériau profilé. Son objectif est de construire ou de rénover des façades, des bardages et des toitures. Léger, résistant, économique, facile à monter par emboîtement, il propose, en fonction de la gamme, diverses caractéristiques de résistance des matériaux : Isolation thermique, étanchéité, résistance au feu, isolation phonique et esthétique architecturale, etc [15].



Figure 1-10. Des panneaux sandwich de toiture [16].

1.8 Les méthodes d'isolation

Il existe 3 grandes méthodes d'isolation :

1.8.1 Isolation Thermique par intérieure (ITI)

Il s'agit un ensemble des travaux à l'intérieur de la construction par exemple :

- Isolation d'une toiture par l'intérieur.
- Isolation des murs par l'intérieur.
- Isolation d'un plafond par l'intérieur Les rhéomètres à béton adaptés



Figure 1-11. Isolation de toiture par intérieur [32].



Figure 1-12. Isolation du mur par intérieur [33].

1.8.2 Isolation Thermique par extérieur (ITE)

Consiste à protéger les façades extérieures de la construction utilisant un matériau isolant



Figure 1-13. Isolation des murs extérieur [34].

Les avantages d'isolation thermique par extérieur : [17].

- Un gain de confort thermique : L'isolation par l'extérieur permet de lutter contre les ponts thermiques.
- Une baisse de la facture de chauffage : Renforcer l'isolation par l'extérieur permet de réaliser des économies d'énergie.
- Une amélioration du DPE.
- Créer une barrière contre l'humidité.
- Embellir la maison.

1.9 Le règlement thermique 2012 (RT2012)

Le règlement thermique est un ensemble de normes établies par les experts de la construction. Cette norme a été lancée officiellement le 1/1/2013 pour améliorer les performances des bâtiments tout en réduisant les pertes énergétiques. Elle vise donc à réduire la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs à un maximum de 50 kWhEP/m².an en moyenne pour avoir des bâtiments confortables et tout en minimisant leur impact sur l'environnement, donc RT2012 représente un saut énergétique pour les bâtiments neufs [13].

La réglementation exige également des critères tels que l'étanchéité, la surface vitrée, l'affichage des consommations d'énergie et des garde-fous performants comme le traitement des ponts thermiques. [13].

1.9.1 Les principales exigences dans Le RT2012

Il y a 3 exigences de résultats dans la réglementation thermique 2012 :

- Conception bioclimatiques du bâtiment ($B_{bio_{max}}$).
- Consommation d'énergie primaire ($C_{ep_{max}}$).
- Confort en été ($T_{ic_{réf}}$).

1.9.1.1 Conception bioclimatiques du bâtiment (B_{biomax}) :

La conception bioclimatique signifie que sa construction tient compte des impacts environnementaux (Exposition au soleil, au vent...), Elle limite donc les contraintes liées à cet environnement et en tire les bénéfices, le coefficient $B_{bio_{max}}$ (Besoin bioclimatique du bâtiment) définit cette efficacité énergétique minimale du bâtiment.

L'objectif est de limiter les besoins en énergie du bâtiment tout en garantissant un niveau de confort pour les occupants [12].

- Selon RT2012 la B_{bio} (en points) est comme suit :

$$B_{bio}=2 \times (B_{chauffage} + B_{refroidissement} + 5 * B_{éclairage})$$

- Pour tous les bâtiments

$$B_{bio\ max} = B_{bio\ moyen} + (M_{b_{géo}} + M_{b_{alt}} + M_{b_{surf}})$$

- Exigence :

$$B_{bio} \leq B_{bio\ max}$$

1.9.1.2 Consommation d'énergie primaire (Cepmax):

Le coefficient Cepmax représente l'exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire, elle concerne les dépenses liées au chauffage, au refroidissement, à l'éclairage, de production d'eau sanitaire et aux équipements auxiliaires tels que les pompes et les ventilateurs, il est évalué avec une valeur de 50 KwhEP/m2.an et varie en fonction de localisation géographique, l'altitude et le type d'usage du bâtiment, la surface moyenne des logements et les émissions de gaz à effet de serre pour le bois énergie et les réseaux de chaleur les moins émetteurs de Co2 [12].

- Cas général

$$Cep_{max} = 50 \times M_{C_{type}} \times (M_{C_{géo}} + M_{C_{alt}} + M_{C_{GES}})$$

- Exigence :

$$Cep \leq Cep_{max}$$

1.9.1.3 Confort en été (Ticréf):

Température intérieure conventionnelle ou Ticréf, elle est exprimée en degrés celsius et représente la température maximale opérationnelle horaire calculée dans le bâtiment.

L'exigence de confort en été impose que la température intérieure atteinte dans le bâtiment soit inférieure à la Ticréf au cours des 5 jours les plus chauds de l'année. [14]

1.10 La perméabilité à l'air de l'enveloppe

C'est une combinaison de phénomènes physiques internes ou externes qui favorise l'infiltration et/ou l'exfiltration de l'air

$Q_{4Pa-surf}$ m³/(h.m²) : débit de fuite sous 4 Pa divisé par la surface de parois déprédatives (hors planchers bas). Le débit de fuite Qf caractérise l'aptitude d'une paroi à laisser circuler l'air lorsqu'une différence de pression P existe entre ses 2 faces [3].

Localisation des fuites comme la figure 1-14

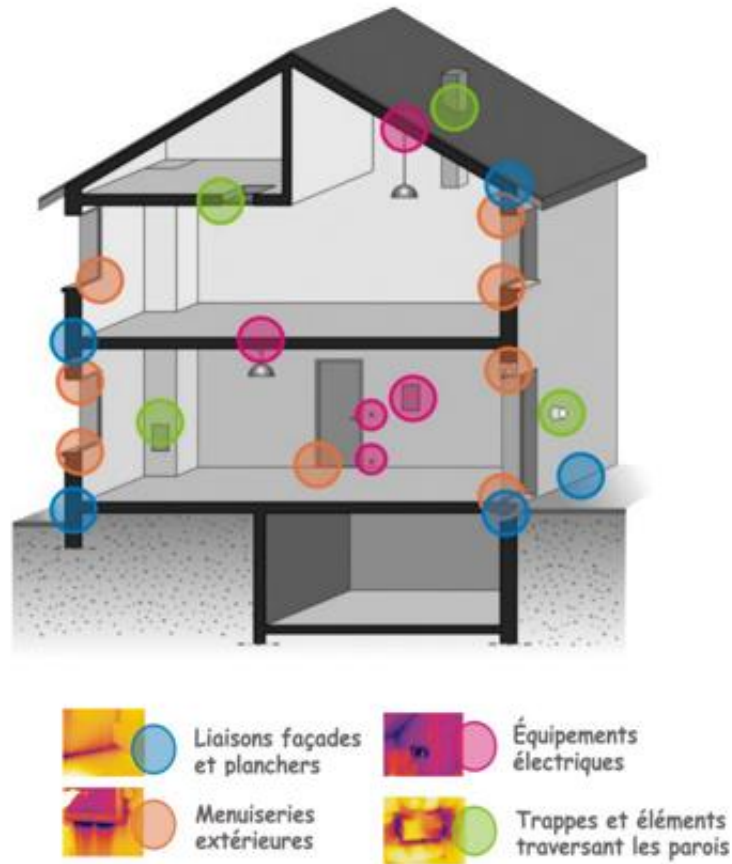


Figure 1-14. Perméabilité à l'aire de l'enveloppe des bâtiments, CETE Lyon, 2006. [3].

Exigences à respecter

- Maison individuelles ou accolée : $Q_{4Pa-surf} \leq 0,6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.
- Immeubles collectifs : $Q_{4Pa-surf} \leq 1 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$.

1.11 Ponts thermiques

Les ponts thermiques selon le document RT2012 sont des zones qui dans l'enveloppe d'un bâtiment présentent un défaut ou une diminution de résistance thermique par ailleurs uniforme. Les ponts thermiques sont divisés en deux grandes catégories comme suite :

1.11.1 Ponts thermiques verticaux

- Angle.
- Façade – refend.
- Appuis de fenêtre.
- Fenêtre.
- Porte-fenêtre.

1.11.2 Ponts thermiques horizontaux

- Toiture terrasse – façade.
- Plancher intermédiaire – façade.
- Plancher bas – façade.
- Balcons – façades.

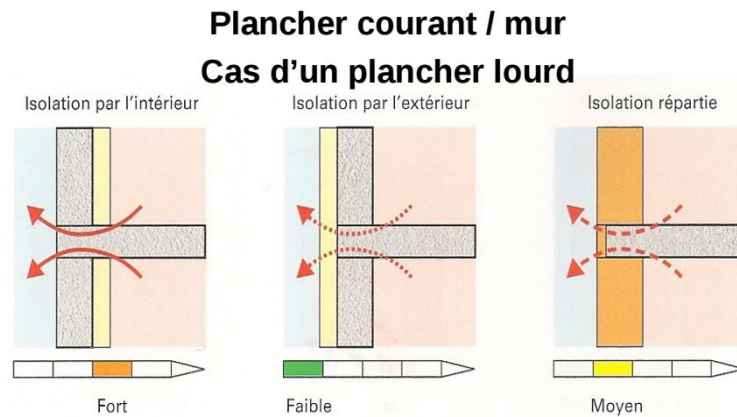


Figure 1-15. Plancher courant/ mur, cas d'un plancher lourd [3].

1.11.3 Le ratio de transmission thermique linéique

Le ratio de transmission thermique linéique moyen global ou Ratio ψ des ponts thermiques du bâtiment ne doit pas excéder $0.28\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Le coefficient de transmission thermique linéique moyen des liaisons plancher intermédiaire/murs donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé, ne doit pas excéder $0.6\text{W}/(\text{ml.K})$ [20].

1.11.4 Les effets des ponts thermiques sur l'habitation

Les ponts thermiques sont responsables des sensations de froid, des dépenses énergétiques accrues et de la détérioration à long terme de l'habitation.

Problèmes d'humidité : Les ponts thermiques peuvent conduire à des problèmes de murs humides, de condensation, de moisissures et de traces noires. À long terme, la structure même du mur peut subir une dégradation encore plus grave.

Sensation d'inconfort : Ces défauts d'isolation contribuent à l'apparition de zones froides dans certaines pièces. La sensation d'inconfort et de courant d'air peut donc survenir l'hiver au sein de l'habitation, alors même que le logement est chauffé suffisamment. En été, les murs auront tendance à accumuler et à diffuser la chaleur du soleil.

Consommation d'énergie plus élevée : Le phénomène des ponts thermiques entraîne une sur consommation de chauffage en hiver et de climatisation en été, avec à la clé une hausse du montant des factures énergétiques [25].

1.11.5 Les types de pont thermique

Ils existent plusieurs types de pont thermique

Les ponts thermiques linéaires : Également appelés ponts thermiques 2D ou de liaison, ils désignent les déperditions de chaleur à la jonction de deux parois (entre un mur et un plancher bas ...).

Les ponts thermiques structurels : Ce type de pont thermique est souvent dû à une mauvaise technique d'installation et/ou de mise en œuvre lors de l'isolation (Par exemple, des trous dans le bâtiment causé par le perçage ou l'assemblage d'isolants).

Les ponts thermiques ponctuels : Aussi appelés ponts thermiques 3D, ils se situent au point de jonction d'au moins trois structures différentes (la jonction entre la dalle et la liaison de deux murs) [25].

1.11.6 Identifier les ponts thermiques dans un bâtiment

Il existe plusieurs méthodes et outils peuvent être utilisés pour identifier les ponts thermiques

Inspection visuelle : Examiner les zones où différents matériaux de construction se rejoignent, comme les jointions entre murs et planchers, les encadrements de fenêtres et de portes, les coins des pièces, et les toits. Les fissures ou les zones mal isolées sont indices potentiels de pont thermique.

Caméras thermiques : Utiliser une caméra infrarouge pour détecter les variations de température sur les surfaces du bâtiment. Les zones plus froides sur les images thermiques indiquent souvent des ponts thermiques, car elles montrent où la chaleur s'échappe.

Thermomètres infrarouges : Ces appareils portatifs permettent de mesurer la température de surfaces spécifiques pour identifier les variations qui pourraient indiquer des ponts thermiques.

Blower door test : Effectuer un test d'infiltration avec une porte soufflante pour créer une différence de pression à l'intérieur du bâtiment, cela permet de détecter les infiltrations d'air, souvent associées aux ponts thermiques.

Analyse des facteurs énergétiques : Comparer les factures énergétiques avec des bâtiments similaires peut révéler une consommation anormalement élevée, indiquant la présence possible de ponts thermiques.

1.11.7 Traitement des ponts thermiques

Il y a plusieurs façons de traiter les ponts thermiques, notamment :

Isolation continue : Cette méthode implique l'installation d'une isolation continue autour de l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment, incluant les murs, les sols, les plafonds, les toitures et les menuiseries. L'objectif est de créer une "enveloppe thermique" étanche et performante qui empêche les déperditions de chaleur.

Rupteurs de ponts thermiques (RPT) : les rupteurs de ponts thermiques sont des éléments isolants spéciaux qui s'interposent entre les matériaux de construction conducteurs, tels que le béton et l'acier, pour interrompre le transfert de chaleur. Ils sont généralement fabriqués en matériaux isolants à faible conductivité thermique, tels que le polystyrène expansé ou le polyuréthane.

Menuiseries performantes : les menuiseries performantes, telles que les fenêtres et les portes à double ou triple vitrage, sont conçues pour limiter les déperditions de chaleur et améliorer l'isolation thermique du bâtiment. Elles intègrent des vitrages isolants, des joints d'étanchéité performants et des cadres isolants [26].

1.12 Performance minimale des isolants

La réglementation thermique 2012 a exigé une certaine performance minimale des isolants pour des constructions neuf et pour les constructions à rénovation, les valeurs sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 1-2. Bâtiment neuf.

Zone	La résistance thermique R [m ² .K/W]
La Toiture (tant en rampants et qu'en plafond de combles)	8
Murs en façade ou en pignon et Planchers bas	4

Tableau 1-3. Bâtiment en rénovation.

Zone	La résistance thermique R [m ² .K/W] doit être ≥
Planchers bas sur sous-sol, sur vide sanitaire ou sur passage ouvert	3
Murs en façade ou en pignon	3,7
Toitures – terrasses	4
Rampants de toiture et plafonds de combles	6
Planchers de combles perdus	7

Les parois donnant sur des locaux à occupation discontinue doivent être bien isolées. Le coefficient de transfert thermique U de ces parois devra être inférieur à 0,36 W/ (m². K).

1.13 Les vitrages adaptés à la RT 2012

La RT2012 est donne une importance vitale pour les ouvertures (Portes, fenêtres...) Les vitrages permettent de profiter de rayonnement solaire donc ils jouent un grand rôle dans la construction en ce qui concerne l'éclairage le chauffage naturel de bâtiment.

1.13.1 Les caractéristiques des vitrages

- La pénétration de la lumière naturelle au sein de l'habitation.
- La conservation de la chaleur au sein du logis.
- La répartition (ou la réduction) des rayons solaires dans les pièces de la maison [23].

1.13.2 Les exigences de la RT 2012

Surface de vitrage supérieure ou égale à 1/6 de la surface habitable (1 m² de surface vitrée pour 6 m² de surface habitable). Cette exigence sur les baies vitrées a pour objectif d'améliorer la part d'éclairage naturel de bâtiment.

Les vitrages ont aussi un impact significatif sur le coefficient réglementaire Bbio, qui évalue l'efficacité énergétique du bâtiment.

L'étanchéité de fenêtre devra également être soignée. Il est important de sélectionner des artisans maîtrisant cette exigence de perméabilité. En fin de chantier, un test de perméabilité à l'air sera obligatoirement réalisé. Le projet sera conforme à la RT2012 uniquement si le débit de fuite est inférieur à 0,6 m³/ (h.m²) [24].

1.13.3 Les coefficients caractérisant une fenêtre

Toute fenêtre est caractérisée par les 3 grandeurs

Le coefficient U_w, en W/ (m². K), définit la performance de l'isolation thermique de votre fenêtre.

Le coefficient S_w (sans unité), définit la capacité de votre fenêtre à transmettre la chaleur d'origine solaire à l'intérieur de votre local

Le coefficient TL (sans unité), définit la capacité de votre fenêtre à transmettre le rayonnement lumineux d'origine solaire à l'intérieur de votre local [24].

1.14 Calcul thermique

1.14.1 Le principe de travail

On va choisir un bloc de la résidence pour faire l'étude thermique en utilisant de logiciel "Archimist".

En premier lieu on va modéliser le bloc sans isolation et en deuxième étape on modélise le bloc avec l'isolation exigée par la réglementation thermique 2012, en dernier étape on va comparer les résultats de bloc avec l'isolation avec le bloc sans isolation, énergétiquement et économiquement.

1.14.2 Logiciel de Archimist

Archimist est un simulateur thermique interactif qui calcule le comportement d'un bâtiment [1].

Archimist permet de modéliser le plan d'une habitation, de décrire la composition des murs, des sols, et des plafonds, ainsi que celle de l'installation de chauffage.

A partir de ces éléments, le logiciel calcule immédiatement les déperditions du bâtiment et estime la consommation énergétique annuelle ainsi que le coût correspondant.

L'utilisateur peut alors décrire différents scénarios d'amélioration et les comparer.

Archimist possède plusieurs caractéristiques qui le distinguent des autres logiciels :

Il est très facile à utiliser : la modélisation des plans s'effectue à l'aide de la souris, et le paramétrage des matériaux en sélectionnant dans des listes déroulantes. A chaque modification du plan, les résultats s'affichent immédiatement. Une synthèse, sous forme de diagramme de performance énergétique, permet une lecture immédiate : [2].

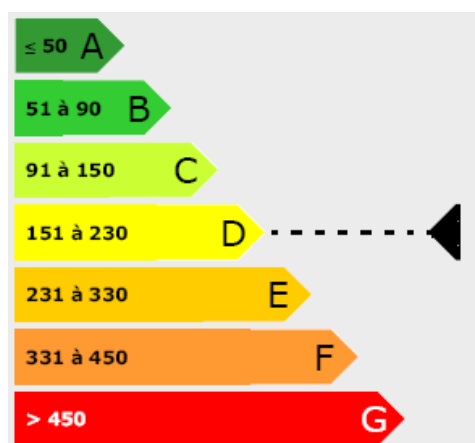


Figure 1-16. Diagramme de performance énergétique [2].

Il est puissant : il calcule la température pièce par pièce et gère les étages. Ceci permet, par exemple, d'ajuster la taille des radiateurs au confort souhaité pour chaque pièce, ou encore de cibler les choix d'isolation [2].

1.14.3 Les fonctions d'Archimist

À l'aide de la souris, on dessine les murs un par un. Les pièces sont détectées et créées de manière automatique en fonction de la disposition des murs. On peut facilement afficher sur le plan les autres éléments tels que les portes et fenêtres, les chaudières, les radiateurs et les bouches de ventilation grâce à un clic de souris.



Figure 1-17. Dessin du plan à l'échelle [3].

Code couleur pour les compositions. L'édition des listes de matériaux est rapide : Pour décrire la composition d'un mur, d'un sol ou d'un plafond, on utilise une liste de matériaux et on lui donne une couleur. On peut ensuite réutiliser cette composition sur un autre mur, sol ou plafond, sans qu'il soit nécessaire de décrire à nouveau la liste. Vous pouvez simplement choisir la couleur qui a été précédemment affectée. Une fois la liste de matériaux éditée, les modifications sont automatiquement transmises à tous les éléments impliqués dans la composition. Avec le code couleur, l'édition des matériaux est rapide et on identifie en un clin d'œil les éléments de même composition.

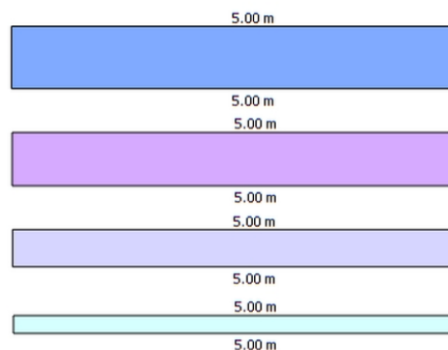


Figure 1-18. Code couleur pour les compositions [3].

Dessin des murs porteurs : Le bâtiment peut comporter plusieurs étages. Chaque étage est alors représenté sur un plan séparé, mais des facilités d'édition permettent de dessiner tous les étages simultanément : les murs dits porteurs (sélectionnés en rouge sur le plan) sont dessinés à tous les étages en une opération. Ainsi, un bâtiment de 10 étages est dessiné aussi vite qu'un bâtiment de plain-pied.

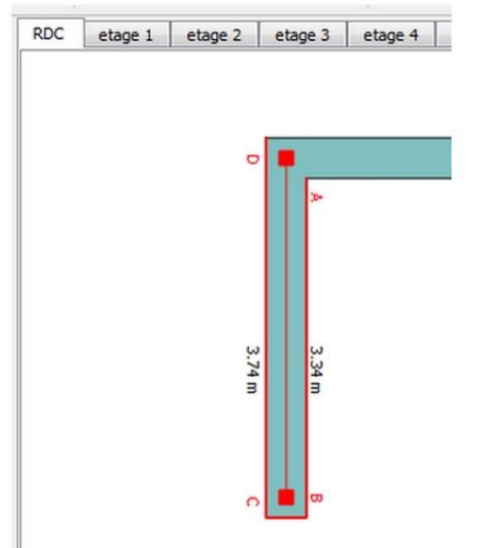


Figure 1-19. Dessin des murs porteurs [3].

1.14.4 Les avantages et les inconvénients d'Archimist

1.14.4.1 *Avantages*

Facilité de dessin : Archimist permet de modéliser facilement les plans à l'échelle, avec des murs, portes, fenêtres, etc.

Gestion des matériaux : Il offre une édition rapide des listes de matériaux avec un code couleur pour les compositions.

Gestion de projets : Les modèles peuvent être partagés entre utilisateurs, favorisant la collaboration.

Animation graphique : Les problèmes sont mis en évidence, permettant de détecter les points problématiques.

Optimisation de la ventilation : Archimist calcule les flux d'air et le taux de ventilation des pièces en fonction de la position des bouches d'aération [6].

1.14.4.2 *Inconvénients*

Complexité : Comme tout logiciel professionnel, il peut nécessiter un temps d'apprentissage.

Limitations : Certaines fonctionnalités avancées peuvent manquer par rapport à d'autres logiciels plus spécialisés.

Dépendance technologique : L'utilisation d'un logiciel implique une dépendance à la technologie et aux mises à jour [6].

1.14.5 Le calcul thermique

1.14.5.1 *Modélisation sur Archimist*

Nous avons choisi le premier bloc du bâtiment pour faire l'étude thermique et parce que le cinquième étage du bâtiment a une terrasse accessible.

Première étape dans la modélisation est d'entrer les données de projet comme suit.

The screenshot shows a dialog box titled "Description du projet" with the following fields:

- Configuration de l'habitation:**
 - Usage: Logement
 - Nombre d'étages: Rez de chaussée et cinq étages
 - En dessous: Sous sol
 - Au dessus: Terrasse
- Localisation:**
 - Pays: France
 - Code postal: 13000
 - Altitude: <= 400 m

Buttons for "OK" and "Annuler" are at the bottom right.

Figure 1-20. Les caractéristiques du projet.

The screenshot shows the "Inspecteur d'objets" dialog box with the following settings:

- Longueur de: A, 1.15 m
- Hauteur: 3.06 m
- Epaisseur: 0.30 m (highlighted with a red box)

Under the "Composition" section, there are two buttons: "Existante" and "Nouvelle". Below them is a table with the following data:

Ach.	Materiau	Epais.(m)	Prix(Eur, ^
<input checked="" type="checkbox"/>	Brique creuse de 15 cm	0.15	18
<input checked="" type="checkbox"/>	Lame d'air < 0,7 cm	0.05	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Brique creuse de 10 cm	0.1	18

Figure 1-21. Mur extérieur 0.3 m.

Inspecteur d'objets

Longueur de A 3.91 m

Hauteur 3.06 m

Epaisseur 0.10 m

Composition

Existante Nouvelle

Ach.	Matériau	Epais.(m)	Prix(Eur)
<input checked="" type="checkbox"/>	Brique creuse de 10 cm	0.1	18

Figure 1-22. Mur intérieur 0.1 m.

Inspecteur d'objets

Longueur de A 3.74 m

Hauteur 3.06 m

Epaisseur 0.20 m

Composition

Existante Nouvelle

Ach.	Matériau	Epais.(m)	Prix(Eur)
<input checked="" type="checkbox"/>	Brique creuse de 20 cm	0.2	18

Figure 1-23. Mur intérieur 0.2 m.

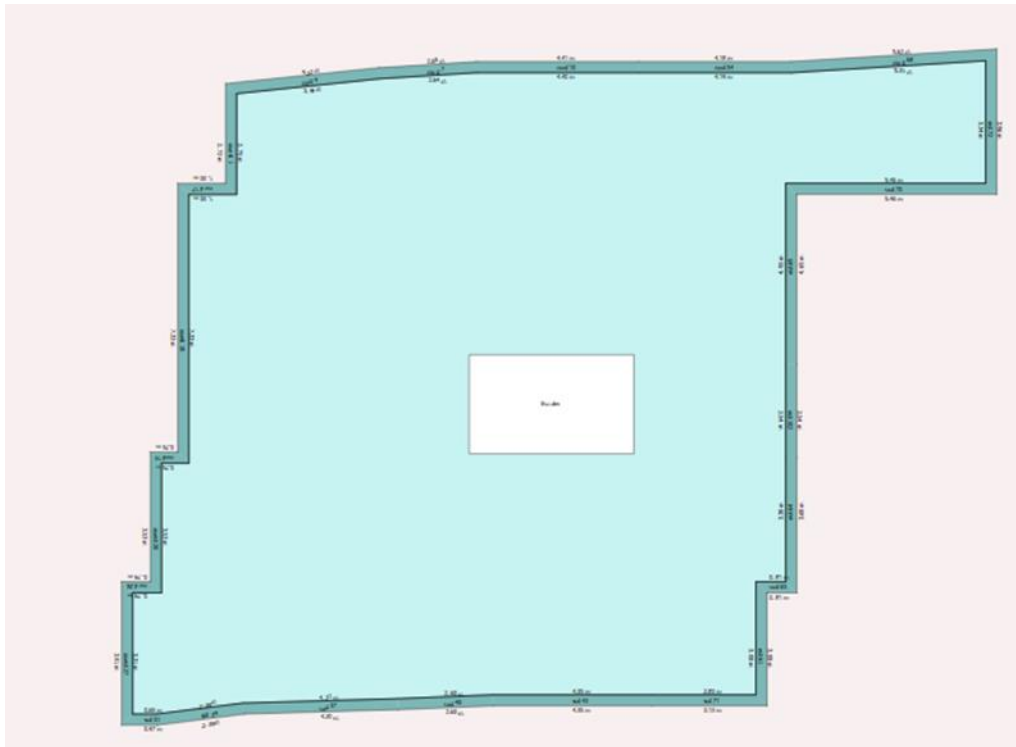


Figure 1-24. S.sol.

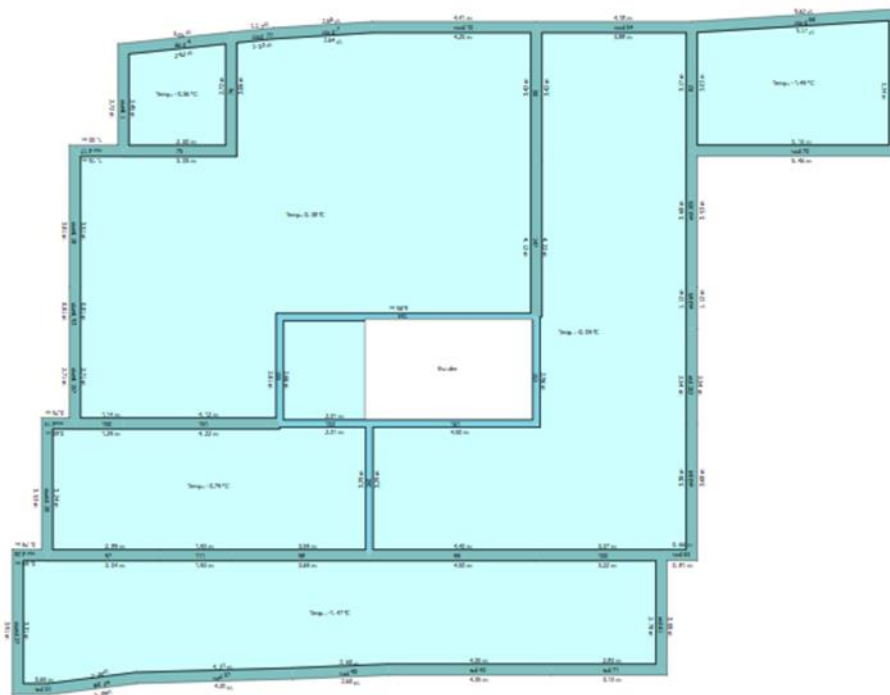


Figure 1-25. RDC.

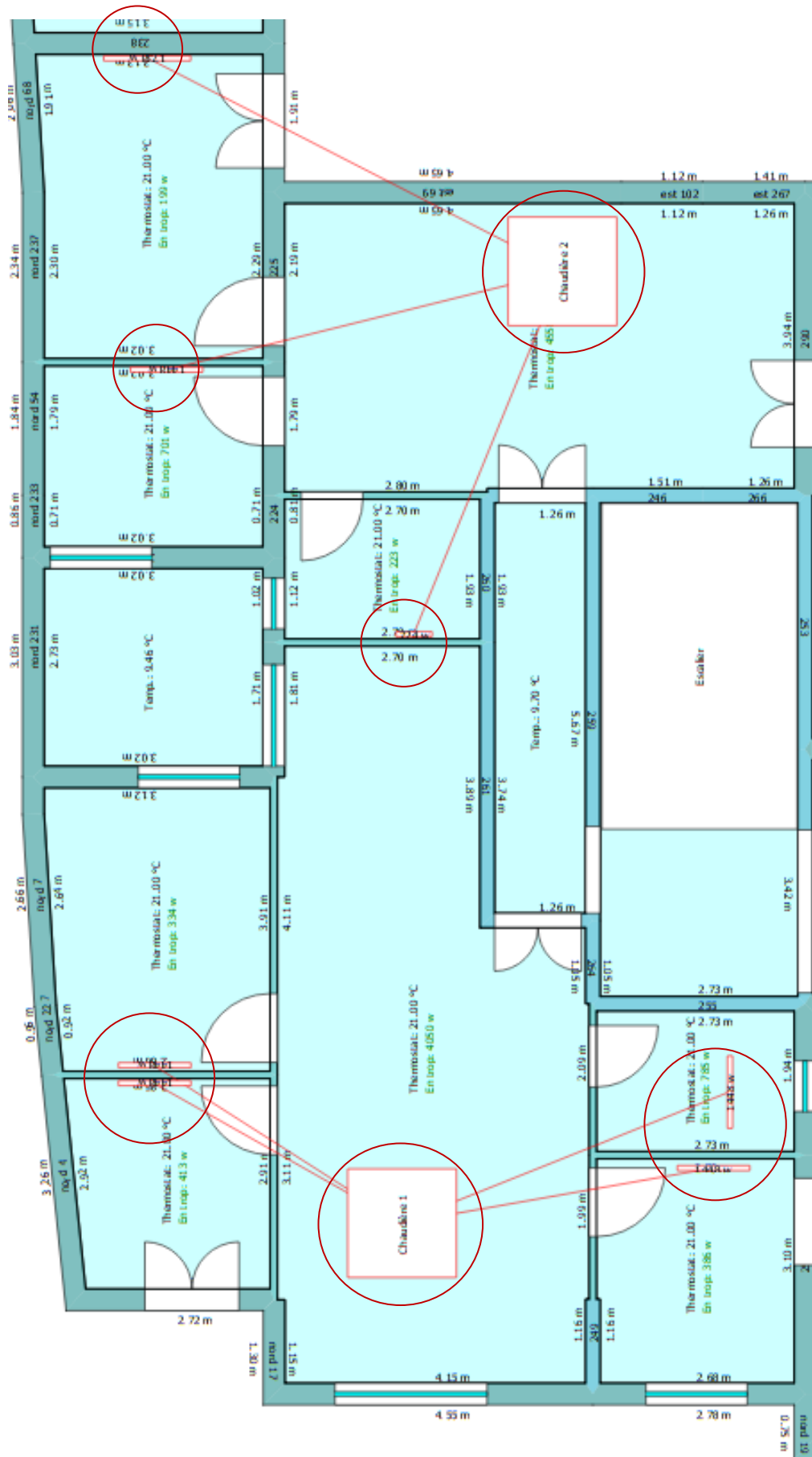


Figure 1-28. sinariou de chauffage.

1.14.6 La résistance thermique

La résistance thermique est une mesure de la capacité d'un matériau à résister au flux de chaleur. Elle est définie comme le rapport entre l'épaisseur d'un matériau (e) et la conductivité thermique (λ). La résistance thermique est exprimée en ($m^2 \cdot K/W$).

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Donc la résistance thermique d'un élément composé de plusieurs couches est égale la somme des résistances thermiques de chacune couche qui le composant.

$$R_{total} = \sum_1^i R_i$$

1.14.6.1 Le mur

Tableau 1-4. La résistance thermique de mur sans isolation.

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/k.m)	La résistance thermique ($m^2 \cdot K/W$)
Brique creuse	0.15	0.5	0.3
Lame d'air	0.05	0.025	2
Brique creuse	0.1	0.3	0.33

$$\sum R = 0.5 + 2 + 0.33 = 2.83 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)$$

$R < R_{EXG} \leftrightarrow 2.83 < 4$... **Non veriffee**

1.14.6.2 Le toit

Tableau 1-5. La résistance thermique de toit sans isolation thermique.

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/k.m)	La résistance thermique ($m^2 \cdot K/W$)
Hourdis en béton	0.06	2.4	0.025
	0.1	0.025	4
Dalle pleine armé	0.04	2	0.02
Gravillon	0.05	0.5	0.1
Enduit en plâtre	0.02	0.25	0.08
Etanchéité multicouche	0.02	0.038	0.53

$$\sum R = 0.025 + 4 + 0.02 + 0.1 + 0.08 + 0.53 = 4.76 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)$$

$R < R_{EXG} \leftrightarrow 4.76 < 8 \dots$ **Non verifée**

1.14.6.3 Sol

Tableau 1-6. La résistance Thermiques de sol sans isolation Thermiques.

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/k.m)	La résistance thermique (m ² .K/W)
Hourdis en béton	0.06	2.4	0.025
	0.1	0.025	4
Dalle pleine armé	0.04	2	0.02
Revêtement en carrelage	0.02	1.3	0.15
Enduit en plâtre	0.02	0.25	0.08
Mortier de pose	0.02	1.28	0.016
Lit de sable	0.02	0.25	0.08
Cloisons (plaque de plâtre BA13)	0.1	0.25	0.4

$$\sum R = 0.025 + 4 + 0.02 + 0.15 + 0.08 + 0.016 + 0.08 + 0.4 = 4.77 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)$$

$R < R_{EXG} \leftrightarrow 4.77 > 4 \dots$ **verifée**

La structure avec isolation initiale sur le logiciel Archimist est validé mais avec les exigences de règlementation RT2012 n'est pas valide.

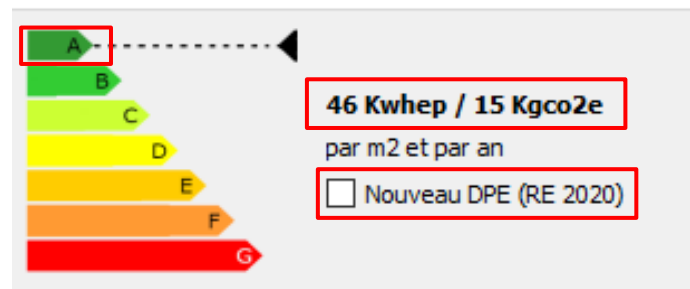


Figure 1-29. Diagnostic de performance énergétique avec RT2012.



Figure 1-30. Diagnostic de performance entéristique avec RE2020.

Bilan énergétique		Bilan économique	
Energie consommée :	37885 kwh / an	Coût annuel :	6504 Euros
Energie fournie :	33339 kwh/an	Investissement :	45636 Euros
Energie requise :	33339 kwh/an	Prix revient / 5 ans :	78155 Euros
Bilan :	0 kwh/an	Prix revient / 10 ans :	110674 Euros

Figure 1-31. Les bilans énergétique et économique "Sans isolation thermique".

Commentaires :

La figure 1-31 représente le bilan énergétique et économique obtenue de logiciel Archimist après avoir choisi le scénario de chauffage idéal.

Le bilan énergétique indique la valeur de l'énergie consomme, Energie fournie et énergie requise (kWh/an).

Le bilan économique indique le coût annuel, la valeur d'Investissement et le prix revient pour 5ans et 10 ans (Tous les prix en Euro).

Donc il faut ajouter l'isolation de 10 cm de polystyrène expansé pour le toit, sol et les murs, pour les murs, nous éliminons les briques de 10 cm et insérons 10 cm de polystyrène et de Placoplatre pour une esthétique.

1.14.6.4 Le mur

Tableau 1-7. La résistance thermique de mur avec l'isolation thermique.

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/k.m)	La résistance thermique (m².K/W)
Brique creuse	0.15	0.5	0.3
Polystyrène (EPS)	0.1	0.03	3.33
Placoplatre BA13	0.1	0.25	0.4

$$\sum R = 0.5 + 3.33 + 0.4 = 4.03 \left(m^2 \cdot \frac{K}{W} \right)$$

$R < R_{EXG} \leftrightarrow 4.03 > 4 \dots$ **Verifée**

1.14.6.5 Toit

Tableau 1-8. La résistance thermique de toit avec l'isolation thermique.

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/k.m)	La résistance thermique (m ² .K/W)
Hourdis en béton	0.06	2.4	0.025
	0.1	0.025	4
Dalle pleine armé	0.04	2	0.02
Polystyrène (EPS)	0.1	0.03	3.33
Gravillon	0.05	0.5	0.1
Enduit en plâtre	0.02	0.25	0.08
Etanchéité multicouche	0.02	0.038	0.53

$$\sum R = 0.025 + 4 + 0.02 + 3.33 + 0.1 + 0.08 + 0.53 = \mathbf{8.085} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$R < R_{EXG} \leftrightarrow 8.085 > 8 \dots$ **verifée**

1.14.6.6 Sol

Tableau 1-9. La résistance thermique de sol avec l'isolation.

Couche	Epaisseur (m)	Conductivité thermique (W/k.m)	Résistance thermique (m ² .K/W)
Hourdis en béton	0.06	2.4	0.025
	0.1	0.025	4
Dalle pleine armé	0.04	2	0.02
Revêtement en carrelage	0.02	1.3	0.15
Enduit en plâtre	0.02	0.25	0.08
Polystyrène (EPS)	0.1	0.03	3.33
Mortier de pose	0.02	1.28	0.016
Lit de sable	0.02	0.25	0.08
Cloisons (plaque de plâtre BA13)	0.1	0.25	0.4

$$\sum R = 0.025 + 4 + 0.02 + 0.15 + 0.08 + 3.33 + 0.016 + 0.08 + 0.4 = \mathbf{8.1} \left(\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right)$$

$R < R_{EXG} \leftrightarrow 8.1 > 4 \dots \text{verifée}$

L'organigramme diagnostique la performance énergétique après l'ajout du matériau isolant

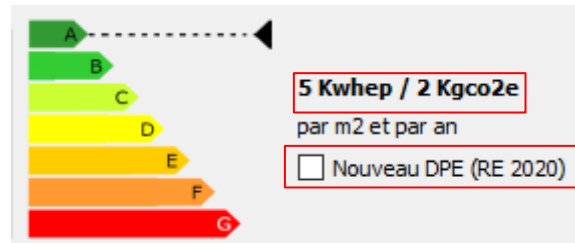


Figure 1-32. Diagnostic de performance énergétique avec RT2012 après l'ajout du matériau isolant.

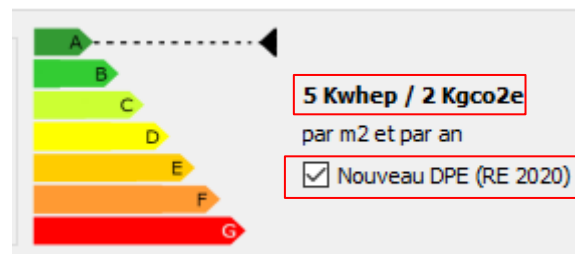


Figure 1-33. Diagnostic de performance énergétique avec RE2020 après l'ajout du matériau isolant.

Commentaire :

On note une diminution remarquable de la consommation d'énergie primaire de 46 Kwhep à 5 Kwhep par 89,13%.

La quantité de gaz à effet de serre est diminué de 9 Kgco2e à 2 Kgco2e par 77,78%.

Bilan énergétique		Bilan économique	
Energie consommée :	4425 kwh / an	Coût annuel :	760 Euros
Energie fournie :	3894 kwh/an	Investissement :	425051 Euros
Energie requise :	3894 kwh/an	Prix revient / 5 ans :	428849 Euros
Bilan :	0 kwh/an	Prix revient / 10 ans :	432648 Euros

Figure 1-34. Les bilans énergétique et économique "Avec isolation thermique".

Commentaires :

La figure 1-34 représente le bilan énergétique et économique obtenue de logiciel Archimist Après avoir choisi le scénario de chauffage idéal.

Le bilan énergétique indique la valeur de l'énergie consomme, Energie fournie et énergie requise (kWh/an).

Le bilan économique indique le coût annuel, la valeur d'Investissement et le prix revient pour 5ans et 10 ans (Tous les prix en Euro).

1.14.7 Vérification de la surface de vitrage

Pour être conforme à la réglementation thermique RT2012, la surface de vitrage d'un bâtiment doit représenter au moins 1/6 de la surface habitable.

La vérification de la surface a été effectué pour l'appartement le plus grand (F4/02).

$$Sh=83.685 \text{ m}^2$$

Tableau 1-10. Calcul de la surface de vitrage.

Ouverture	N de répétition	Largeur(m)	Hauteur(m)	Surface(m ²)
S ₁	1	1.3	2.05	2.665
S ₂	3	0.95	2.05	1.9475
S ₃	1	0.85	2.05	1.7425
S ₄	2	1.2	2.05	2.46
S ₅	2	1.4	1.5	2.1
S ₆	1	2.1	1.5	3.15
S ₇	1	0.7	1.5	1.05
Surface totale (m²)		23.57		

$$Sv \geq \frac{1}{6} Sh 23.57 \geq 13.9475 \dots \text{Vérifiée}$$

Donc le nombre des ouvertures sont suffisant pour cet appartement.

1.15 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exploré le concept de l'amélioration thermique du bâtiment en connaissant l'histoire de la réglementation thermique et notre étude s'est étendue à la RT2012. Aborder les matériaux isolants ainsi que les méthodes d'isolation et l'importance de tout cela dans l'amélioration thermique du bâtiment et la projection sur notre construction en utilisant logiciel *Archimist* qui nous a donné une vue globale de l'isolation thermique et du scénario de chauffage approprié du bâtiment en calculant le bilan énergétique et la quantité de gaz à effet de serre émis en plus du calcul du bilan économique.

Après avoir comparé les résultats d'un bâtiment sans isolation avec ceux d'une isolation en polystyrène, nous avons conclu que l'isolation est nécessaire pour notre projet afin d'assurer le confort thermique par une isolation thermique appropriée et de contribuer également à réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre qui sont la problématique de notre sujet.

Pour l'isolations des murs nous recommandons le type d'isolation par intérieur par ce qu'elle est moins coûteuse et plus simple à mettre en œuvre, N'affecte pas l'aspect extérieur du bâtiment et peut être réalisée pièce par pièce.

Nous recommandons les portes fenêtres en PVC parce que sont un choix pratique, durable et esthétique et également connu pour leur excellente représentation thermique.

La détection et traitement des ponts thermiques après les travaux de l'isolation est nécessaire pour amélioration de la performance énergétique et confort thermique.

Chapitre 2 . Présentation du projet

2.1 Introduction

En ce qui concerne la conception et l'amélioration des structures, il est crucial que l'ingénieur civil prenne en considération diverses normes, notamment en ce qui concerne la sécurité, la durabilité et l'efficacité économique. Ces critères ne sont atteints que dans plusieurs conditions, notamment une conception efficace, une sélection optimale des matériaux de construction, etc.

Dans ce chapitre, nous aborderons les différentes caractéristiques de ce bâtiment, la conception structurelle plus adaptée et le type des matériaux utilisés.

2.2 Présentation de l'ouvrage

L'ouvrage est une résidence à plusieurs étages (R+5) avec un parking en sous-sol. Il est composé de 24 appartements de type F3 et de 4 appartements de type F4. Il est situé dans l'ILOT N 274, de la section 03 de Hai Ouled Larbi à Hraoua, Rouiba, Alger.

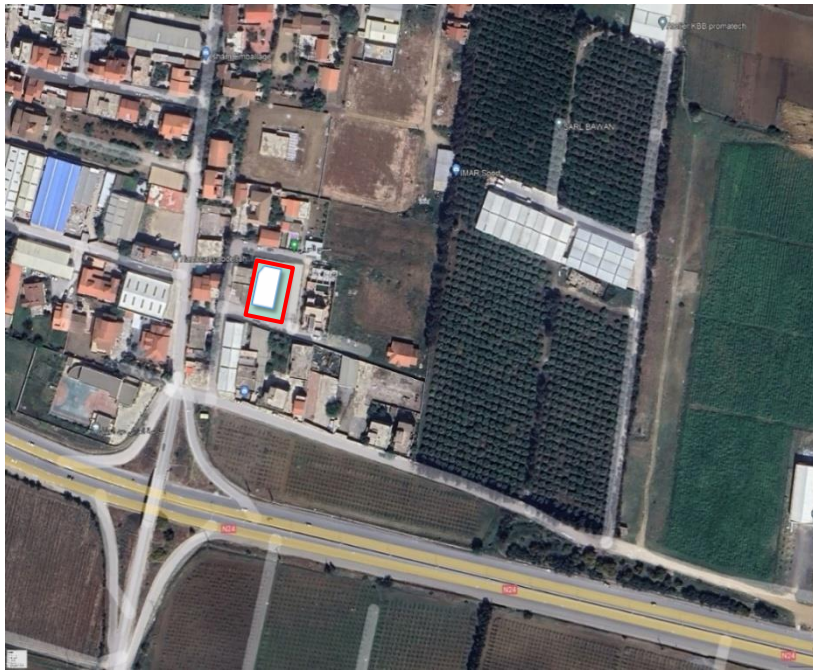


Figure 2-1. Localisation du projet

Cette région est classée en zone III <Sismicité élevée> selon le règlement parasismique algérien "RPA 99 version 2003".

2.3 Caractéristique géométrique du bâtiment

Les caractéristiques géométriques sont représentées dans les tableaux suivants :

Tableau 2-1. Les dimensions en élévation

La hauteur totale du bâtiment	19.55 m
La hauteur de s-sol	2.90 m
La hauteur de Rez-de chaussé	3,06 m
La hauteur de l'étage courant	3,06 m

Tableau 2-2. Les dimensions en plan

La largeur de construction	19.46 m
La longueur de construction	48.74 m

2.3.1 Les vues en 3D



Figure 2-2. Façade principe



Figure 2-3. Façade principe en 3D



Figure 2-4. Façade Postérieure



Figure 2-5. Vue sur la terrasse



Figure 2-6. Façade Postérieure.

2.4 Caractéristique géométrique du sol

D'après le rapport géotechnique de sol :

Notre projet repose sur un sol formé essentiellement d'une argile limoneuse peu compacte de 6.8m d'épaisseur avec une présence de cailloux au sommet, surplombant une couche d'argile marneuse plus compacte de 1.00m d'épaisseur, le tout reposé sur une alternance de sables fin et de blocs de grès de 4.00m d'épaisseur [1]

- La contrainte du sol est $\sigma_{\text{sol}} = 1.8 \text{ bars}$
- L'ancrage serait de 2.20 m à partir de la cote du terrain actuel
- Le classement de site selon DTR BC 2-48 et RPA99(2003) : *S3 (site meuble)*.

2.5 Le comportement climatique en Alger

La wilaya d'Alger bénéficie d'un climat méditerranéen, avec des étés chaude et secs et des hivers doux et humides.

Les températures et humidités sont variées considérablement entre l'été et l'hiver :

En été : Les températures moyennes maximales en été sont d'environ 30°C en août, avec des minimales autour de 20°C [38].

L'humidité relative moyenne en été est d'environ 60%1. Les journées peuvent être assez humides, surtout en juillet et août [38].

En hiver : les températures moyennes maximales sont d'environ 15°C en janvier, avec des minimales autour de 6°C [39].

L'humidité relative moyenne est plus élevée, autour de 70%1. Les mois de décembre et janvier sont souvent les plus humides [38].

2.6 Conception structurel

Les éléments de structure sont divisés en deux grands groupes : les éléments structuraux et les éléments non structuraux

Eléments structuraux : sont divisés en deux catégories

Elément principaux : élément porteur faisant partie du système de contreventement (poutres, poteaux, planchers, voiles, mur ...).

Eléments secondaires : élément porteur ne faisant pas partie du système de contreventement (poteaux, murs...).

Eléments non-structuraux : Eléments n'ayant pas de fonction porteuse ou de contreventement (cloisons, acrotères, auvents).

2.6.1 Système de contreventement

La structure intègre un système de contreventement mixte comprenant à la fois des voiles et des portiques, conforme aux dispositions du règlement parasismique algérien "RPA 99 / version 2003". Son objectif est d'assurer la stabilité globale de la structure face aux charges verticales et horizontales.

2.6.2 Les planchers

Les planchers sont des éléments structuraux horizontaux qui séparent les niveaux d'un bâtiment et fournissent une surface de marche ou de support. On distingue généralement deux types de planchers : les planchers en corps creux, qui sont composés d'éléments préfabriqués comportant des vides ou des alvéoles, et les dalles pleines, qui sont des plaques massives sans vides.

2.6.3 Le déplacement entre étages

Les escaliers et les ascenseurs jouent un rôle très important dans la conception et la fonctionnalité des bâtiments pour occupants de se déplacer efficacement à travers les différents niveaux d'un bâtiment.

2.6.4 Maçonneries

Les maçonneries sont des structures construites en assemblant des éléments tels que des briques, des blocs de béton ou des pierres avec du mortier pour former des murs ou des cloisons.

Une cloison simple a une épaisseur de 10 cm. Cela signifie qu'elle est composée d'un seul mur d'une épaisseur de 10 cm.

Une maçonnerie à double parois à une épaisseur totale de 30 cm. Cela signifie qu'elle est constituée de deux murs parallèles séparés par un vide ou un isolant, le premier mur d'épaisseur de 15 cm et le deuxième d'épaisseur de 10 cm.

2.6.5 L'acrotère

Au niveau de la terrasse, le bâtiment est entouré d'un acrotère en béton armé de 70cm de hauteur et de 15 cm d'épaisseur.

2.6.6 Revêtement

Un revêtement désigne une couche appliquée sur une surface dans le but de la protéger, d'améliorer son aspect esthétique ou de lui conférer des propriétés spécifiques.

Les plafonds seront recouverts de plâtre.

Les murs extérieurs seront enduits de ciment.

Les planchers seront carrelés.

Une couche d'étanchéité multicouche imperméable sera appliquée sur le plancher terrasse pour prévenir toute infiltration d'eau de pluie.

Prévenir toute infiltration d'eau de pluie.

2.6.7 Isolation

L'isolation consiste à protéger un espace contre les variations de température, les bruits, l'humidité ou les rayonnements. Elle peut être thermique (contre la chaleur ou le froid), acoustique (contre le bruit), contre l'humidité ou les rayonnements.

Isoler, c'est établir une barrière pour éviter le passage du froid ou du chaud par les parois.

Isolation thermique et phonique réalisée en utilisant des matériaux tels que la laine de roche, la laine minérale et la Placophonique dans les murs et plafonds, Toits et combles Sols...

2.7 Caractéristiques des matériaux

2.7.1 Le béton armé

Le béton armé est un matériau de construction composite composé de béton et d'armatures en acier. Les armatures en acier, généralement sous forme de barres ou de treillis, sont incorporées dans le béton pour renforcer sa résistance à la traction. Cette combinaison permet au béton armé de résister efficacement aux charges de compression et de traction, le rendant adapté à une utilisation dans une variété de structures telles que les bâtiments, les ponts, les barrages et les fondations.

2.7.1.1 Béton

Est un mélange homogène composé de ciment, gravillons, sable et l'eau de gâchage. Le béton est connu par leur haut performance à la compression de valeur 25 à 40 MPa, par contre sa faible résistance à la traction de 1/10 de sa résistance à la compression exige d'être renforcé par des aciers dans les zones tendues et le matériau résultant est appelé le béton armé.

2.7.2 Les formulations requises pour effectuer le calcul du béton.

2.7.2.1 La résistance à la compression

Tableau 2-3 Les relations de résistance à la compression pour le béton pour $f_{c28} \leq 40 \text{ MPa}$

Le durée (jours)	La relation correspondante
$j \leq 28j$	$\frac{j}{4.76 + 0.83j} f_{c28}$
$j < 28j$	$1.1 f_{c28}$

2.7.2.2 La résistance à la traction

Tableau 2-4. La relation de résistance à la traction pour le béton

La résistance (MPa)	La relation correspondante
$f_{cj} \leq 60$	$f_{tj} = 0.6 + 0.06 f_{cj}$

2.7.2.3 Module de déformation longitudinale du béton

Modules de déformation longitudinale On distingue les modules de Young Instantané E_{ij} et différé E_{vj} .

Module de déformation instantanée E_{ij} : Le module différé sera utilisé pour prendre en compte artificiellement les déformations de fluage du béton. Elle représente environ deux fois les déformations instantanées. Le module différé est :

$$E_{ij} = 3.E_{vj}$$

Module de déformation différée E_{vj} : Cette approche simplifie les choses en considérant que le fluage d'un matériau ne suit pas la loi de Hooke pour les matériaux élastiques. Cependant, elle permet quand même d'estimer les déformations cumulées résultant de la déformation instantanée élastique et du fluage à long terme.

Le module de Young différé du béton est déterminé par sa résistance à la compression :

- $E_{vj} = 3700 f_{cj}^{\frac{1}{3}} \dots \dots \dots \text{si } f_{c28} \leq 60 \text{ MPa}$

2.7.2.4 Coefficient de Poisson (ν)

Le coefficient de Poisson sera pris égal à $\nu=0$ pour un calcul de sollicitations à l'ELU et à $\nu = 0.2$ pour un calcul de déformations à l'ELS

2.7.2.5 Contraintes admissibles :

En se référant aux règlements BAEL 91 et CBA93 ; on distingue deux états limites :

2.7.2.6 Etat limite ultime « E. L. U »

C'est un état où le bâtiment n'est plus utilisable et où le déplacement entraîne la ruine de l'ouvrage. La contrainte limite, notée f_{bu} est donnée par :

- $f_{bu} = \frac{0.85}{\theta \cdot \gamma_b} f_{cj} \quad [\text{MPa}]$

Tableau 2-5. Les valeurs de γ_b et θ

Le symbole	La valeur
γ_b	1.5 (Cas de situations durables ou transitoires)
γ_b	1.15 (Cas de situations accidentelle)
θ	1 (durée d'application des charges > 24 heures)
θ	0.85 (Pour une durée < 1heure)

2.7.2.7 Etat limite de service « E. L. S »

Etat 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.

Le bâtiment doit vérifier les trois critères suivants :

- Compression du béton.
- L'ouverture des fissures.
- Déformation des éléments de la construction.

La contrainte limite de service est donnée par :

$$\sigma_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} \quad [\text{MPa}]$$

2.7.2.7.1 Contraintes admissibles de traction :

Cette contrainte est considérée comme négligeable car le béton est un matériau de très faible résistance à la traction par rapport à celle de la compression.

2.7.2.7.2 Contraintes admissibles de cisaillement :

Cette contrainte dépend du type de fissuration et de la résistance à la compression à 28 jours ainsi que d'inclinaison des armatures transversales, donc pour des armatures droites on a :

Tableau 2-6 Le type de fissuration et τ_u

Type de fissuration	τ_u (MPa)
Fissuration peu nuisible	$\text{Min} \left(\frac{0,2f_{cj}}{\gamma_b}, 5\text{MPa} \right)$
Fissuration préjudiciable ou très préjudiciable	$\text{Min} \left(\frac{0,15f_{cj}}{\gamma_b}, 4\text{MPa} \right)$

2.7.3 Acier

L'acier est un matériel distingué par leur haute performance à la traction. Il peut prendre avec plusieurs formes cela dépend de son utilisation, il est possible que sa surface externe soit lisse ou rugueuse.

Nous utiliserons les types d'aciers suivants :

Tableau 2-7. Les différents types d'aciers utilisés et leurs variations

Type	Position	Nuance d'acier
Haute adhérence (HA)	Armatures longitudinales	FeE 400
Rond lisse (RL)	Armatures transversales	FeE 235
Treillis soudé	Table de compression	TLE 520

Le module d'élasticité longitudinale de l'acier est : $E_s = 2.10^5$ MPa.

2.7.3.1 Les formulations requises pour effectuer le calcul de l'acier :

- Contraintes limites :

2.7.3.1.1 Etat limite ultime « E. L. U »

La contrainte limite de traction d'acier est donnée par :

$$\sigma_s = \frac{f_e}{\gamma_s} \quad [\text{MPa}]$$

Avec ;

$$\gamma_s = 1.15 \text{ (Courante)}$$

$$\gamma_s = 1 \text{ (Pour les situations accidentielles)}$$

2.7.3.1.2 Etat limite de service « E. L. S »

La contrainte limite de traction de l'acier dépend de type de fissuration, pour cela trois cas sont à distinguer.

Pour la vérification $\sigma_s \leq \sigma$, il est nécessaire de calculer la valeur de σ en fonction du type de fissuration.

Tableau 2-8. σ en fonction de type de fissuration

Type de fissuration	σ (MPa)
Fissuration peu nuisible	Pas de vérification
Fissuration préjudiciable	$\text{Min} \left(\frac{2}{3} f_e, 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right)$
Fissuration très préjudiciable	$\text{Min} \left(0,5 f_e, 90 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} \right)$

La valeur de η est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 2-9. La valeur de η

Type d'acier	η
Rond lisse	1
Haute adhérences (HA)	1.6

2.8 Hypothèses de calcul

Le calcul en béton armé est basé sur les hypothèses suivantes :

2.8.1 À l'état limite ultime "ELU"

Les hypothèses fondamentales sont :

- Le béton tendu est négligé.
- Les sections planes restent planes après déformation (Hypothèse de Bernoulli).
- Pas de glissement relatif entre l'acier et le béton.
- Raccourcissement unitaire du béton est limité à 3.5 ‰ en flexion simple ou composée et 2‰ en compression simple.
- L'allongement unitaire de l'acier est limité à 10‰ pour tous les cas.
- Le diagramme linéaire de déformation de la section passe par l'un des trois pivots A.B.C

2.8.2 À l'état limite de service (ELS)

Les hypothèses 1-2-3 à l'ELU sont conservées :

Le béton et l'acier sont considérés comme matériaux linéairement élastique.

Par convention le rapport du module d'élasticité longitudinale de l'acier et celui du béton

à pour $\eta = \frac{\sigma_b}{\sigma_s} = 15$

2.9 Conclusion

Ce chapitre définit la résidence à étudier, indique sa localisation géographique et le classifie selon la réglementation parasismique algérien, et décrit les caractéristiques de sol et ses caractéristiques géométriques et se architecturales, ainsi que les bases du calcul structurel et les fondements du calcul du béton armé dont nous avons besoin dans le prochain chapitre.

Chapitre 3 . Optimisation structurelle

3.1 Introduction

L'optimisation structurelle consiste à utiliser des techniques et des outils qui répondent aux exigences de charge et de fonctionnalité. Elle doit obligatoirement tenir compte de diverses normes, notamment en matière de sécurité, de durabilité et d'efficacité économique. Cela implique le respect de réglementations telles que le BAEL91, le CBA 93 et le RPA 99 (version 2003).

Ce chapitre comprend pré-dimensionnement des éléments, évaluation des charges, étude dynamique à l'aide de Logiciel de Robot analyses structurelle version 2019, et le calcul des ferraillements des différents éléments.

3.2 Les étapes de calcul

Pour réaliser un calcul de manière efficace de tous les projets, l'ingénieur civil doit passer par ces étapes :

1. Lecture les plans d'architecture : C'est une étape fondamentale pour identifier le type d'ossature, la position des éléments porteurs et le nombre d'étages...
2. Collecte et identification des données essentielles pour l'analyse et la classification du projet.
3. Évaluation des charges pour les planchers d'étage, la terrasse, les murs extérieurs, les escaliers et l'acrotère en utilisant le DTR des charges d'exploitation et permanentes.
4. Prés-dimensionnement des éléments porteurs : poutres, poteaux, planchers, voiles...
5. Modalisation de structure, étude dynamique et détermination de la sollicitation (N, T, M)
6. Calcul des ferraillements des éléments (Poteaux-Poutres-Escalier-Voiles-Acrotères).

3.3 Pré dimensionnement des éléments et évaluations des charges

3.3.1 Choix du sens porteur

Afin de simplifier les choses, nous avons séparé la structure en utilisant le joint de dilatation, comme le montre la figure.

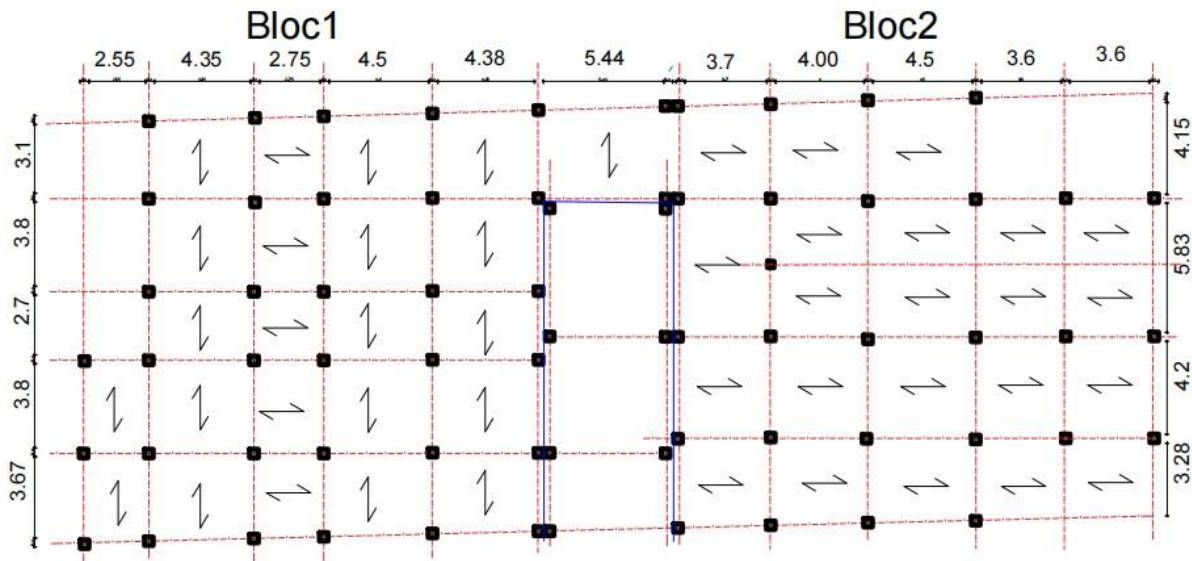


Figure 3-1.Schéma de sens porteur.

3.3.2 Pré dimensionnement des poutres

Une poutre en béton armé est essentiellement une longue pièce de béton renforcée avec des barres d'acier à l'intérieur. Elle est utilisée dans la construction pour soutenir des charges. En combinant la solidité du béton avec la résistance à la traction de l'acier, les poutres en béton armé peuvent supporter de lourdes charges sur de grandes distances, ce qui en fait un élément essentiel dans la construction de bâtiments, de ponts et d'autres structures.

3.3.2.1 Poutres principales

Selon les conditions de la flèche

$$\checkmark h_t = \frac{L}{10} \div \frac{L}{15}$$

$$\checkmark b \geq \frac{h_t}{2}$$

$$\checkmark 0.3h_t \leq b \leq 0.7h_t$$

✚ Bloc 1 :

Tableau 3-1 Les dimensions de h_t et b pour les poutres principales

Longueur (cm)	h_t (cm)	b (cm)
5.44	40	30

✚ Bloc 2 :

Tableau 3-2 Les dimensions de h_t et b pour les poutres principales

Longueur (cm)	h_t (cm)	b (cm)
5.83	40	30

Selon le RPA :

Tableau 3-3. Les conditions de RPA

Les conditions	Bloc1	Bloc2	Observation
L	5.44	5.83	
$h_t \geq 30 \text{ cm}$	40	40	Ok
$b \geq 20 \text{ cm}$	30	30	Ok
$\frac{h_t}{b} < 4$	1.33	1.33	Ok

3.3.2.2 Poutres secondaire (Chainage)

- Selon les règlements : $h \geq \frac{L}{15}$ et $b \geq \frac{h}{2}$

Tableau 3-4. Les dimensions de h et b pour les poutres secondaires

	Bloc 1	Bloc 2
	3.8 m	4.5 m
h (cm)	30	30
b (cm)	20	20

Selon le RPA :

Tableau 3-5. Les conditions de RPA

Les conditions	Bloc 1	Bloc 2	Observation
L	3.8m	4.5 m	
$h_t \geq 30 \text{ cm}$	30	30	Ok
$b \geq 20 \text{ cm}$	20	20	Ok
$\frac{h_t}{b} < 4$	1.5	1.5	Ok

3.3.3 Pré dimensionnement des planchers

Les planchers sont des éléments horizontaux surfacique, sont principaux rôles consistant à :

- ✓ Sépare les étages de la construction.
- ✓ Garantir l'isolation thermique et phonique.
- ✓ Supporter les charges et les surcharges.
- ✓ Améliorer la résistance aux efforts horizontaux de l'ossature.
- ✓ Assurer l'étanchéité d'ossatures.

- ✓ Liaison des éléments structuraux verticaux ce qui contribue à une amélioration de leur stabilité et rigidité globales.

3.3.3.1 Plancher en corps creux

Le "plancher en corps creux" est un type de plancher en béton préfabriqué, qui est constitué de trois éléments principaux : une structure porteuse, des hourdis (éléments de remplissage) et une dalle de compression).

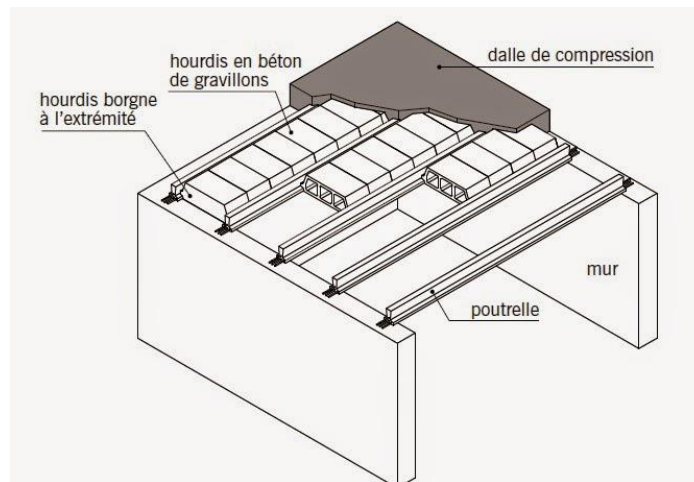


Figure 3-2. Les éléments de plancher en corps creux [35].

3.3.3.1.1 Détermination de l'épaisseur de plancher

Pour déterminer l'épaisseur de plancher en utilisant la condition de la flèche suivante :

$$\frac{l}{25} < e < \frac{l}{20}$$

Avec :

l : La plus petite portée du plancher.

e : L'épaisseur totale du plancher.

✚ Bloc 1 :

$$l_1 = 3.8\text{m}$$

$$\frac{l_1}{25} < e_1 < \frac{l_1}{20}$$

$$\frac{380}{25} < e_1 < \frac{380}{20}$$

$$15.2 < e_1 < 19$$

On adopte un plancher à corps creux d'une épaisseur de $e_1 = 20\text{cm}$.

$$l_2 = 2.75\text{m}$$

$$\frac{l_2}{25} < e_1 < \frac{l_2}{20}$$

$$\frac{275}{25} < e_1 < \frac{275}{20}$$

$$11 < e_1 < 13.75$$

On adopte un plancher à corps creux d'une épaisseur de $e_2 = 20\text{cm}$.

✚ Bloc 2 :

$l = 4.5\text{m}$

$$\frac{l}{25} < e_1 < \frac{l}{20}$$

$$\frac{450}{25} < e_1 < \frac{450}{20}$$

$$18 < e_1 < 22.5$$

On adopte un plancher à corps creux d'une épaisseur de $e = 20\text{cm}$.

On choisit des planchers à corps-creux de type (16+4)

- ✓ (16cm) : Epaisseur du corps creux.
- ✓ (4cm) : Epaisseur de la dalle de compression.

3.3.3.1.2 Les poutrelles

Sont des éléments préfabriqués se forme de « T » en béton Dimensions comme suit:

$e = 20\text{cm}$; $e_0 = 4\text{cm}$;

Avec : e_0 : L'épaisseur de la dalle de compression.

$50\text{ cm} \leq l_n \leq 80\text{cm} \leftrightarrow l_n = 53\text{ cm} = b$.

$0.4 e \leq b_0 \leq 0.6 e \leftrightarrow 8 \leq b_0 \leq 12$

$b_0 = 12\text{cm}$.

$b_1 = \frac{b - b_0}{2} \leftrightarrow b_1 = 20.5\text{cm}$.

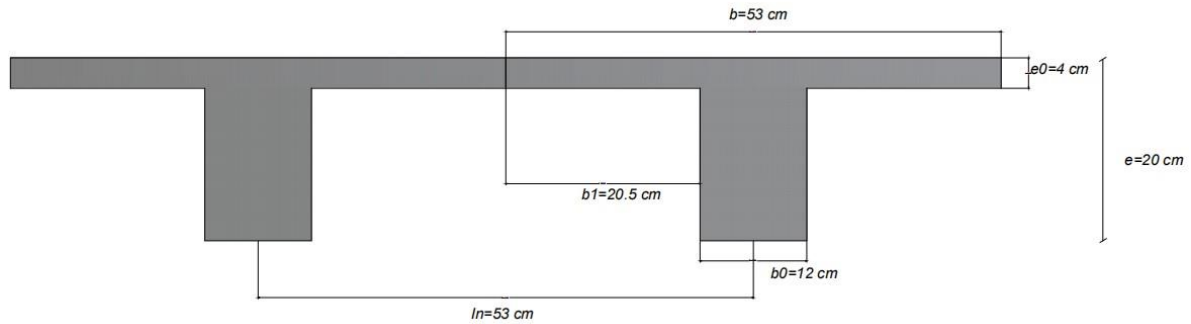


Figure 3-3. Les dimensions des poutrelles.

3.3.3.1.3 Evaluation des charges

Tableau 3-6 Terrasse accessible

Désignation des éléments	Poids volumique (kN/m ³)	Epaisseur (m)	G (kN/m ²)
Revêtement en carrelage	20	0.02	0.4
Mortier de pose	20	0.02	0.4
Lit de sable	18	0.02	0.36
Forme de pente	22	0.1	2.2
Isolation Thermique (Polystyrène)	10.3	0.1	1.03
Enduit en plâtre	10	0.02	0.2
Plancher en corps creux (16+4)	/	/	2.80
G (kN/m ²)	7.39		
Q (kN/m ²)	1.5		

Tableau 3-7. Terrasse inaccessible

Désignation des éléments	Poids volumique (kN/m ³)	Epaisseur (m)	G (kN/m ²)
Protection de gravillon	17	0.05	0.85
Etanchéité multicouche	6	0.02	0.12
Forme de pente	22	0.1	2.2
Isolation Thermique (Polystyrène)	10.3	0.1	1.03
Enduit en plâtre	10	0.02	0.2
Plancher en corps creux (16+4)	/	/	2.80
G(kN/m ²)	7.2		

Q(kN/m ²)	1
-----------------------	---

Tableau 3-8. Plancher étage courant

Désignation des éléments	Poids volumique(kN/m ³)	Epaisseur(m)	G (kN/m ²)
Revêtement en carrelage	20	0.02	0.4
Mortier de pose	20	0.02	0.4
Lit de sable	18	0.02	0.36
Isolation Thermique (Polystyrène)	10.3	0.1	1.030
Enduit en plâtre	10	0.02	0.2
Plancher en corps creux(16+4)	/	/	2.80
Cloisons	/	/	1
Isolation phonique	/	/	0.1
G(kN/m ²)	6.29		
Q(kN/m ²)	1.5		

3.3.3.2 *Dalle pleine*

Une dalle pleine est une plaque porteuse en béton armé coulé sur place, d'épaisseur 10 à 20 cm ou plus qui repose sur des appuis : murs ou poutres.

Pour déterminer l'épaisseur de la dalle pleine il faut vérifier les exigences de la règlement BAEL 91 suivant :

- ✓ Condition de la résistance au feu.
- ✓ Condition d'isolation phonique.
- ✓ Condition de résistance à la flexion.
- ✓ Condition de la flèche.

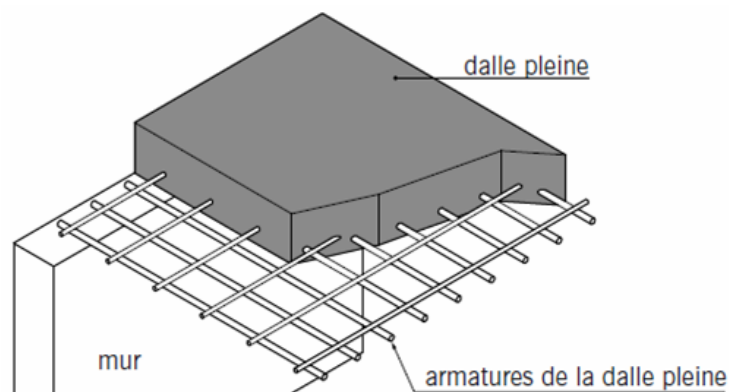


Figure 3-4. Schéma de dalle pleine [36].

3.3.3.2.1 Résistance au feu

$e=7$ cm (Pour 1 heure de coupe-feu).

$e=11$ cm (Pour 2 1 heure de coupe-feu)

On adopte $e=11$ cm.

3.3.3.2.2 Isolation phonique

$e \geq 16$ cm.

3.3.3.2.3 Résistance à la flexion

Dalle reposant sur 2 appuis (1.5×6) m^2

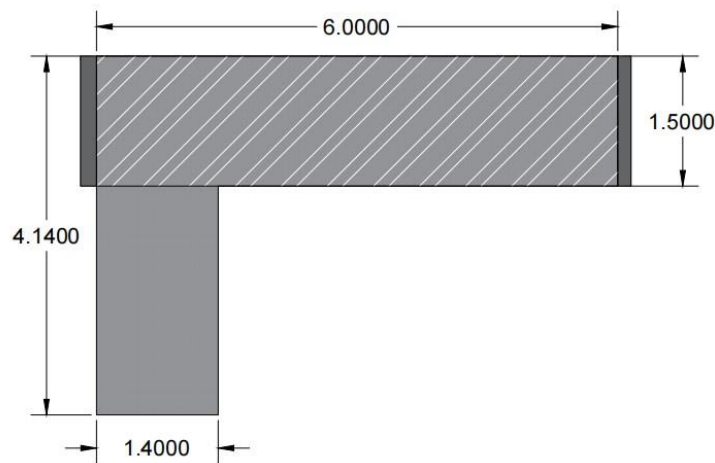


Figure 3-5. Schéma du balcon.

$$\frac{l_x}{35} \leq e \leq \frac{l_x}{30}$$

l_x : Représente la plus petite dimensions de la dalle

$$\frac{150}{35} \leq e \leq \frac{150}{30}$$

$$4.29 \leq e \leq 5$$

On adopte $e=5$ cm.

3.3.3.2.4 Limitation de la flèche

Selon [CBA 93_B.6.5.3.], la flèche ne doit pas dépasser :

Pour les dalles reposant sur deux appuis :

$$f_{\max} < \frac{L}{1000} + 0.5\text{cm} \quad \text{Si } L > 5 \text{ m.}$$

$$f_{\max} < \frac{L}{500} \quad \text{Si } L \leq 5 \text{ m.}$$

$$f_{\max} < \frac{600}{1000} + 0.5 \text{ cm}$$

$$f_{\max} < 1.1 \text{ cm}$$

La flèche se détermine en fonction de la configuration de la charge et des conditions d'appui

Pour un dalle bi-articulée (La charge q uniformément répartie)

$$f = \frac{5 q l^4}{384 E v I} \leq \frac{l}{500} \leftrightarrow e \geq \sqrt[3]{\frac{625 q l^3}{8 E b}} \quad (\text{Pour } L \leq 5 \text{ m})$$

Avec :

$$q = Q + G \quad (\text{à ELS})$$

$$q = 6.16 + 3.5 = 9.66 \text{ kN/m}^2$$

b = La largeur d'une bande de 1m de la dalle

Ev : module de déformation diffère

$$E_v = 3700 \sqrt[3]{f_c 28} \quad (E_v = 10818.86 \text{ MPa pour } f_c = 25 \text{ MPa})$$

$$e \geq \sqrt[3]{\frac{625 q l^3}{8 E b}} = \sqrt[3]{\frac{625 \times 9.66 \times 6^3}{10818.86 \times 1}} = 4.94 \text{ cm}$$

$$e = \max\{5, 11, 16\} \text{ cm}$$

$$e = 16 \text{ cm.}$$

Tableau 3-9. Dalle pleine

Désignation des éléments	Poids volumique (kN/m ³)	Epaisseur (m)	G (kN/m ²)
Revêtement en carrelage	20	0.02	0.4
Mortier de pose	20	0.02	0.4
Lit de sable	18	0.02	0.54
Plancher en dalle pleine (16cm)	25	0.16	4
Cloison de distribution	/	/	1
G(kN/m ²)	6.16		
Q(kN/m ²)	3.5		

3.3.4 Pré dimensionnement des voiles

Un voile en béton armé est une structure spatiale dont l'épaisseur est très faible par rapport aux deux autres dimensions. Les rôles des voiles sont la reprise des charges permanentes et d'exploitation apportées par les planchers participer au contreventement donc le voile est très important contre l'action séismique. [4]

D'après le RPA 99 version 2003, Article 7.7.1 < Sont considérés comme voiles les éléments satisfaisant à la condition $l \geq 4a$. Dans le cas contraire, ces éléments sont considérés comme des éléments linéaires. L'épaisseur minimale est de 15 cm. De plus, l'épaisseur doit être déterminée en fonction de la hauteur libre d'étage h_e et des conditions de rigidité aux extrémités.

$$H_{e1} = 2.9 - 0.4 = 2.5 \text{ m (S.SOL)}$$

$$H_{e2} = 3.06 - 0.4 = 2.66 \text{ m (étage).}$$



Figure 3-6. Les conditions de rigidité à l'extrémité.

$$e > \frac{h_e}{25}$$

$$e_1 > \frac{250}{25} = 10 \text{ cm} < 15 \text{ cm}$$

$$e_2 > \frac{266}{25} = 10.64 \text{ cm} < 15 \text{ cm}$$

$$e > \frac{h_e}{20}$$

$$e_1 > \frac{250}{20} = 12.5 \text{ m} < 15 \text{ cm}$$

$$e_2 > \frac{266}{20} = 13.3 \text{ m} < 15 \text{ cm}$$

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

3.3.5 Pré dimensionnement des escaliers

L'escalier est un élément de circulation verticale qui permette le passage à pied entre les niveaux d'un bâtiment, il se compose d'une succession des marches, contremarche, paliers et paillasse, On désigne par cages l'endroit à l'intérieur où se trouve l'escalier.

Le type d'escalier de notre construction est Limon.

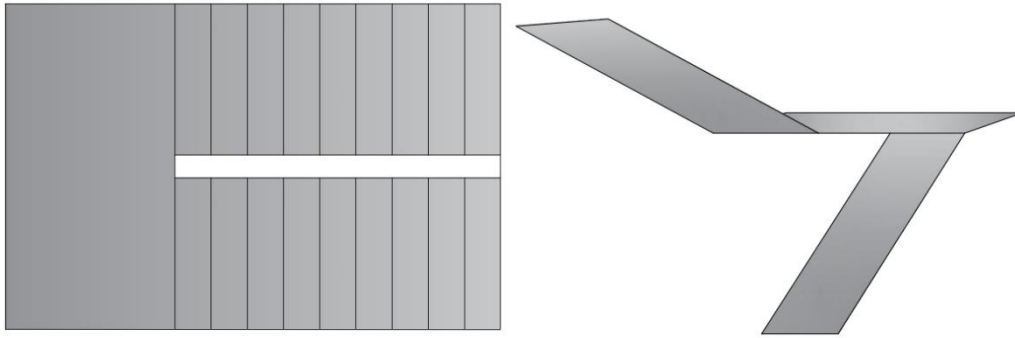


Figure 3-7. Schéma d'escalier.

3.3.5.1 *Bloc 1*

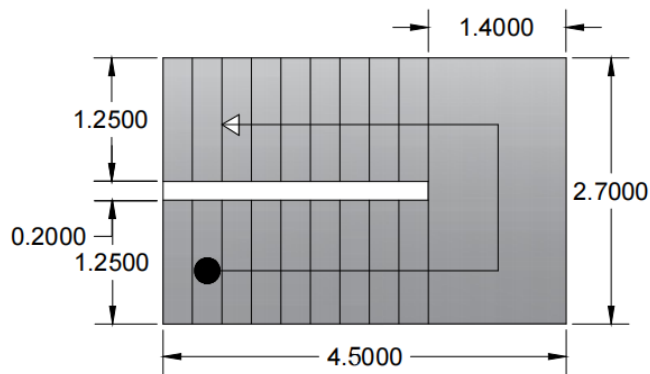


Figure 3-8. Vue en plan de l'escalier.

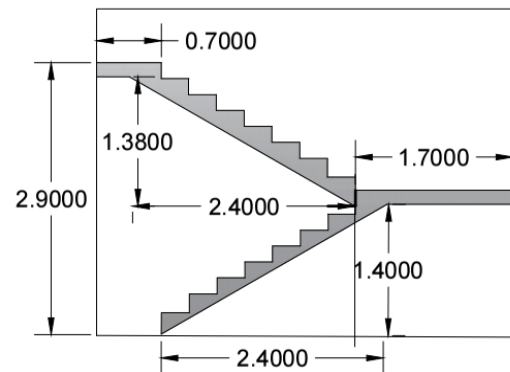


Figure 3-9. Coupe transversale de l'escalier.

$$\frac{l}{30} < e < \frac{l}{20}$$

$$l = 2.4 + 1.7$$

$$l = 4.1\text{m}$$

$$\frac{410}{30} < e < \frac{410}{20}$$

$$13.67 < e < 20.5$$

On obtient $e = 16\text{cm}$

- a) Le dimensionnement d'escalier se fait à base de relation de <BLONDEL>

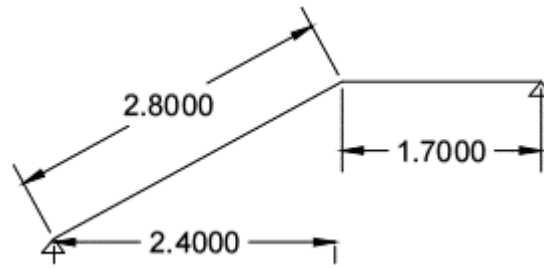


Figure 3-10. Schéma statique d'escalier

$$59 \text{ cm} < g + 2h < 64 \text{ cm}$$

➤ Avec :

$$15 \text{ cm} < h < 17 \text{ cm}$$

$$28 \text{ cm} < g < 36 \text{ cm}$$

➤ On a :

g : giron

h : hauteur des marches

n : nombre des marches

$$g + 2h = 63 \quad (1)$$

$$L = 2.4 \text{ m} = n \times g \Leftrightarrow g = L / n \quad (2)$$

$$H = 1.4 \text{ m} = (n + 1) h \Leftrightarrow h = H / (n + 1) \quad (3)$$

➤ On remplace (2) et (3) dans (1) on obtient

$$63n^2 + (63 - 2H - L)n - L = 0$$

$$63n^2 + (63 - 2(1.40) - 2.40)n - 2.40 = 0$$

$$63n^2 - 484n - 240 = 0$$

$$N \approx 7.74 \text{ cm}$$

On obtient $n = 8$ cm.

$$g = \frac{240}{8} = 30 \text{ cm}$$

$$h = \frac{140}{9} = 15.56 \text{ on obtient } 17 \text{ cm}$$

➤ Angle d'inclinaison de la paillasse

$$\text{Tag} \alpha \left(\frac{17}{30} \right) = 29.54^\circ$$

Tableau 3-10. Calcul des charges sur palier (Bloc 1)

Désignation des éléments	Poids volumique (kN/m ³)	Epaisseur (m)	G (kN/m ²)
Revêtement en carrelage	20	0.02	0.5
Mortier de pose	20	0.02	0.5
Enduit en ciment	18	0.02	0.45
Dalle pleine (16cm)	25	0.16	5
G	6.45		
Q	2.5 × 1.2 = 3.125		

Tableau 3-11. Calcul des charges sur volée (Bloc 1)

Désignation des éléments	Poids volumique (kN/m ³)	Epaisseur (m)	G (kN/m ²)
Revêtement en carrelage	20	0.02	0.5
Mortier de pose	20	0.02	0.5
Poids des marches	25	0.17	2.66
Paillasse(16cm)	25	0.16	5.31
Enduit en ciment	18	0.01	0.225
Garde-corps	/	/	1
G	10.20		
Q	3.125		

3.3.5.2 *Bloc 2*

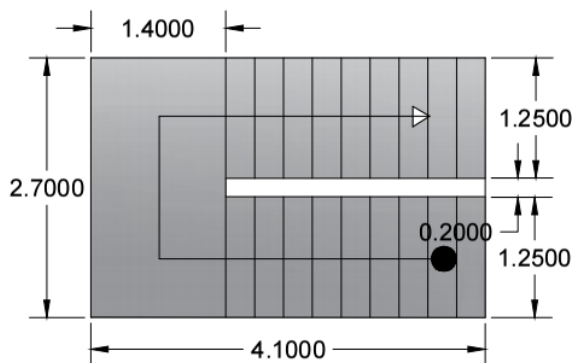


Figure 3-11. Vue en plan de l'escalier.

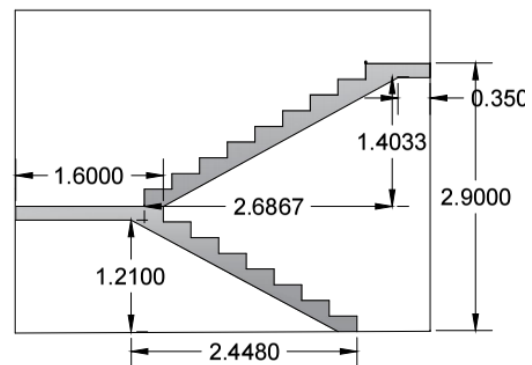


Figure 3-12. Coupe transversale de l'escalier.

$$\frac{l}{30} < e < \frac{l}{20}$$

$$l = 2.45 + 1.6$$

$$l = 4.05 \text{ m}$$

$$\frac{405}{30} < e < \frac{405}{20}$$

$$13.5 < e < 20.25$$

On obtient $e = 16 \text{ cm}$

b) Le dimensionnement d'escalier se fait à base de relation de <BLONDEL>

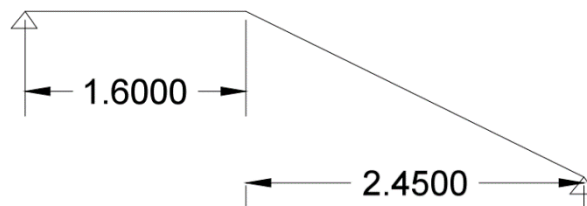


Figure 3-13. Schéma statique d'escalier

$$59 \text{ cm} < g + 2h < 64 \text{ cm}$$

➤ Avec :

$$15 \text{ cm} < h < 17 \text{ cm}$$

$$28 \text{ cm} < g < 36 \text{ cm}$$

➤ On a :

g : giron

h : hauteur des marches

n : nombre des marches

$$g + 2h = 63 \quad (1)$$

$$L = 2.45 \text{ m} = n \times g \Leftrightarrow g = L / n \quad (2)$$

$$H = 1.2 \text{ m} = (n + 1) h \Leftrightarrow h = H / (n + 1) \quad (3)$$

➤ On remplace (2) et (3) dans (1) on obtient

$$63n^2 + (63 - 2H - L)n - L = 0$$

$$63n^2 + (63 - 2(120) - 245)n - 245 = 0$$

$$63n^2 - 422n - 245 = 0$$

$$N \approx 7.23 \text{ cm}$$

On obtient $n=8 \text{ cm}$.

$$g = \frac{245}{8} = 30.625 \text{ cm on obtient } g = 30 \text{ cm}$$

$$h = \frac{120}{9} = 13.33 \text{ on obtient } 17 \text{ cm}$$

➤ Angle d'inclinaison de la paillasse

$$\text{Tag} \alpha \left(\frac{17}{30} \right) = 29.54^\circ$$

Tableau 3-12. Calcul des charges sur paliers (Bloc 2)

Désignation des éléments	Poids volumique (kN/m ³)	Epaisseur (m)	G (kN/m ²)
Revêtement en carrelage	20	0.02	0.5
Mortier de pose	20	0.02	0.5
Enduit en ciment	18	0.02	0.45
Dalle pleine (16cm)	25	0.16	5
G	6.45		
Q	$2.5 \times 1.2 = 3.125$		

Tableau 3-13. Calcul des charges sur volée (Bloc 2)

Désignation des éléments	Poids volumique (kN/m ³)	Epaisseur (m)	G (kN/m ²)
Revêtement en carrelage	20	0.02	0.5
Mortier de pose	20	0.02	0.5
Poids des marches	25	0.17	2.66
Paillasse(16cm)	25	0.16	5.31
Enduit en ciment	18	0.01	0.225
Garde-corps	/	/	1
G	10.20		
Q	3.125		

3.3.6 Acrotère

Un acrotère en béton armé est un élément architectural qui sert de muret périphérique sur les toitures terrasses ou les toitures plates. Sa fonction principale est d'assurer l'étanchéité en prolongeant le mur de façade jusqu'au toit [5].

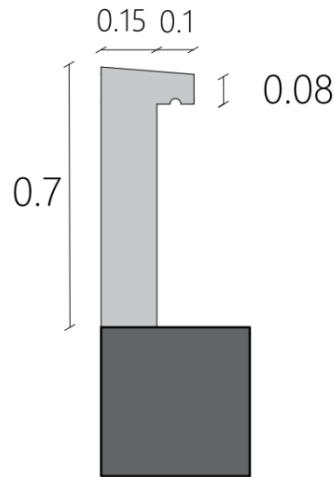


Figure 3-14. L'acrotère.

3.3.6.1 La charge permanent d'acrotère

$$G = ((0,7 \times 0,15) + (0,08 \times 0,1) + (0,02 \times 0,1) \times \frac{1}{2}) \times 25$$

$$G = 2,85 \text{ KN/m}^2$$

3.3.6.2 La charge d'exploitation d'acrotère

$$Q = 1 \text{ KN/ml}$$

3.3.7 Pré dimensionnement des Poteaux

Les poteaux sont des éléments verticaux de forme rectangulaire, carrée et circulaire. Ils consistent des points d'appuis pour transmettre les charges permanents et d'exploitations pour assure la stabilité de notre bâtiment, On classifie les poteaux selon leur emplacement dans la structure :

- Poteau de rive.
- Poteau d'intermédiaire.
- Poteau central.

Pour déterminer les dimensions on suppose que les poteaux subissent une compression simple, Alors nous utilisons la formule suivante : [selon BAEL91 et CBA93].

$$Nu \leq \alpha \left[\frac{Br f_{c28}}{0,9 \gamma_b} + \frac{A_s f_e}{\gamma_s} \right]$$

Avec :

A : est la section d'acier comprimé prise en compte dans le calcul ;

Br : est la section réduite du poteau obtenue en déduisant de sa section réelle un centimètre d'épaisseur sur toute sa périphérie ;

$$B_r = (a-2)(b-2) \text{ [en cm}^2\text{]}.$$

α : est un coefficient fonction de l'élancement mécanique, qui prend les valeurs :

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

$$\alpha = 0.6 \left(\frac{50}{\lambda}\right)^2 \quad \text{Pour} \quad \lambda > 50$$

$$\lambda = \frac{\sqrt{12}l_f}{a}$$

l_f : Longueur de flambement.

$$A_s = 0$$

Pour notre cas : $l_f = 0.7l_0$.

Après la simplification on obtient :

$$B_r \geq \frac{N_u}{25.5\alpha}$$

Alors la dimension est égale : $a = \sqrt{B_r} + 2$

1) Les poteaux doivent respecter les dimensions spécifiées dans le RPA 99 (2003) :

$$\triangleright \text{Min}(b_1, h_1) \geq 30 \text{ cm [Zone III]}$$

$$\triangleright \text{Min}(b_1, h_1) \geq \frac{h_e}{20}$$

$$\triangleright \frac{1}{4} < \frac{b_1}{h_1} < 4$$

En l'absence de calculs plus précis, il est nécessaire d'augmenter les charges verticales évaluées en admettant la discontinuité des travées selon [CBA 93_ B.8 .1.1]:

\triangleright De 10% pour les poteaux intermédiaires voisins des poteaux de rive dans le cas des bâtiments comportant au moins trois travées.

\triangleright Si les charges sont appliquées avant 90 jours, elles doivent être majorées par 10%.

2) Loi de dégression :

Nous remarquons que les charges d'exploitation de notre construction sont là même alors nous choisirons cette méthode de dégression :

Si la charge d'exploitation est la même pour tous les étages (Q) :

On prend pour la terrasse Q_0 ; (où Q_0 est la charge d'exploitation de la terrasse)

On prend pour le dernier étage 1 : Q ;

On prend pour l'étage 2 : $0.9Q$;

On prend pour l'étage 3 : $0.8Q$

On prend pour l'étage 4 : $0.7Q$

On prend pour l'étage 5 : $0.6Q$

On prend pour l'étage 6 : $0.5Q$

Pour notre calcul nous avons choisir 3 poteaux pour chaque bloc.

 Bloc1 :

Poteau de rive (1) :

$$S_1 = \frac{5.44}{2} \times \frac{3.1}{2} = 4.22 \text{ m}^2$$

Poteau intermédiaire (2) :

$$S_2 = \frac{4.38+5.44}{2} \times \frac{3.1}{2} = 7.61 \text{ m}^2$$

Poteau central (3) :

$$S_3 = \frac{3.8+3.67}{2} \times \frac{4.5+4.38}{2} = 16.58 \text{ m}^2$$

 Bloc2 :

Poteau de rive (1) :

$$S_1 = \frac{4.5}{2} \times \frac{4.15}{2} = 4.67 \text{ m}^2$$

Poteau intermédiaire (2) :

$$S_2 = \frac{4.5+4}{2} \times \frac{4.15}{2} = 8.82 \text{ m}^2$$

Poteau central (3) :

$$S_3 = \frac{4+4.5}{2} \times \frac{5.83+4.2}{2} = 21.31 \text{ m}^2$$

Tableau 3-14 .Les poteaux de rive (Bloc1).

Niveaux	G (kN/m ²)	Q(kN/m ²)	Nu=(1.35G+1.5Q) × 1.1 × 1.1	Nu cumule (kN/m ²)
Terrasse	Plancher : $4.22 \times 7.2 = 30.38$ Acrotère : $2.875 \times \frac{5.44}{2} = 7.82$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.44}{2} = 8.16$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 48.69 + 76.5Br$	$1 \times 4.22 = 4.22$	$(1.35 \times (48.69 + 76.5Br) + 1.5 \times 4.22) \times 1.1 \times 1.1 = 87.19 + 124.96Br$	$87.19 + 124.96Br$
1	Plancher : $4.22 \times 6.29 = 26.54$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.44}{2} = 8.16$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$ Maçonnerie : $3.37 \times \frac{5.44}{2} \times (3.06 - 0.4) = 24.38$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 61.41 + 76.5Br$	$(1.5 \times 4.22) = 6.33$	$(1.35 \times (61.41 + 76.5Br) + 1.5 \times 6.33) \times 1.1 \times 1.1 = 111.80 + 124.96Br$	$198.99 + 249.92Br$
2	Plancher : $4.22 \times 6.29 = 26.54$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.44}{2} = 8.16$ Chainage :	$6.33 \times 0.9 = 5.7$	$(1.35 \times (61.41 + 76.5Br) + 1.5 \times 5.7) \times 1.1 \times 1.1 = 110.65 + 124.96Br$	$309.65 + 374.88Br$

	$25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$ Maçonnerie : $3.37 \times \frac{5.44}{2} \times (3.06 - 0.4) = 24.38$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 61.41 + 76.5Br$			
3	Plancher : $4.22 \times 6.29 = 26.54$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.44}{2} = 8.16$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$ Maçonnerie : $3.37 \times \frac{5.44}{2} \times (3.06 - 0.4) = 24.38$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 61.41 + 76.5Br$	$6.33 \times 0.8 = 5.06$	$(1.35 \times (61.41 + 76.5Br) + 1.5 \times 5.06) \times 1.1 \times 1.1 = 109.49 + 124.96Br$	$419.15 + 499.84Br$
4	Plancher : $4.22 \times 6.29 = 26.54$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.44}{2} = 8.16$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$ Maçonnerie : $3.37 \times \frac{5.44}{2} \times (3.06 - 0.4) = 24.38$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$	$6.33 \times 0.7 = 4.43$	$(1.35 \times (61.41 + 76.5Br) + 1.5 \times 4.43) \times 1.1 \times 1.1 = 108.35 + 124.96Br$	$527.5 + 624.8Br$

	$\sum G$ $= 61.41 + 76.5Br$			
5	<p>Plancher : $4.22 \times 6.29 = 26.54$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.44}{2} = 8.16$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$</p> <p>Maçonnerie : $3.37 \times \frac{5.44}{2} \times (3.06 - 0.4) = 24.38$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 61.41 + 76.5Br$	$6.33 \times 0.6 = 3.8$	$(1.35 \times (61.41 + 76.5Br) + 1.5 \times 3.8) \times 1.1 \times 1.1 = 107.21 + 124.96Br$	$634.71 + 749.76Br$
S.sol	<p>Plancher : $4.22 \times 6.29 = 26.54$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.44}{2} = 8.16$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 37.03 + 72.5Br$	$2.5 \times 4.22 \times 0.5 = 5.27$	$(1.35 \times (37.03 + 72.5Br) + 1.5 \times 5.28) \times 1.1 \times 1.1 = 70.07 + 118.43Br$	$704.78 + 868.19Br$

Tableau 3-15. Les sections finales des poteaux de rive (Bloc1)

Niveau	BR (cm ²)	A partir de calcul (cm)	A adopter (cm)
Terrasse	47.96	8.93	30
1	108.71	12.43	30
2	168.02	14.96	30
3	226.04	17.03	30
4	282.57	18.81	40
5	337.74	20.38	40
6	356.64	20.88	40

La vérification :

$$\lambda = \frac{\sqrt{12} \cdot 0.7 \times 3.06}{0.3} = 24.73 < 50$$

$$\alpha = \frac{0.85}{\left(1 + 0.2 \left(\frac{24.73}{35}\right)^2\right)} = 0.77$$

$$Br_{\text{exct}} = (30-2)^2 > Br_{\text{cal}} = \frac{87.19 \times 10^3}{25.5 \times 0.77 - (124.96 \times 10^{-3})} \times 10^{-2}$$

784 > 44.69 ... Vérifiée

La même méthode avec les autres étages, Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 3-16. Vérification des sections des poteaux Bloc 1.

Niveau	$Br_{\text{exct}} \text{ (cm}^2\text{)}$	$Br_{\text{cal}} \text{ (cm}^2\text{)}$	Observation
Terrasse	784	44.69	Vérifiée
1	784	102.65	Vérifiée
2	784	160.77	Vérifiée
3	784	219.05	Vérifiée
4	1444	276.74	Vérifiée
5	1444	335.18	Vérifiée
6	1444	356.65	Vérifiée

Tableau 3-17. Les poteaux de rive (Bloc2).

Niveaux	G (kN/m ²)	Q (kN/m ²)	$Nu = (1.35G + 1.5Q) \times 1.1 \times 1.1$	Nu cumule (kN/m ²)
Terrasse	<p>Plancher : $4.67 \times 7.2 = 33.62$ Acrotère : $2.875 \times \frac{4.5}{2} = 6.47$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4.5}{2} = 3.38$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 49.7 + 76.5Br$</p>	$1 \times 4.67 = 4.67$	$(1.35 \times (49.7 + 76.5Br) + 1.5 \times 4.67) \times 1.1 \times 1.1 = 89.66 + 124.96Br$	$89.66 + 124.96Br$

1	<p>Plancher : $4.67 \times 6.29 = 29.37$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4.5}{2} = 3.38$</p> <p>Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4.5}{2} \times (3.06 - 0.4) = 24.38$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 63.36 + 76.5Br$	$(1.5 \times 4.67) = 7.01$	$(1.35 \times (63.36 + 76.5Br) + 1.5 \times 7.01) \times 1.1 \times 1.1 = 116.22 + 124.96Br$	$205.88 + 249.92Br$
2	<p>Plancher : $4.67 \times 6.29 = 29.37$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4.5}{2} = 3.38$</p> <p>Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4.5}{2} \times (3.06 - 0.4) = 24.38$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 63.36 + 76.5Br$	$7.01 \times 0.9 = 6.31$	$(1.35 \times (63.36 + 76.5Br) + 1.5 \times 6.31) \times 1.1 \times 1.1 = 114.95 + 124.96Br$	$320.83 + 374.88Br$
3	<p>Plancher : $4.67 \times 6.29 = 29.37$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4.5}{2} = 3.38$</p> <p>Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4.5}{2} \times (3.06 - 0.4) = 24.38$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p>	$7.01 \times 0.8 = 5.61$	$(1.35 \times (63.36 + 76.5Br) + 1.5 \times 5.61) \times 1.1 \times 1.1 = 113.68 + 124.96Br$	$434.51 + 499.84Br$

	$\sum G$ $= 63.36 + 76.5Br$			
4	<p>Plancher : $4.67 \times 6.29 = 29.37$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4.5}{2} = 3.38$</p> <p>Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4.5}{2} \times (3.06 - 0.4) = 24.38$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 63.36 + 76.5Br$	7.01×0.7 $= 4.91$	$(1.35 \times (63.36 + 76.5Br) + 1.5 \times 4.91) \times 1.1 \times 1.1 = 112.41 + 124.96Br$	$546.92 + 624.8Br$
5	<p>Plancher : $4.67 \times 6.29 = 29.37$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4.5}{2} = 3.38$</p> <p>Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4.5}{2} \times (3.06 - 0.4) = 24.38$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 63.36 + 76.5Br$	7.01×0.6 $= 4.21$	$(1.35 \times (63.36 + 76.5Br) + 1.5 \times 4.21) \times 1.1 \times 1.1 = 111.14 + 124.96Br$	$658.06 + 749.76Br$
S.sol	<p>Plancher : $4.67 \times 6.29 = 29.37$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4.5}{2} = 3.38$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p>	$2.5 \times 4.67 \times 0.5 = 5.84$	$(1.35 \times (38.98 + 72.5Br) + 1.5 \times 5.84) \times 1.1 \times 1.1 = 74.27 + 118.43Br$	$732.33 + 868.19Br$

$\sum G$ $= 38.98 + 72.5Br$			
-----------------------------	--	--	--

Tableau 3-18. Les sections finales des poteaux de rive (Bloc2).

Niveau	BR (cm ²)	A partir de calcul (cm)	A adopter (cm)
Terrasse	49.32	9.02	30
1	112.48	12.60	30
2	174.1	15.19	30
3	234.19	17.30	30
4	292.90	19.12	40
5	349.96	20.71	40
6	370.59	21.25	40

La vérification :

$$\lambda = \frac{\sqrt{12} \cdot 0.7 \times 3.06}{0.3} = 24.73 < 50$$

$$\alpha = \frac{0.85}{\left(1 + 0.2 \left(\frac{24.73}{35}\right)^2\right)} = 0.77$$

$$Br_{\text{exct}} = (30-2)^2 > Br_{\text{cal}} = \frac{89.66 \times 10^3}{25.5 \times 0.77 - (124.96 \times 10^{-3})} \times 10^{-2}$$

784 > 45.96 ... Vérifiée

La même méthode avec les autres étages, Les résultats sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau 3-19. Vérification des sections des poteaux Bloc 2

Niveau	Br _{exct} (cm ²)	Br _{cal} (cm ²)	Observation
Terrasse	784	45.96	Vérifiée
1	784	106.21	Vérifiée
2	784	166.58	Vérifiée
3	784	227.07	Vérifiée
4	1444	286.93	Vérifiée
5	1444	347.51	Vérifiée
6	1444	370.58	Vérifiée

Tableau 3-20. Les poteaux intermédiaires (Bloc 1)

Niveaux	G (kN/m ²)	Q(kN/m ²)	Nu=(1.35G+1.5Q) × 1.1 × 1.1	Nu cumule (kN/m ²)
Terrasse	Plancher : $7.61 \times 7.2 = 54.79$ Acrotère : $2.875 \times \frac{4.38+5.44}{2} = 14.12$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+5.44}{2} = 14.73$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 85.97 + 76.5Br$	$1 \times 7.61 = 7.61$	$(1.35 \times (49.7 + 76.5Br) + 1.5 \times 7.61) \times 1.1 \times 1.1 = 95 + 124.96Br$	$89.66 + 124.96Br$
1	Plancher : $7.61 \times 6.29 = 47.87$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+5.44}{2} = 14.73$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$ Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4.38+5.44}{2} \times (3.06 - 0.4) = 44.01$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 108.94 + 76.5Br$	$(1.5 \times 7.61) = 11.42$	$(1.35 \times (108.94 + 76.5Br) + 1.5 \times 11.42) \times 1.1 \times 1.1 = 198.68 + 124.96Br$	$288.34 + 249.92Br$
2	Plancher : $7.61 \times 6.29 = 47.87$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+5.44}{2} = 14.73$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$ Maçonnerie :	$11.42 \times 0.9 = 10.28$	$(1.35 \times (108.94 + 76.5Br) + 1.5 \times 10.28) \times 1.1 \times 1.1 = 196.61 + 124.96Br$	$484.95 + 374.88Br$

	$3.37 \times \frac{4.38+5.44}{2} \times (3.06 - 0.4) = 44.01$ <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G = 108.94 + 76.5Br$			
3	<p>Plancher : $7.61 \times 6.29 = 47.87$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+5.44}{2} = 14.73$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$</p> <p>Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4.38+5.44}{2} \times (3.06 - 0.4) = 44.01$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G = 108.94 + 76.5Br$	$11.42 \times 0.8 = 9.14$	$(1.35 \times (108.94 + 76.5Br) + 1.5 \times 9.14) \times 1.1 = 194.54 + 124.96Br$	679.49+499.84Br
4	<p>Plancher : $7.61 \times 6.29 = 47.87$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+5.44}{2} = 14.73$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$</p> <p>Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4.38+5.44}{2} \times (3.06 - 0.4) = 44.01$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G = 108.94 + 76.5Br$	$11.42 \times 0.7 = 7.99$	$(1.35 \times (108.94 + 76.5Br) + 1.5 \times 7.99) \times 1.1 = 192.46 + 124.96Br$	871.95+624.8Br
5	<p>Plancher : $7.61 \times 6.29 = 47.87$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+5.44}{2} = 14.73$</p> <p>Chainage :</p>	$11.42 \times 0.6 = 6.85$	$(1.35 \times (108.94 + 76.5Br) + 1.5 \times 6.85) \times 1.1 = 190.38 + 124.96Br$	1062.33+749.19Br

	$25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$ Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4.38+5.44}{2} \times (3.06 - 0.4) = 44.01$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G = 108.94 + 76.5Br$			
S.sol	Plancher : $7.61 \times 6.29 = 47.87$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+5.44}{2} = 14.73$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.1}{2} = 2.33$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 72.5Br$ $\sum G = 64.93 + 72.5Br$	$7.61 \times 2.5 \times 0.5 = 9.51$	$(1.35 \times (64.93 + 72.5Br) + 1.5 \times 9.51) \times 1.1 \times 1.1 = 123.32 + 118.43Br$	$1185.65 + 868.19Br$

Tableau 3-21. Les sections finales des poteaux intermédiaires (Bloc1).

Niveau	BR (cm ²)	A partir de calcul (cm)	A adopter (cm)
Terrasse	49.32	9.02	30
1	157.53	14.55	30
2	263.15	18.22	30
3	366.23	21.14	40
4	467.81	23.61	40
5	564.97	25.78	40
6	599.99	26.49	40

La vérification :

$$\lambda = \frac{\sqrt{12} \cdot 0.7 \times 3.06}{0.3} = 24.73 < 50$$

$$\alpha = \frac{0.85}{\left(1 + 0.2 \left(\frac{24.73}{35}\right)^2\right)} = 0.77$$

$$Br_{\text{exct}} = (30-2)^2 > Br_{\text{cal}} = \frac{89.66 \times 10^3}{25.5 \times 0.77 - (124.96 \times 10^{-3})} \times 10^{-2}$$

784 > 45.96 ... Vérifiée

La même méthode avec les autres étages, Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 3-22. Vérification des sections des poteaux intermédiaire Bloc 1.

Niveau	Br _{exct} (cm ²)	Br _{cal} (cm ²)	Observation
Terrasse	784	45.96	Vérifiée
1	784	148.74	Vérifiée
2	784	251.79	Vérifiée
3	1444	354.16	Vérifiée
4	1444	457.45	Vérifiée
5	1444	560.99	Vérifiée
6	1444	599.99	Vérifiée

Tableau 3-23. Les poteaux intermédiaire (Bloc2).

Niveaux	G (kN/m ²)	Q(kN/m ²)	Nu=(1.35G+1.5Q) × 1.1 × 1.1	Nu cumule (kN/m ²)
Terrasse	Plancher : $8.82 \times 7.2 = 63.50$ Acrotère : $2.875 \times \frac{4+4.5}{2} = 12.22$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 88.33 + 76.5Br$	$1 \times 8.82 = 8.82$	$(1.35 \times (88.33 + 76.5Br) + 1.5 \times 8.82) \times 1.1 \times 1.1 = 160.3 + 124.96Br$	$160.3 + 124.96Br$
1	Plancher : $8.82 \times 6.29 = 55.48$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$ Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4+4.5}{2} \times (3.06 - 0.4) = 38.1$ Poteau :	$(1.5 \times 8.82) = 13.23$	$(1.35 \times (106.19 + 76.5Br) + 1.5 \times 13.23) \times 1.1 \times 1.1 = 197.47 + 124.96Br$	$357.77 + 249.92Br$

	$25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 106.19 + 76.5Br$			
2	Plancher : $8.82 \times 6.29 = 55.48$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$ Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4+4.5}{2} \times (3.06 - 0.4) = 38.1$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 106.19 + 76.5Br$	$13.23 \times 0.9 = 11.91$	$(1.35 \times (106.19 + 76.5Br) + 1.5 \times 11.91) \times 1.1 = 195.08 + 124.96Br$	$552.85 + 374.88Br$
3	Plancher : $8.82 \times 6.29 = 55.48$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$ Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4+4.5}{2} \times (3.06 - 0.4) = 38.1$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 106.19 + 76.5Br$	$13.23 \times 0.8 = 10.58$	$(1.35 \times (106.19 + 76.5Br) + 1.5 \times 10.58) \times 1.1 = 192.66 + 124.96Br$	$745.51 + 499.84Br$
4	Plancher : $8.82 \times 6.29 = 55.48$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$ Maçonnerie :	$13.23 \times 0.7 = 9.26$	$(1.35 \times (106.19 + 76.5Br) + 1.5 \times 9.26) \times 1.1 = 190.27 + 124.96Br$	$935.78 + 624.8Br$

	$3.37 \times \frac{4+4.5}{2} \times (3.06 - 0.4) = 38.1$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G = 106.19 + 76.5Br$			
5	Plancher : $8.82 \times 6.29 = 55.48$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$ Maçonnerie : $3.37 \times \frac{4+4.5}{2} \times (3.06 - 0.4) = 38.1$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G = 106.19 + 76.5Br$	$13.23 \times 0.6 = 7.94$	$(1.35 \times (106.19 + 76.5Br) + 1.5 \times 7.94) \times 1.1 = 187.87 + 124.96Br$	$1123.65 + 749.76Br$
S.sol	Plancher : $8.82 \times 6.29 = 55.48$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.15}{2} = 6.23$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$ Poteau : $25 \times Br \times 2.9 = 72.5Br$ $\sum G = 68.09 + 72.5Br$	$8.82 \times 2.5 \times 0.5 = 11.03$	$(1.35 \times (68.09 + 76.5Br) + 1.5 \times 11.03) \times 1.1 = 131.24 + 118.43Br$	$1254.89 + 868.19Br$

Tableau 3-24. Les sections finales des poteaux intermédiaires (Bloc2).

Niveau	BR (cm ²)	A partir de calcul (cm)	A adopter (cm)
Terrasse	88.18	11.39	30
1	195.46	15.98	30
2	299.99	19.32	30
3	401.81	22.05	40

4	500.09	24.4	40
5	597.57	26.45	40
6	635.02	27.2	40

La vérification :

$$\lambda = \frac{\sqrt{12} \cdot 0.7 \times 3.06}{0.3} = 24.73 < 50$$

$$\alpha = \frac{0.85}{\left(1 + 0.2 \left(\frac{24.73}{35}\right)^2\right)} = 0.77$$

$$Br_{\text{exct}} = (30-2)^2 > Br_{\text{cal}} = \frac{160.3 \times 10^3}{25.5 \times 0.77 - (124.96 \times 10^{-3})} \times 10^{-2}$$

784 > 82.16 ... Vérifiée

La même méthode avec les autres étages, Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 3-25. Vérification des sections des poteaux intermédiaire Bloc 2.

Niveau	Br _{exct} (cm ²)	Br _{cal} (cm ²)	Observation
Terrasse	784	82.16	Vérifiée
1	784	184.56	Vérifiée
2	784	287.04	Vérifiée
3	1444	388.57	Vérifiée
4	1444	490.93	Vérifiée
5	1444	593.39	Vérifiée
6	1444	635.02	Vérifiée

Tableau 3-26. Les poteaux centraux (Bloc1).

Niveaux	G (kN/m ²)	Q(kN/m ²)	Nu=(1.35G+1.5Q) × 1.1 × 1.1	Nu cumule (kN/m ²)
Terrasse Accessible				
1	Plancher : 16.58 × 7.39 = 122.53 Poutre : 25 × 0.4 × 0.3 × $\frac{4.38+4.5}{2} = 13.32$ Chainage : 25 × 0.3 × 0.2 × $\frac{3.8+3.67}{2} = 5.6$ Poteau : 25 × Br × 3.06 = 76.5Br	(1.5 × 16.58) = 24.87	(1.35 × (141.45 + 76.5Br) + 1.5 × 24.87) × 1.1 × 1.1 = 276.2 + 124.96Br	276.2 + 124.96Br

	$\sum G$ $= 141.45 + 76.5Br$			
2	<p>Plancher : $16.58 \times 6.29 = 104.28$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+4.5}{2} = 13.32$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.8+3.67}{2} = 5.6$</p> <p>Maçonnerie : $1.85 \times \frac{3.45+1.89}{2} \times (3.06 - 0.4) + 1.85 \times \frac{3.67}{2} \times (3.06 - 0.3) = 22.51$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 145.71 + 76.5Br$	$24.87 \times 0.9 = 22.38$	$(1.35 \times (145.71 + 76.5Br) + 1.5 \times 22.38) \times 1.1 \times 1.1 = 278.63 + 124.96Br$	$554.83 + 249.92Br$
3	<p>Plancher : $16.58 \times 6.29 = 104.28$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+4.5}{2} = 13.32$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.8+3.67}{2} = 5.6$</p> <p>Maçonnerie : $1.85 \times \frac{3.45+1.89}{2} \times (3.06 - 0.4) + 1.85 \times \frac{3.67}{2} \times (3.06 - 0.3) = 22.51$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 145.71 + 76.5Br$	$24.87 \times 0.8 = 19.90$	$(1.35 \times (145.71 + 76.5Br) + 1.5 \times 19.90) \times 1.1 \times 1.1 = 274.14 + 124.96Br$	$828.97 + 374.88Br$
4	<p>Plancher : $16.58 \times 6.29 = 104.28$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+4.5}{2} = 13.32$</p>	$24.87 \times 0.7 = 17.41$	$(1.35 \times (145.71 + 76.5Br) + 1.5 \times 17.41) \times 1.1 \times 1.1 = 269.62 + 124.96Br$	$1098.59 + 499.84Br$

	<p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.8+3.67}{2} = 5.6$</p> <p>Maçonnerie : $1.85 \times \frac{3.45+1.89}{2} \times (3.06 - 0.4) + 1.85 \times \frac{3.67}{2} \times (3.06 - 0.3) = 22.51$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G = 145.71 + 76.5Br$</p>			
5	<p>Plancher : $16.58 \times 6.29 = 104.28$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+4.5}{2} = 13.32$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.8+3.67}{2} = 5.6$</p> <p>Maçonnerie : $1.85 \times \frac{3.45+1.89}{2} \times (3.06 - 0.4) + 1.85 \times \frac{3.67}{2} \times (3.06 - 0.3) = 22.51$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G = 145.71 + 76.5Br$</p>	<p>24.87 $\times 0.6 = 14.92$</p>	<p>$(1.35 \times (108.94 + 76.5Br) + 1.5 \times 6.85) \times 1.1 \times 1.1 = 190.38 + 124.96Br$</p>	<p>1288.97 + 624.8Br</p>
S.sol	<p>Plancher : $16.58 \times 6.29 = 104.28$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{4.38+4.5}{2} = 13.32$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{3.8+3.67}{2} = 5.6$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 2.9 = 72.5Br$ $\sum G = 123.2 + 72.5Br$</p>	<p>16.58 $\times 2.5 \times 0.5 = 20.73$</p>	<p>$(1.35 \times (123.2 + 72.5Br) + 1.5 \times 20.73) \times 1.1 \times 1.1 = 238.87 + 118.43$</p>	<p>1527.84 + 743.23Br</p>

Tableau 3-27. Les sections finales des poteaux centraux (Bloc1).

Niveau	BR (cm ²)	A partir de calcul (cm)	A adopter (cm)
Terrasse accessible	0	0	0
1	151.93	14.33	30
2	303.12	19.35	30
3	449.82	23.14	40
4	592.11	26.26	40
5	690.07	28.19	40
6	768.29	29.72	40

La vérification : $\lambda = \frac{\sqrt{12} \cdot 0.7 \times 3.06}{0.3} = 24.73 < 50$

$\alpha = \frac{0.85}{\left(1 + 0.2 \left(\frac{24.73}{35}\right)^2\right)} = 0.77$

$Br_{exct} = (30-2)^2 > Br_{cal} = \frac{276.2 \times 10^3}{25.5 \times 0.77 - (124.96 \times 10^{-3})} \times 10^{-2} \quad 784 > 141.57 \dots \text{Vérfiée}$

La même méthode avec les autres étages, Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 3-28. Vérification des sections des poteaux centraux Bloc 1.

Niveau	Br _{exct} (cm ²)	Br _{cal} (cm ²)	Observation
1	784	141.57	Vérfiée
2	784	286.21	Vérfiée
3	1444	429.27	Vérfiée
4	1444	572.59	Vérfiée
5	1444	676.23	Vérfiée
6	1444	768.29	Vérfiée

Tableau 3-29. Les poteaux centraux (Bloc2).

Niveaux	G (kN/m ²)	Q(kN/m ²)	Nu=(1.35G+1.5Q) × 1.1 × 1.1	Nu cumule (kN/m ²)
Terrasse Accessible	<p>Plancher : 21.31×7.2=153.43</p> <p>Poutre : 25×0.4×0.3× $\frac{5.83+4.2}{2}$=15.05</p> <p>Chainage : 25×0.3× 0.2 × $\frac{4+4.5}{2}$=6.38</p> <p>Poteau : 25×Br×3.06=76.5Br</p> <p>$\sum G$ = 174.86 + 76.5Br</p>	1×21.31=21.31	(1.35× (174.86 + 76.5Br)+1.5×21.31) × 1.1 × 1.1=324.31+124.96Br	324.31+124.96Br

1	<p>Plancher : $21.31 \times \frac{3}{4} \times 6.29 = 100.53$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.83+4.2}{2} = 13.32$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 120.23 + 76.5Br$	$(1.5 \times 21.31) = 31.97$	$(1.35 \times (120.23 + 76.5Br) + 1.5 \times 31.97) \times 1.1 \times 1.1 = 254.42 + 124.96Br$	$578.73 + 249.92Br$
2	<p>Plancher : $21.31 \times \frac{3}{4} \times 6.29 = 100.53$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.83+4.2}{2} = 13.32$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 120.23 + 76.5Br$	$31.97 \times 0.9 = 28.77$	$(1.35 \times (120.23 + 76.5Br) + 1.5 \times 28.77) \times 1.1 \times 1.1 = 248.61 + 124.96Br$	$827.34 + 374.88Br$
3	<p>Plancher : $21.31 \times \frac{3}{4} \times 6.29 = 100.53$</p> <p>Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.83+4.2}{2} = 13.32$</p> <p>Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$</p> <p>Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$</p> $\sum G$ $= 120.23 + 76.5Br$	$31.97 \times 0.8 = 25.58$	$(1.35 \times (120.23 + 76.5Br) + 1.5 \times 25.58) \times 1.1 \times 1.1 = 242.82 + 124.96Br$	$1070.16 + 499.84Br$
4	<p>Plancher : $21.31 \times \frac{3}{4} \times 6.29 = 100.53$</p>	$31.97 \times 0.7 = 22.38$	$(1.35 \times (120.23 + 76.5Br) + 1.5 \times 22.38) \times 1.1 \times 1.1 = 237.02 + 124.96Br$	$1307.18 + 624.8Br$

	Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.83+4.2}{2} = 13.32$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 120.23 + 76.5Br$			
5	Plancher : $21.31 \times \frac{3}{4} \times 6.29 = 100.53$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.83+4.2}{2} = 13.32$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$ Poteau : $25 \times Br \times 3.06 = 76.5Br$ $\sum G$ $= 120.23 + 76.5Br$	$31.97 \times 0.6 = 19.18$	$(1.35 \times (120.23 + 76.5Br) + 1.5 \times 19.18) \times 1.1 \times 1.1 = 231.21 + 124.96Br$	$1538.39 + 749.76Br$
S.sol	Plancher : $21.31 \times 6.29 = 134.04$ Poutre : $25 \times 0.4 \times 0.3 \times \frac{5.83+4.2}{2} = 13.32$ Chainage : $25 \times 0.3 \times 0.2 \times \frac{4+4.5}{2} = 6.38$ Poteau : $25 \times Br \times 2.9 = 72.5Br$ $\sum G$ $= 153.74 + 72.5Br$	$21.31 \times 2.5 \times 0.5 = 26.64$	$(1.35 \times (153.74 + 72.5Br) + 1.5 \times 26.64) \times 1.1 \times 1.1 = 299.49 + 118.43Br$	$1837.88 + 868.19Br$

Tableau 3-30. Les sections finales des poteaux centraux (Bloc2).

Niveau	BR (cm ²)	A partir de calcul (cm)	A adopter (cm)
Terrasse	178.40	15.36	30
1	316.18	19.78	30
2	448.94	23.19	40
3	576.79	26.02	40

4	699.82	28.45	40
5	818.13	30.60	40
6	930.04	32.5	40

La vérification :

$$\lambda = \frac{\sqrt{12} \cdot 0.7 \times 3.06}{0.3} = 24.73 < 50$$

$$\alpha = \frac{0.85}{\left(1 + 0.2 \left(\frac{24.73}{35}\right)^2\right)} = 0.77$$

$$Br_{\text{exct}} = (30-2)^2 > Br_{\text{cal}} = \frac{324.31 \times 10^3}{25.5 \times 0.77 - (124.96 \times 10^{-3})} \times 10^{-2}$$

784 > 166.23 ... Vérifiée

La même méthode avec les autres étages, Les résultats sont représenté dans le tableau suivant :

Tableau 3-31. Vérification des sections des poteaux centraux Bloc 2.

Niveau	Br_{exct} (cm ²)	Br_{cal} (cm ²)	Observation
Terrasse	784	166.23	Vérifiée
1	784	298.54	Vérifiée
2	1444	428.43	Vérifiée
3	1444	557.78	Vérifiée
4	1444	685.78	Vérifiée
5	1444	812.41	Vérifiée
6	1444	930.04	Vérifiée

3.4 Calcul des éléments non structuraux

3.4.1 Plancher en corps creux

3.4.1.1 Les poutrelles

Le calcul se fait en deux étapes :

1ère étape : Avant le coulage de la table de compression.

2ème étape : Après le coulage de la table de compression.

3.4.1.1.1 Etape 1 :

Avant le coulage de la table de compression ; Considérant une poutrelle de longueur de travée L = 4,90 m et que la poutrelle est simplement appuyée à ses extrémités, elle supporte :

- Son poids propre.
- Poids du corps creux.
- Surcharge due à l'ouvrier Q=1kN/m²

Tableau 3-32. Evaluation des charges et surcharges.

Poids propre de la poutrelle $0.12 \times 0.04 \times 25 = 0.12 \text{ kN/ml}$

Poids du corps creux	$0.53 \times 0.16 \times 14 = 1.19 \text{ kN/ml}$
$G = 1.31 \text{ KN/ml}$	

Charges d'exploitation (Q)	$1 \times 0.53 = 0.53 \text{ KN/ml}$
----------------------------	--------------------------------------

Tableau 3-33. Combinaison des charges et calcul des moments

E.L.U $q_u = 1,35(1.31) + 1,5(0.53) = 2.56 \text{ kN/ml}$

	$M_u = \frac{2.56 \times 4.9^2}{8} = 7.68 \text{ kN.m}$
E.L.S	$q_{ser} = 1.31 + 0.53 = 1.84 \text{ kN/ml}$
	$M_{ser} = \frac{1.84 \times 4.9^2}{8} = 5.52 \text{ kN.m}$

Ferraillage :

La poutre est sollicitée à la flexion simple à l'E.L.U

Où : $M_u = 7.68 \text{ kN.m}$ $b = 12 \text{ cm}$ $d = 0.9(4) = 3.6 \text{ m}$ $\sigma_{bc} = 14.17 \text{ MPa}$

D'après l'organigramme de la flexion simple on a

$$\mu = \frac{7.68 \times 10^3}{12 \times 3.6^2 \times 14.17} = 3.49 > \mu_l = 0.392$$

Donc, les armatures de compression sont nécessaires, mais il est impossible de les placer

Point de vue pratique, car la section du béton est trop faible.

On prévoit donc des étaielements pour aider la poutrelle à supporter les charges qui lui reviennent avant et lors du coulage sans qu'elles fléchissent.

3.4.1.1.2 Etape 2 : Après le coulage de la table de compression

Après le coulage et durcissement du béton de la dalle de compression, la poutrelle travaillera comme une poutrelle en « Té »

3.4.1.1.2.1 Evaluation des charges et surcharges :

ELU : $q_u = 1.35G + 1.5Q$

$P_u = 0.53 \times q_u$

ELS : $q_s = G + Q$

$P_s = 0.53 \times q_s$

Tableau 3-34. Evaluation des charges et surcharges.

	Q	G	ELU		ELS	
			qu	pu	qs	ps
Terrasse inaccessible	1	7.2	11.22	5.95	8.2	4.35
Etages	1.5	6.29	10.74	5.69	7.79	4.13

3.4.1.1.2.2 Calcul les efforts internes :

Méthode de forfaitaire :

Domaine d'application :

$$1 \leq \max \{2G; 5\text{KN}\times\text{m}^2\}$$

$$1 \leq \max \{2(7.2); 5\}$$

$$1 \leq 14.4 \text{ kN}\times\text{m}^2$$

$$\frac{3.7}{4} = 0.925 \quad 0.8 \leq 0.925 \leq 1.25$$

$$\frac{4}{4.5} = 0.889 \quad 0.8 \leq 0.889 \leq 1.25$$

$$\frac{4.5}{3.6} = 1.25 \quad 0.8 \leq 1.25 \leq 1.25$$

$$\frac{3.6}{3.6} = 1 \quad 0.8 \leq 1 \leq 1.25$$

- Les moments d'inertie des sections transversales sont les même dans les différentes travées en continuité
- Type de fissuration : non préjudiciable
- Donc les conditions de méthode forfaitaire sont vérifiées.
- Principe de la méthode

Moment en travée :

$$M_T \geq \max \{ (1.05M_0) ; (1 + 0.3\alpha)M_0 \} - \frac{M_w - M_e}{2}$$

Avec :

$$\alpha = \frac{Q}{G + Q}$$

$$M_0 = \frac{ql^2}{8}$$

(M_w ; M_e) : Les valeurs absolues des moments sur appuis de gauche et de droite respectivement dans la travée considérée.

M_T : Le moment maximal en travée dans la travée considérée.

Moments sur appuis :

Appui de rive : **0.2M₀**

Appui voisins des appuis de rives d'une poutre a plus de deux travées : **0.5 M₀**

Appui intermédiaire d'une poutre a plus de deux travées : **0.4 M₀**

Efforts tranchants :

$$T_w = \frac{ql}{2} + \frac{M_e - M_w}{l} \text{ (Effort tranchant à gauche de la travée considéré).}$$

$$T_e = -\frac{ql}{2} + \frac{M_e - M_w}{l} \text{ (Effort tranchant à droite de la travée considéré).}$$

a) a ELU

En 5 travées :

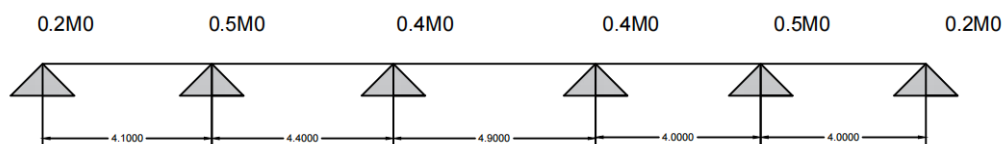


Tableau 3-35. Dalle à cinq travées à ELU.

	Travée 1	Travée 2	Travée 3	Travée 4	Travée 5	
Longueur	4.1	4.4	4.9	4	4	
Pu	5.95	5.95	5.95	5.95	5.95	
M ₀	12.5	14.4	17.86	11.9	11.9	
Ma	2.5	7.2	7.14	4.76	5.95	2.38
α	0.122	0.122	0.122	0.122	0.122	
M _T	15.48	15.09	17.56	13.1	10.71	
T _w	13.34	13.08	14.09	12.2	11.01	
T _e	-11.05	-13.1	-15.06	-11.6	-12.8	

En 3 travées :

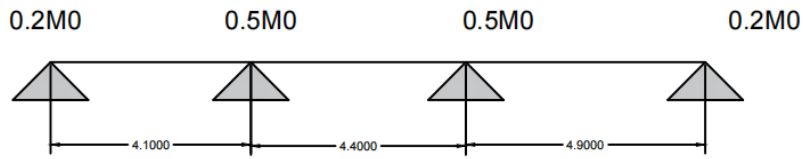


Tableau 3-36. Dalle à trois travées à ELU.

	Travée 1	Travée 2	Travée 3
Longueur	4.1	4.4	4.9
P _u	5.95	5.95	5.95
M ₀	12.5	14.4	17.86
M _a	2.5	7.2	8.93
α	0.122	0.122	0.122
M _T	15.48	16.02	16.07
T _w	13.34	13.48	13.48
T _e	-11.05	-12.70	-15.67

a) à ELS

En 5 travées :

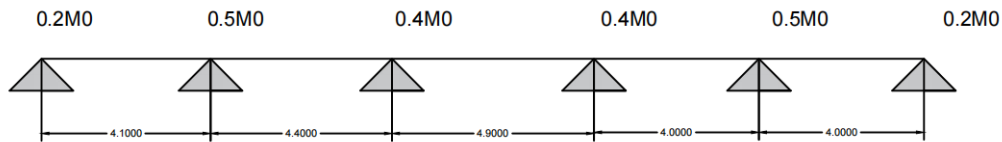


Tableau 3-37. Dalle à cinq travées à ELS.

	Travée 1	Travée 2	Travée 3	Travée 4	Travée 5
Longueur	4.1	4.4	4.9	4	4
P _u	4.35	4.35	4.35	4.35	4.35
M ₀	9.14	10.53	13.06	8.7	8.7
M _a	1.83	5.27	5.22	3.48	4.35
α	0.122	0.122	0.122	0.122	0.122
M _T	11.32	11.04	12.84	9.58	7.83
T _w	9.76	9.56	0.30	8.92	8.05
T _e	-8.07	-9.58	-11.01	-8.48	-9.35

En 3 travées :

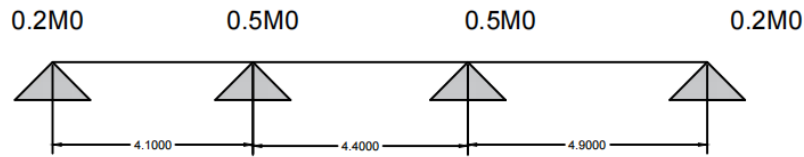


Tableau 3-38. Dalle à trois travées à ELS.

	Travée 1	Travée 2	Travée 3
longueur	4.1	4.4	4.9
P_u	4.35	4.35	4.35
M_0	9.14	10.53	13.06
M_a	1.83	5.27	2.61
α	0.122	0.122	0.122
M_T	11.32	11.55	11.75
T_w	9.75	9.86	9.86
T_e	-8.08	-9.28	-11.46

D'après les résultats obtenus de la méthode de forfaitaire :

Tableau 3-39. Résultat de la méthode forfaitaire.

	M_T (kN.m)	M_a (kN.m)	T (kN)
ELU	17.56	8.93	15.67
ELS	12.84	6.53	11.46

3.4.1.1.2.3 Calcul le ferrailage

Tableau 3-40. Les données pour le calcul de ferrailage.

h	h_0	b	b_0	b_1	d	σ_{bc}	σ_{st}
20	4	53	12	20.5	18	14.17	348

3.4.1.1.2.3.1 En travée

Le calcul des sections en forme de « Té » s'effectue différemment selon que l'axe neutre est dans la table ou dans la nervure.

Si $M_u < M_{tab}$: l'axe neutre est dans la table de compression.

Si $M_u > M_{tab}$: l'axe neutre est dans la nervure.

Avec :

$$M_{tab} = b \times h_0 \times f_{bu} \left(d - \frac{h_0}{2} \right) = 53 \times 4 \times 14.17 \times \left(18 - \frac{4}{2} \right) \times 10^{-3} = 48.06 \text{ kN.m}$$

On a: $M_T = 17.89 \text{ KNm} < M_{tab} = 48.06 \text{ KN.m}$

L'axe neutre est dans la table de compression.

Puisque le béton tendu ne joue aucun rôle dans les calculs de résistance, on procède au calcul en pensant que la section est rectangulaire, avec une largeur constante égale à la largeur de la table "b" ; donc, la section étudiée est assimilée à une section rectangulaire (b x h) en flexion simple.

En utilisant l'organigramme donnant le ferrailage d'une section soumise à la flexion, on aura les résultats suivants :

Tableau 3-41. Les résultats du calcul ferrailage en travée.

$M_T(\text{kN.m})$	μ	μ	μ	As'	α	β	$As(\text{cm}^2)$	$A_{\min}(\text{cm}^2)$	Choix
		$< \mu_R$	$< \mu_R$						
17.56	0.072	oui	oui	0	0.0935	0.963	2.91	1.15	3HA12=3.39cm ²

3.4.1.1.2.3.2 Sur Appui

On a: $M_{tab} = 8.93 \text{ KN.m} < M_{tab} = 48.06 \text{ KN.m}$

L'axe neutre est dans la table de compression ; donc, la section étudiée est assimilée à une section rectangulaire (b₀ x h) en flexion simple.

En utilisant l'organigramme donnant le ferrailage d'une section soumise à la flexion, on aura les résultats suivants :

Tableau 3-42. Les résultats du calcul ferrailage sur appui.

$M_a(\text{kN.m})$	μ	μ	μ	As'	α	β	$As(\text{cm}^2)$	$A_{\min}(\text{cm}^2)$	Choix
		$< \mu_L$	$< \mu_R$						
8.93	0.195	oui	non	0	0.268	0.2192	1.93	0.26	3HA10=2.35cm ²

3.4.1.1.2.3.3 Calcul des armatures transversales et l'espacement

Pour l'effort tranchant, la vérification du cisaillement se fera dans le cas le plus défavorable c.à.d. T_u

$$\tau_u = \frac{T_u}{b_0 \cdot d}$$

On doit Vérifier que : $\tau_u \leq \bar{\tau}$

En fissuration préjudiciable ou très préjudiciable :

$$\bar{\tau} = \min(0,1 f_{c28}, 4 \text{ MPa}).$$

$$\bar{\tau} = \min(0,1 \times 25, 4 \text{ MPa}) = \mathbf{2.5 \text{ MPa}}$$

$$T_u = 15.67 \text{ KN}$$

$$\tau_u = \frac{15.67 \times 10^3}{12 \times 18 \times 10^2} = \mathbf{0.73 \text{ MPa}}$$

$$\tau_u = 0.73 \leq \bar{\tau} = 2.5 \text{ MPa} \dots \text{Vérifiée}$$

Donc, il n'y a pas de risque de cisaillement.

3.4.1.1.2.4 Vérifications :

3.4.1.1.2.4.1 Effort tranchant :

a) Selon le BAEL 91 modifié 99

$$\frac{A_t}{b_0 St} \geq \frac{\tau_u - 0.3 \times ft28 \times K}{0.8 fe}$$

$$St \leq \min(0.9 d; 40 \text{ cm})$$

$$St \leq \min(0.9 \times 18; 40 \text{ cm})$$

$$St \leq \min(16.2; 40 \text{ cm})$$

$$\mathbf{St = 15 \text{ cm}}$$

$$\frac{3.39}{12 \times 15} \geq \frac{0.73 - 0.3 \times 2.1 \times 1}{0.8 \times 400}$$

$$\mathbf{0.019 > 3.125 \times 10^{-4} \dots \text{Vérifiée.}}$$

$$\frac{A_t \times fe}{b_0 St} \geq \max\left(\frac{\tau_u}{2}; 0.4 \text{ Mpa}\right)$$

$$\frac{3.39 \times 400}{12 \times 15} \geq \max\left(\frac{0.73}{2}; 0.4 \text{ Mpa}\right)$$

$$\mathbf{7.53 > 0.4 \text{ Mpa} \dots \text{Verifée}}$$

b) Selon RPA 99

$$\frac{A_t}{St} \geq 0.003 \times b_0$$

$$\frac{3.39}{15} \geq 0.003 \times 12$$

$$\mathbf{0.23 > 0.036 \dots \text{Verifée}}$$

$$St \leq \min\left(\frac{h}{4}; 12\emptyset\right) \dots \text{zone nodale}$$

$$St \leq \min\left(\frac{20}{4}; 12 \times 1.2\right)$$

$$St \leq \min(5\text{cm}; 14.4\text{ cm})$$

$$St = 5\text{cm}$$

$$St \leq \frac{h}{2} \dots \text{Zone courante}$$

$$St \leq \frac{20}{2} = 10\text{ cm}$$

Avec :

$$\phi t \leq \min\left(\frac{h}{35}; \phi l; \frac{b}{10}\right)$$

$$\phi t \leq \min\left(\frac{20}{35} = 0.57; 1.2; \frac{53}{10} = 5.3\right)$$

$$\phi t \leq 0.57\text{ cm}$$

$$\phi t = 5\text{mm}$$

3.4.1.2 Vérification aux voisinages des appuis

a) Appui de rive

Vérification de la compression du béton

$$\sigma_b = \frac{T_u}{0.9 \cdot b \cdot d} \leq 0.4 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

$$\sigma_b = \frac{13.48}{0.9 \times 120 \times 180} \leq 0.4 \frac{25}{1.5}$$

$$\sigma_b = 0.693 \leq 6.67\text{ Mpa} \dots \text{Verifiée}$$

Vérification des armatures longitudinale :

$$A_s \geq \frac{T_u}{\frac{f_e}{\gamma_s}}$$

$$m^2 \geq \frac{13.48}{\frac{400}{1.15}} = 0.039\text{ cm}^2 \dots \text{Verifiée}$$

b) Appui intermédiaire

Vérification de la compression du béton

$$\sigma_b = \frac{T_u}{0.9 \cdot b \cdot d} \leq 0.4 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}$$

$$\sigma_b = \frac{15.67}{0.9 \times 120 \times 180} \leq 0.4 \frac{25}{1.5}$$

$$\sigma_b = 0.806 \leq 6.67 \text{ Mpa} \dots \text{Verifée}$$

Vérification des armatures longitudinale :

$$A_s \geq \frac{T_u - \frac{M_a}{0.9 \times d}}{f_e}$$

$$2.35 \text{ cm}^2 \geq \frac{15.67 - \frac{8.93 \times 10^3}{0.9 \times 18}}{348} = 0.43 \text{ cm}^2 \dots \text{Verifée}$$

3.4.1.2.1.1 Vérification à ELS

Vérification des contraintes du béton :

Soit « y » la distance du centre de gravité de la section homogène (par lequel passe, l'axe neutre) à la fibre la plus comprimé.

La section étant soumise à un moment M_{ser} , la contrainte à une distance « y » de l'axe neutre :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_{ser}}{I} y$$

D'après l'organigramme de la vérification d'une section rectangulaire à l'ELS,

On doit Vérifiée que : $\sigma_{bc} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28} = 15 \text{ MPa}$

En travée :

Détermination de l'axe neutre :

$$y = -D + \sqrt{D^2 + E}$$

$$D = \frac{15}{b} \times (\sigma_b + A_s)$$

$$D = \frac{15}{53} \times (0.693 + 3.39)$$

$$\mathbf{D = 1.16 \text{ cm}}$$

$$E = \frac{30}{b} \times (\sigma_b \times 4 + A_s \times d)$$

$$E = \frac{30}{53} \times (0.693 \times 4 + 3.39 \times 18)$$

$$E = 36.11 \text{ cm}$$

$$y = -1.16 + \sqrt{1.16^2 + 36.11}$$

$$\mathbf{y = 4.96 \text{ cm}}$$

$y > h_0$: la distance « y » et le moment d'inertie « I » se calculent par les formules qui suivent :

$$I = \frac{b_0}{3} y^3 + \frac{(b-b_0) \times h_0^3}{12} + (b-b_0) \times h_0 \times \left(y - \frac{h_0}{2}\right)^2 + 15[As(d-y)^2]$$

$$I = \frac{12}{3} 4.96^3 + \frac{(53-12) \times 4^3}{12} + (53-12) \times 4 \times \left(4.96 - \frac{4}{2}\right)^2 + 15[3.39(18-4.96)^2]$$

$$I = 10322.02 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I}$$

$$K = \frac{12.84 \times 10^3}{10322.02} = 1.24$$

$$\sigma_b = Ky$$

$$\sigma_b = 1.24 \times 4.96$$

$$\sigma_b = 6.15 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_b \leq \bar{\sigma}_{bc}$$

$$6.15 \leq 15 \text{ MPa} \dots \text{Verifée}$$

Tableau 3-43. Résultat de la vérification.

	$M_{ser}(\text{kN/m})$	$As(\text{cm}^2)$	D	E	Y(cm)	I (cm ⁴)	K	σ_{bc}	Vérification
Travée	12.84	3.39	1.16	36.11	4.96	10322.02	1.24	6.15	Ok
Appui	6.53	2.35	0.86	90.14	8.67	10617.99	0.61	5.29	Ok

3.4.1.2.1.1.2 Vérification de la flèche

Vérifications des conditions

La vérification de la flèche n'est pas nécessaire si les conditions suivantes sont vérifiées

:

$$\frac{h}{L} \geq \frac{1}{22.5} \leftrightarrow \frac{20 \times 10^{-2}}{4.9} = \mathbf{0.0408} \geq \mathbf{0.044} \dots \text{Non vérifiée}$$

$$\frac{As}{b_0.d} \leq \frac{3.2}{fe} \leftrightarrow \frac{3.39}{12 \times 18} = \mathbf{0.016} \leq \frac{3.2}{400} = \mathbf{0.008} \dots \text{Non vérifiée}$$

$$\frac{h}{L} \geq \frac{Mt}{15M_0} \leftrightarrow \frac{20 \times 10^{-2}}{4.9} = \mathbf{0.0408} \geq \frac{17.56}{15 \times 17.86} = \mathbf{0.066} \dots \text{Non vérifiée}$$

Les conditions ne sont pas vérifiées donc il est nécessaire de calculer la flèche.

La flèche totale

$$\Delta f_T = f_v - f_i \leq \bar{f}$$

$$\text{Avec : } \bar{f} = \frac{L}{500} + 0.5 \text{ cm}$$

$$\bar{f} = \frac{490}{500} + 0.5 \text{ cm}$$

$$\bar{f} = 1.48 \text{ cm}$$

Position de l'axe neutre y_1 :

$$y_1 = \frac{bh_0 \times \frac{h_0}{2} + (h-h_0)b_0 \times \left(\frac{h-h_0}{2} + h_0\right) + 15As \times d}{b \times h_0 + (h-h_0)b_0 + 15As}$$

$$y_1 = \frac{53 \times 4 \times \frac{4}{2} + (20-4)12 \times \left(\frac{20-4}{2} + 4\right) + 15 \times 3.39 \times 18}{53 \times 4 + (20-4)12 + 15 \times 3.39}$$

$$y_1 = 15.47 \text{ cm}$$

Moment d'inertie de la section totale homogène I_0

$$I_0 = \frac{b}{3} \times y_1^3 + \frac{b_0}{3} (h - y_1)^3 - \frac{(b-b_0)}{3} (y_1 - h_0)^3 + 15 \times As (d - y_1)^2$$

$$I_0 = \frac{53}{3} \times 15.47^3 + \frac{12}{3} (20 - 15.47)^3 - \frac{(53-12)}{3} (15.47 - 4)^3 + 15 \times 3.39 (18 - 15.47)^2$$

$$I_0 = 45481.48 \text{ cm}^4$$

Calcul les moments d'inertie fictive :

$$I_{fi} = \frac{1.1 \times I_0}{1 + \lambda i \times \mu} \quad I_{fv} = \frac{I_0}{1 + \lambda v \times \mu}$$

Avec

Pourcentage des armatures :

$$\delta = \frac{As}{b_0 d}$$

$$\delta = \frac{3.39}{12 \times 18}$$

$$\delta = 0.016$$

La déformation instantanée

$$\lambda_i = \frac{0.05 \times ft_{28}}{\delta \left(2 + 3 \frac{b_0}{b}\right)}$$

$$\lambda_i = \frac{0.05 \times 2.1}{0.016 \left(2 + 3 \times \frac{12}{53}\right)}$$

$$\lambda_i = 2.45$$

La déformation différée

$$\lambda_v = \frac{0.02 \times ft_{28}}{\delta \left(2 + 3 \frac{b_0}{b}\right)}$$

$$\lambda_v = \frac{0.02 \times 2.1}{0.016 \left(2 + 3 \times \frac{12}{53}\right)}$$

$$\lambda_v = 0.98$$

$$\sigma_s = \frac{M_{ser}}{A_s \times d}$$

$$\sigma_s = \frac{12.84 \times 10^3}{3.39 \times 18}$$

$$\sigma_s = 210.42 \text{ Mpa}$$

$$\mu = 1 - \frac{1.75 \times ft_{28}}{4 \times \delta \times \sigma_s + ft_{28}}$$

$$\mu = 1 - \frac{1.75 \times 2.10}{4 \times 0.016 \times 210.42 + 2.1}$$

$$\mu = 0.87$$

$$I_{fi} = \frac{1.1 \times 45481.48}{1 + 2.45 \times 0.87} = 15976.25$$

$$I_{fv} = \frac{45481.48}{1 + 0.98 \times 0.87} = 245550.1$$

Les modules de déformations

$$E_i = 11000 (fc_{28})^{\frac{1}{3}} = 32164.20 \text{ MPa}$$

$$E_v = 3700 (fc_{28})^{\frac{1}{3}} = 10818.86 \text{ MPa}$$

Calcul de la flèche instantané

$$fi = \frac{M_{ser} \times l^2}{10 E_i \times I_{fi}}$$

$$fi = \frac{12.84 \times 10^3 \times 490^2}{10 \times 32164.20 \times 15976.25}$$

$$f_i = 0.6 \text{ cm}$$

Calcul de la flèche diffère :

$$f_v = \frac{M_{\text{ser}} \times l^2}{10Ei \times I_{fv}}$$

$$f_v = \frac{12.84 \times 10^3 \times 490^2}{10 \times 10818.86 \times 245550.1}$$

$$f_v = 1.16 \text{ cm} \Delta f_T = 1.16 - 0.6 = 0.56 \text{ cm} \leq 1.48 \text{ cm} \dots \text{Vérifiée}$$

3.4.1.2.1.3 Schéma des armatures

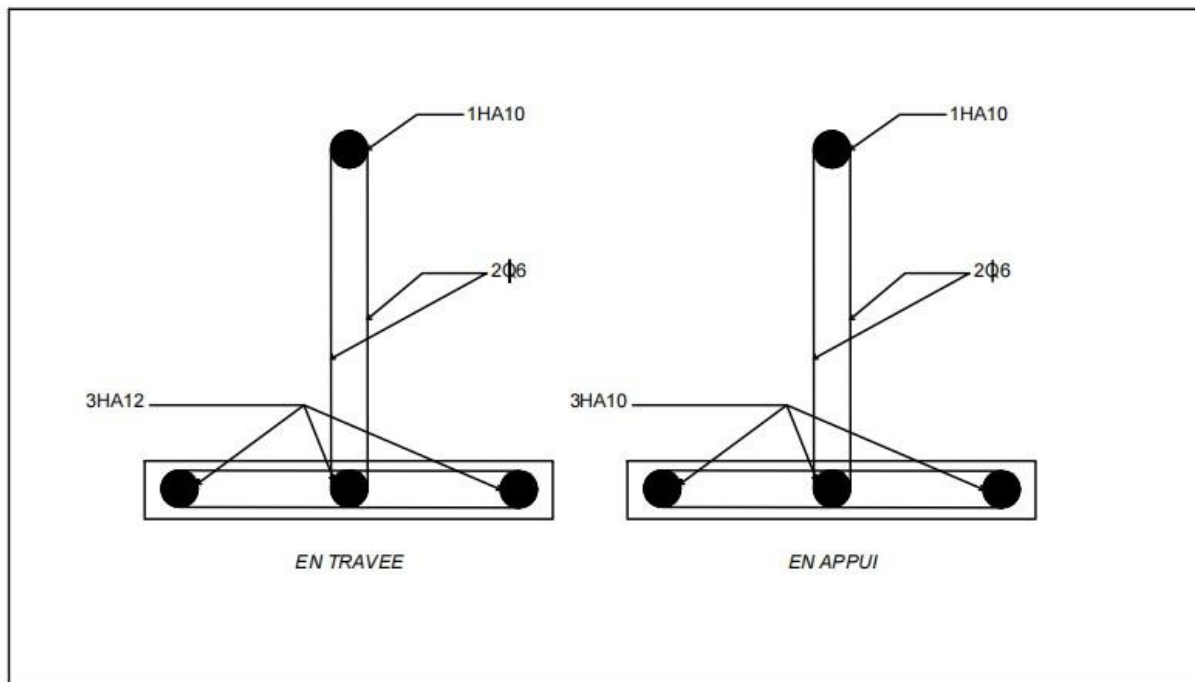


Figure 3-15. Schéma du ferrailage des poutrelles.

3.4.1.2.1.2 Ferrailage de la dalle de compression :

Le ferrailage de la dalle de compression doit se faire par un quadrillage en treillis soudée dont les dimensions des mailles ne doivent pas dépasser :

- 20cm : Dans le sens parallèle aux poutrelles.
- 30cm : Dans le sens perpendiculaire aux poutrelles.

$$\text{Si} \begin{cases} 50 \leq L_1 \leq 80 \text{ cm} & A_1 = \frac{4L_1}{f_e} \\ L_1 \leq 50 \text{ cm} & A_2 = \frac{200}{f_e} \end{cases}$$

Avec :

L_1 : Distance entre axes des poutrelles ($L_1 = 53 \text{ cm}$)

A_1 : Armatures perpendiculaires aux poutrelles (AP)

A_2 : Armatures parallèles aux poutrelles (AR)

$F_e = 520 \text{ MPa}$ ($\emptyset \leq 6 \text{ mm}$)

On a: $L1 = 53 \text{ cm}$

$A_1 = 0.41 \text{ cm}^2/\text{ml}$

Choix : $6\emptyset 6 = 1.70 \text{ cm}^2$

$St = \frac{100}{5} = 20 \text{ cm}$

Armatures de répartitions :

$A_2 = A_1 / 2 = 0.85 \text{ cm}^2$

Soit : $6T6 = 1,70 \text{ cm}^2 \rightarrow St = 20 \text{ cm}$

Conclusion :

Pour le ferrailage de la dalle de compression, on adopte un treillis soudé $\Phi = 6 \text{ mm}$ dont la dimension des mailles est égale à 20 cm suivant les deux sens.

3.4.1.2.1.2.1 Schéma de ferrailage

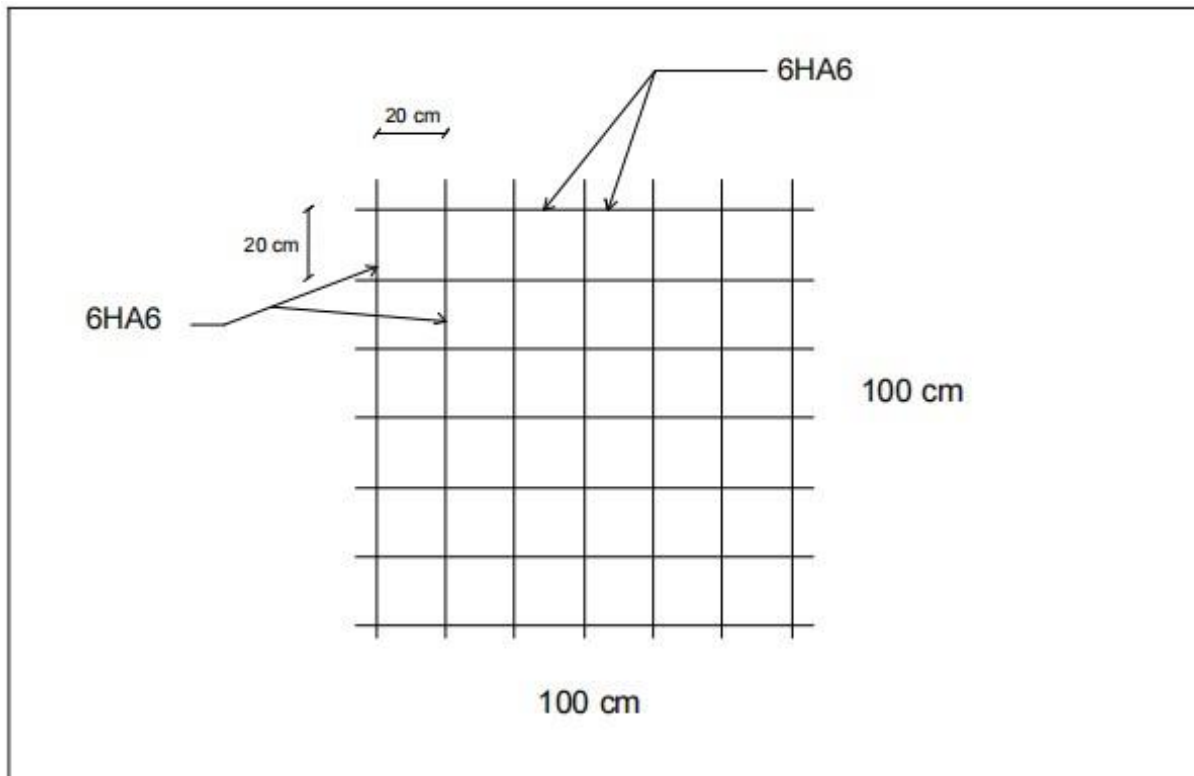


Figure 3-16. Disposition constructive des armatures de la table de compression.

3.4.2 Acrotère

3.4.2.1 Hypothèse de calcul

Le calcul de l'acrotère se fera pour une bonde de 1m de longueur.

Le calcul sera fait en flexion composée.

Type de fissuration est nuisible.

3.4.2.2 Evaluation des charges

a) Charge permanent

$$S=[(0.7 \times 0.15) + (0.8 \times 0.1) + (0.02 \times 0.1)] \times \frac{1}{2} = 0.114 \text{ m}^2$$

$$G_1 = 0.114 \times 25 \times 1$$

$$G_1 = 2.85 \text{ kN}$$

Poids d'enduit extérieur (ciment e=1.5cm)

$$G_2 = 18 \times 0.015 \times 0.7 \times 1$$

$$G_2 = 0.189 \text{ kN}$$

$$G_3 = 18 \times 0.02 \times 0.7 \times 1$$

$$G_3 = 0.252 \text{ kN}$$

$$G_T = 2.85 + 0.189 + 0.252$$

$$G_T = 3.291 \text{ kN}$$

b) Charge d'exploitation

$$Q = 1 \text{ kN}$$

c) La force sismique

La force sismique est donnée par la formule suivante selon le RPA99 (art 6,2.3) :

$$F_P = 4AC_P W_P$$

Avec :

A : Coefficient d'accélération de zone obtenu dans le tableau (4.1, RPA99) selon la zone et le type d'usage.

Pour zone III et groupe d'usage 2 : A=0.25.

C_p : Facteur de force horizontale variant entre 0.3 et 0.8 (Tableau 6.1, RPA99).

On prend C_p=0.8

W_p : Poids d'élément considère.

$$F_p = 4 \times 0.25 \times 0.8 \times 3.291$$

$$F_p = 2.63 \text{ kN}$$

3.4.2.3 Calcul les sollicitations

L'acrotère est soumis à :

$$N_G = 3.291 \text{ KN} \quad M_G = 0$$

$$N_Q = 0 \quad M_Q = Q.H = 1 \times 0.7 \text{ kN.m}$$

$$N_{Fp} = 0 \quad M_{Fp} = F_p \times \frac{H}{2} = 2.63 \times \frac{0.7}{2} = 0.92 \text{ kN.m}$$

Tableau 3-44. Combinaison d'action.

	ELA	ELU	ELS
	G+Q+E	1.35G+1.5Q	G+Q
N(kN)	3.291	4.44	3.291
M(kN.m)	1.62	1.05	0.7

Conclusion : La combinaison considère est : ELA

$$e = e_1 + e_a + e_2$$

$$e_1 = \frac{M}{N} = \frac{1.62}{3.291} = 0.49 \text{ m}$$

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

$$\phi = 2$$

$$\alpha = 0$$

$$L_f = 2(0.7) = 1.4 \text{ m}$$

$$e_2 = \frac{3 \times 1.4^2 (2 + 0 \times 2)}{10^4 \times 0.15} = 7.84 \times 10^{-3} \text{ m.}$$

$$e_a = \max \left\{ 2 \text{ cm} ; \frac{70}{250} = 0.28 \right\}$$

$$e_a = 2 \text{ cm.}$$

$$e = 0.49 + 0.02 + 7.84 \times 10^{-3}$$

$$e = 0.52 \text{ m}$$

Sollicitation majorée

$$M_{ELA} = M_{ELA} \cdot Q + e \cdot N_{ELA}$$

$$M_{ELA} = 1.62 + 0.52 \times 3.291$$

$$M_{ELA}=3.33 \text{ kN.m}$$

3.4.2.4 Calcul le ferrailage

$$M_{uf} = M_{ELA} + (d - \frac{h}{2})$$

$$M_{uf} = 3.33 + (0.135 - \frac{0.15}{2}) = 3.39 \text{ kN.m}$$

Le moment réduit

$$\mu = \frac{M_{uf}}{b \cdot d^2 \cdot \sigma_{bc}}$$

$$\mu = \frac{3.39 \times 10^{-3}}{1 \times 0.135^2 \times 14.17} = 0.013 < 0.186 \rightarrow A_s' = 0$$

La section fictive d'acier tendue

$$\alpha = 1.25(\sqrt{1 - 2\mu})$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.013})$$

$$\alpha = 0.016 < 0.259 \rightarrow \text{Pivot } A\beta = 0.992$$

$$A_{su} = \frac{Mu}{\beta d \sigma_{st}} = \frac{3.39 \times 10^3}{0.992 \times 13.5 \times 348} = 0.73 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{\min} = \max \left\{ \frac{100 \times 15}{1000} = 1.5 ; 0.23 \times 100 \times 13.5 \times \frac{2.1}{400} = 1.63 \right\}$$

$$A_{\min} = 1.63 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \max \{0.73 ; 1.63\}$$

$$A_s = 1.63 \text{ cm}^2$$

Choix des armatures : $4\emptyset 8 = 2.01 \text{ cm}^2$

Espacement des armatures

$$S_t = \frac{100}{4} = 25 \text{ cm}$$

Armatures des répartitions

$$A_r = \frac{2.01}{4} = 0.503 \text{ cm}^2$$

Choix des armatures : $4\emptyset 6 = 1.13 \text{ cm}^2$

Espacement des armatures

$$S_t = \frac{60}{4} = 15 \text{ cm}$$

3.4.2.5 Vérification au cisaillement

$$\tau \leq \bar{\tau}$$

$$V_u = 2.63 + 1 = \mathbf{3.63 \text{ KN}}$$

$$\tau = \frac{3.63 \times 1000}{1000 \times 135} = 0.027 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} < \min(0.1 \times 25; 4 \text{ MPa})$$

$$\bar{\tau} \leq 2.5 \text{ MPa}$$

$$0.027 < 2.5$$

Donc la condition de cisaillement est vérifiée.

3.4.2.6 Vérification à ELS

La fissuration est préjudiciable

$$D = \frac{15 \times 2.06}{100} = 0.31 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times 0.231 \times 135 = 83.7$$

$$Y_1 = -0.31 + \sqrt{0.31^2 + 83.7} = 8.84 \text{ cm}$$

$$I = \frac{100 \times 8.84^3}{3} + 15 \times 2.01 \times (13.5 - 8.84)^2 = 23681.63 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{0.7 \times 10^6}{23681.63 \times 10^4} = 2.96 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^3$$

Béton :

$$\sigma_b = 2.96 \times 10^{-3} \times 8.84 = 0.026 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\sigma}_b = 0.7 \times 25 = 17.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 0.026 < \bar{\sigma}_b = 17.5 \dots\dots\dots \text{Vérifiée}$$

Acier :

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} \times 400; 110 \sqrt{1.6 \times 2.1} \right\}$$

$$\bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 15 \times 2.96 \times 10^{-3} \times (135 - 88.4) = 2.07 \text{ MPa}$$

$$2.07 < 201.63 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{Vérifiée}$$

3.4.2.7 Schéma de ferrailage

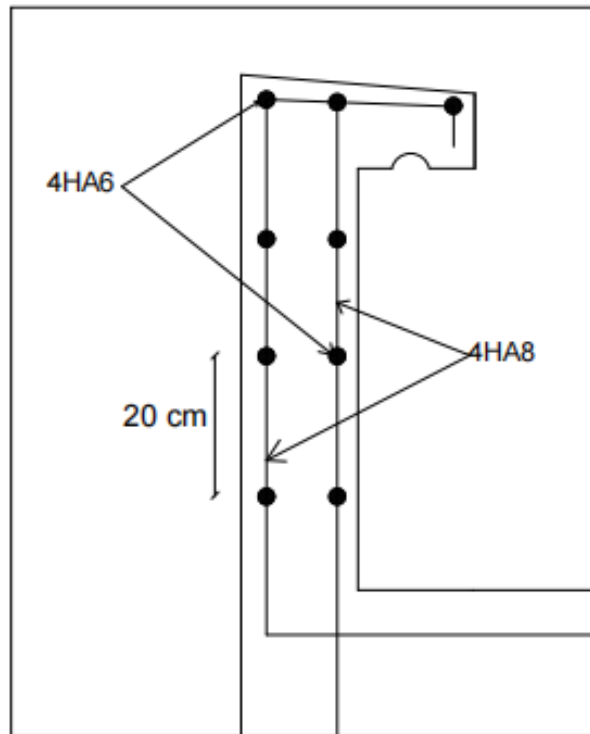


Figure 3-17. Schéma de ferrailage de l'acrotère coupe A-A.

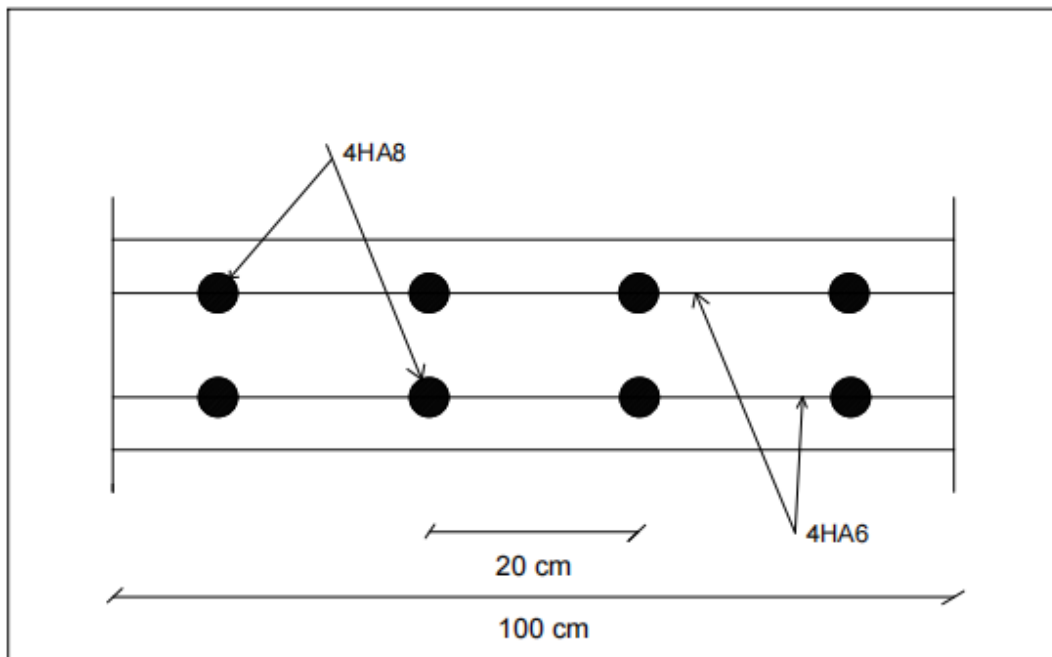


Figure 3-18. Schéma de ferrailage de l'acrotère coupe B-B.

3.4.3 Balcon

Le balcon est un élément horizontal non structurelle généralement encastre en cote et libre en l'autre donc en calcule comme une console.

Le type de fissuration est préjudiciables.

Le garde-corps est l'ensemble d'éléments formant une barrière destinée à protéger les personnes de chute et à retenir des objets.

La charge du garde-corps pour les emplacements publics est :

$$G_g = 1 \text{ KN/m}^2 \text{ Hauteur de garde-corps : } h = 1.5\text{m}$$

3.4.3.1 Calcul des charges

Le calcul se fait pour une bonde de 1m ; b=1m

3.4.3.1.1 Les charges permanentes :

Poids propre du garde-corps : $G_g=1 \text{ kN}$

$$p = G_g \times h \times b$$

$$p = 1 \times 1.5 \times 1 = 1.5 \text{ kN}$$

Poids propre du plancher :

$$G = G \times b$$

$$G = 6.16 \times 1 = 6.16 \text{ kN/m}_1$$

Charge d'exploitation :

$$q = Q \times b$$

$$q = 3.5 \times 1 = 3.5 \text{ kN/m}_1$$

3.4.3.1.2 Les moments

$$M_Q = \frac{3.5 \times 1.5^2}{2} = 3.94 \text{ kN.m} \quad V_q = q \times L = 3.5 \times 1.50 = 5.25 \text{ KN}$$

$$M_G = \frac{6.16 \times 1.5^2}{2} = 6.93 \text{ kN.m} \quad V_g = g \times L = 6.16 \times 1.50 = 9.24 \text{ KN}$$

$$M_p = 1.5 \times 1.5 = 2.25 \text{ kN.m} \quad V_p = P = 1.50 \text{ KN}$$

$$M_{G+} M_p = 6.93 + 2.25 = 9.18 \text{ kN.m}$$

3.4.3.1.3 Les combinaisons des moments

ELU

$$M_u = 1.35(9.18) + 1.5(3.94) = 18.30 \text{ kN.m}$$

ELS

$$M_{\text{ser}}=9.18+3.94=13.12 \text{ kN.m}$$

3.4.3.1.4 Calcul la section du ferrailage

$$\text{ELU } (100 \times 16) \text{ cm}^2$$

$$d = 0.9 \times 16 = 14.4 \text{ cm}$$

$$\mu = \frac{18.30 \times 10^{-3}}{1 \times 0.144^2 \times 14.17} = 0.062 < 0.392 \rightarrow A_{s'} = 0 ; \beta = 0.968$$

$$A_{su} = \frac{Mu}{\beta d \sigma_{st}} = \frac{18.3 \times 10^3}{0.968 \times 14.4 \times 348} = 3.77 \text{ cm}^2$$

3.4.3.1.5 Condition de non-fragilité

$$A_{\text{min}} = 0.23 \times 100 \times 14.4 \times \frac{2.1}{400} = 1.74 \text{ cm}^2$$

$$A_{s'} = \max \{3.77, 1.74\}$$

$$A_{s'} = 3.77 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix : } 5\emptyset 10 = 3.93 \text{ cm}^2$$

Espaceement des armatures

$$St = \frac{100}{5} = 20 \text{ cm}$$

3.4.3.1.6 Armatures des répartitions

$$A_{r'} = \frac{3.93}{4} = 0.98 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix : } 5\emptyset 8 = 2.51 \text{ cm}^2$$

Espaceement des armatures

$$St = \frac{100}{5} = 20 \text{ cm}$$

3.4.3.1.7 Vérification de l'effort tranchant

$$V_u = 1.35(V_g + V_p) + 1.5V_q$$

$$V_u = 1.35(9.24 + 1.5) + 1.5(5.25)$$

$$V_u = 22.37 \text{ KN}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u$$

$$\bar{\tau}_u = \min \left(\frac{0.15 f_c 28}{\gamma b}; 4 \text{ MPa} \right) = 2.5 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{bd} = \frac{22.37 \times 10^{-3}}{1 \times 0.144} = 0.155 \text{ MPa}$$

$$\tau_u = 0.155 \text{ MPa} \leq \bar{\tau}_u = 2.5 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{vérifiée}$$

3.4.3.1.8 Vérification à ELS

Le type de fissuration est préjudiciable

$$D = \frac{15 \times 3.93}{100} = 0.59 \text{ cm}$$

$$E = 2 \times 0.59 \times 100 = 118$$

$$Y_1 = -0.59 + \sqrt{0.59^2 + 118} = 10.29 \text{ cm.}$$

$$I = \frac{100 \times 10.29^3}{3} + 15 \times 3.93 \times (14.4 - 10.29)^2 = 4525.26 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{13.12 \times 10^6}{4525.26 \times 10^4} = 0.29 \text{ N/mm}^2$$

Béton:

$$\sigma_b = 0.29 \times 10.29 = 2.98 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\bar{\sigma}_b = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 2.98 < \bar{\sigma}_b = 15 \dots\dots\dots \text{Verifiée}$$

Acier:

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} \times 400; 110 \sqrt{1.6 \times 2.1} \right\}$$

$$\bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 15 \times 0.29 \times (144 - 102.9) = 178.79 \text{ MPa}$$

$$178.79 < 201.63 \text{ MPa} \dots\dots\dots \text{Verifiée}$$

3.4.3.2 Schéma de ferrailage

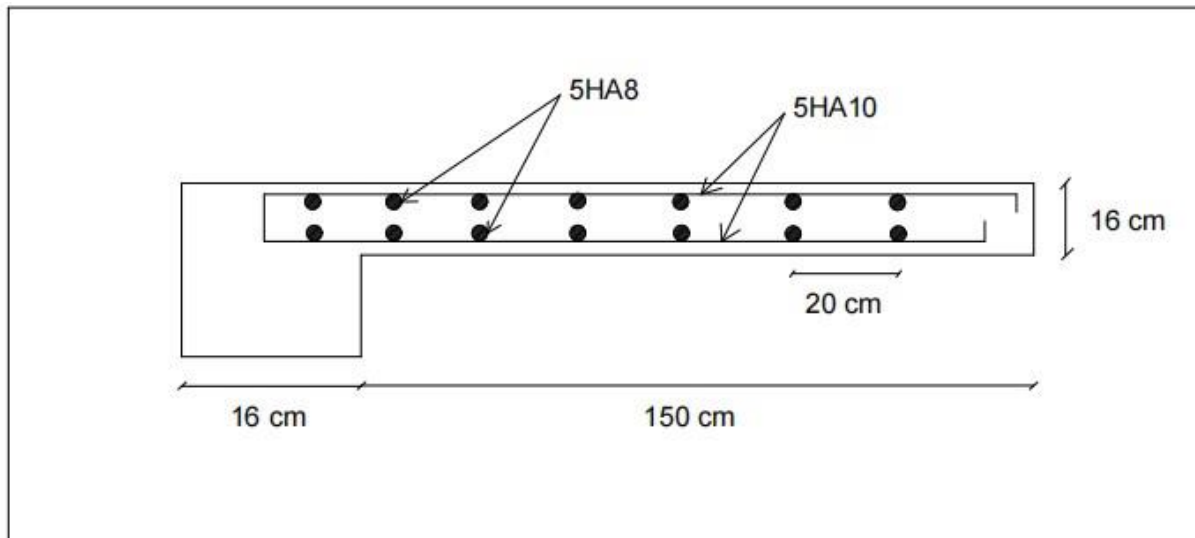


Figure 3-19. Ferrailage de balcon coupe A-A.

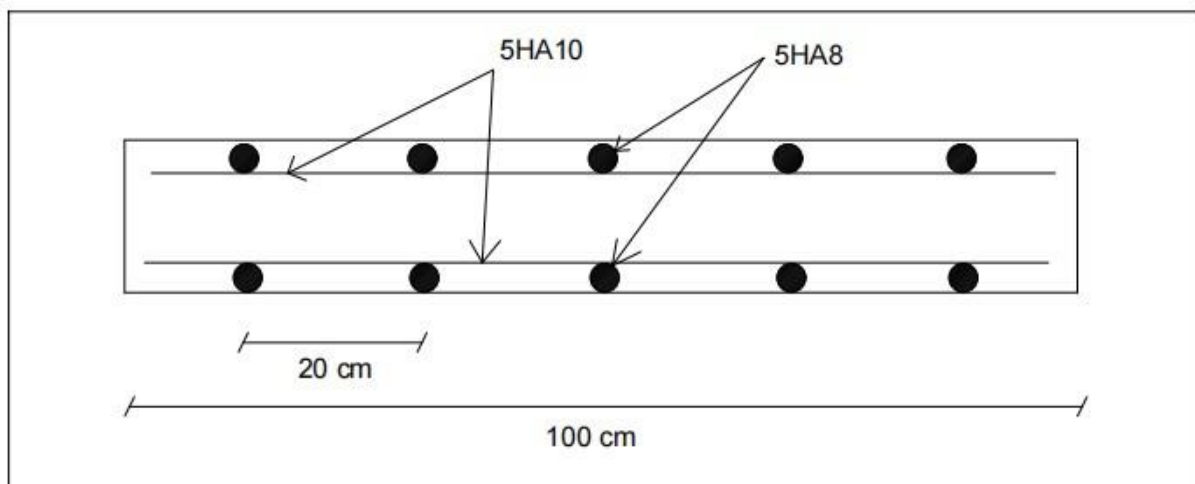


Figure 3-20. Ferrailage de balcon coupe B-B.

3.4.4 Escalier

Tableau 3-45. Les formules à ELU

ELU	
q	$1.35(G)+1.5(Q)$
q'	$Q \times K$
q _{eq}	$\frac{\sum q' \times l}{\sum l}$
M ₀	$\frac{q_{eq} \times l^2}{8}$
M _T	$0.75 \times M_0$

M_A	$0.5 \times M_0$
-------	------------------

Tableau 3-46. Les formules à ELS.

ELS

q	$G+Q$
q'	$Q \times K$
q_{eq}	$\frac{\sum q' \times l}{\sum l}$
M_0	$\frac{q_{eq} \times l^2}{8}$
M_T	$0.75 \times M_0$
M_A	$0.5 \times M_0$

3.4.4.1 Bloc1

3.4.4.1.1 Calcul les sollicitations

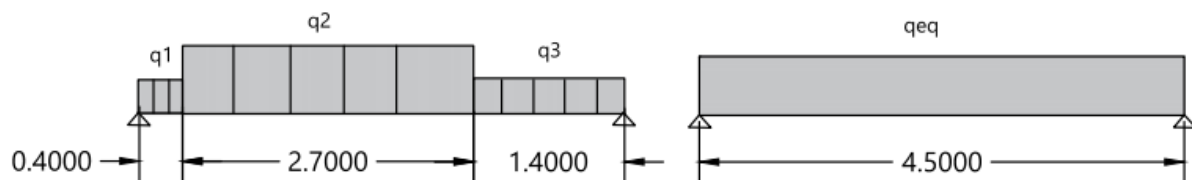


Tableau 3-47. Les sollicitations à ELU.

	G (kN/m ²)	Q (kN/m ²)	q (kN/m ²)	K (m)	q' (kN/m)
q ₁	6.16	3.125	13	1.25	16.25
q ₂	10.2	3.125	18.46	1.25	23.1
q ₃	6.45	3.125	13.4	1.25	16.25

Tableau 3-48. Les sollicitations à ELU.

q_{eq} (kN/m)	20.52
M_0 (kN.m)	51.94
M_T (kN.m)	38.96
M_A (kN.m)	25.97

Tableau 3-49. Les sollicitations à ELS.

	G (kN/m ²)	Q (kN/m ²)	q (kN/m ²)	K (m)	q' (kN/m)
q ₁	6.16	3.125	9.29	1.25	11.61
q ₂	10.2	3.125	13.33	1.25	16.66
q ₃	6.45	3.125	9.58	1.25	11.98

Tableau 3-50. Les sollicitations à ELS.

q_{eq} (kN/m)	14.76
M_0 (kN/m)	37.36
M_T (kN.m)	28.02
M_A (kN.m)	18.68

3.4.4.1.2 Calcul de ferrailage à mi- travée

Tableau 3-51. Ferrailage à mi- travée.

f_{bu}	14.17 MPa
σ_{bc}	15 MPa
σ_{st}	348 MPa
f_e	400 MPa
f_{c28}	25 MPa
$\mu = \frac{M_U}{b \cdot d^2 \cdot f_{bu}}$	0.106
$\mu < \mu_l$	$0.106 < 0.392$
As'	0
α	0.1404
β	0.944
$As = \frac{M_U}{\beta \cdot d \cdot \sigma_{st}}$	8.24 Cm ²
$Ar = \frac{As}{2}$	2,06 Cm ²

3.4.4.1.3 Vérification a ELS

Tableau 3-52. Vérification à ELS.

M_U	M_{ser}	γ	$K = \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100}$	$K > \alpha$	Observation
38.96	28.02	1.39	0.445	$0.445 > 0.1404$	On garde le ferrailage de ELU

3.4.4.1.4 Choix des armatures :

$$As = 8HA12 = 9.05 \text{ cm}^2$$

$$Ar = 4HA8 = 2.01 \text{ cm}^2$$

3.4.4.1.5 Calcul ferrailage sur appui

Tableau 3-53. Ferrailage sur appui.

$\mu = \frac{M_U}{b \cdot d^2 \cdot f_{bu}}$	0.07
$\mu < \mu_l$	$0.07 < 0.392$
As'	0
α	0.0907

β	0.964
$As = \frac{M_U}{\beta \cdot d \cdot \sigma_{st}}$	5.38 Cm ²
$Ar = \frac{As}{2}$	1.34 Cm ²

3.4.4.1.6 Vérification à ELS

Tableau 3-54. Vérification à ELS.

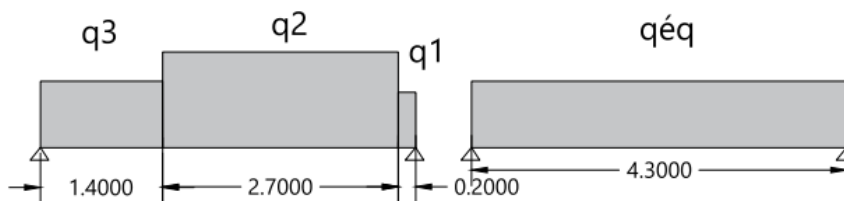
M_U	M_{ser}	γ	$K = \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100}$	$K > \alpha$	Observation
25.97	18.68	1.39	0.445	0.445 > 0.1404	On garde le ferrailage de ELU

3.4.4.1.7 Choix des armatures :

$As = 8HA12 = 9.05 \text{ cm}^2$

$Ar = 4HA8 = 2.01 \text{ cm}^2$

3.4.4.2 Bloc2



3.4.4.2.1 Calcul les sollicitations

Tableau 3-55. Les sollicitations à ELU.

	G (kN/m ²)	Q (kN/m ²)	q (kN/m ²)	K(m)	q'(kN/m)
q ₁	6.16	3.125	13	1.25	16.25
q ₂	10.2	3.125	18.46	1.25	23.1
q ₃	6.45	3.125	13.4	1.25	16.25

Tableau 3-56. Les sollicitations à ELU.

q_{eq} (kN/m)	20.71
M_0 (kN/m)	47.87
M_T (kN.m)	35.90
M_A (kN.m)	23.94

Tableau 3-57. Les sollicitations à ELS.

	G (kN/m ²)	Q (kN/m ²)	q (kN/m ²)	K (m)	q' (kN/m)
q ₁	6.16	3.125	9.29	1.25	11.61
q ₂	10.2	3.125	13.33	1.25	16.66
q ₃	6.45	3.125	9.58	1.25	11.98

Tableau 3-58. Les sollicitations à ELS.

q _{eq} (kN/m)	14.90
M ₀ (kN/m)	34.44
M _T (kN.m)	25.83
M _A (kN.m)	17.22

3.4.4.2.2 Calcul de ferrailage à mi- travée

Tableau 3-59. Ferrailage à mi- travée.

<i>fbu</i>	14.17 MPa
<i>σbc</i>	15 MPa
<i>σst</i>	348 MPa
<i>fe</i>	400 MPa
<i>fc28</i>	25 MPa
$\mu = \frac{M_U}{b \cdot d^2 \cdot f_{bu}}$	0.0980
$\mu < \mu_l$	0.0980 < 0.392
As'	0
α	0.1291
β	0.948
$As = \frac{M_U}{\beta \cdot d \cdot \sigma_{st}}$	7.56 cm ²
$Ar = \frac{As}{2}$	1.89 cm ²

3.4.4.2.3 Vérification à ELS

Tableau 3-60. Vérification à ELS.

M _U	M _{ser}	γ	$K = \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100}$	K > α	Observation
35.90	25.83	1.39	0.445	0.445 > 0.1291	On garde le ferrailage de ELU

3.4.4.2.4 Choix des armatures :

$$As = 8HA12 = 9.05 \text{ cm}^2$$

$$Ar = 4HA8 = 2.01 \text{ cm}^2$$

3.4.4.2.5 Calcul ferrailage sur appui

Tableau 3-61. Ferrailage sur Appui.

$\mu = \frac{M_U}{b \cdot d^2 \cdot f_{bu}}$	0.065
$\mu < \mu_l$	$0.065 < 0.392$
$A_{s'}$	0
α	0.0854
β	0.966
$A_s = \frac{M_U}{\beta \cdot d \cdot \sigma_{st}}$	4.95 Cm^2
$A_r = \frac{A_s}{2}$	1.24 Cm^2

3.4.4.2.6 Vérification a ELS

Tableau 3-62. Vérification à ELS.

M_U	M_{ser}	γ	$K = \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100}$	$K > \alpha$	Observation
23.94	17.22	1.39	0.445	$0.445 > 0.0854$	On garde le ferrailage de ELU

3.4.4.2.7 Choix des armatures :

$A_s = 8\text{HA}10 = 6.28\text{cm}^2$

$A_r = 4\text{HA}8 = 2.01 \text{ cm}^2$

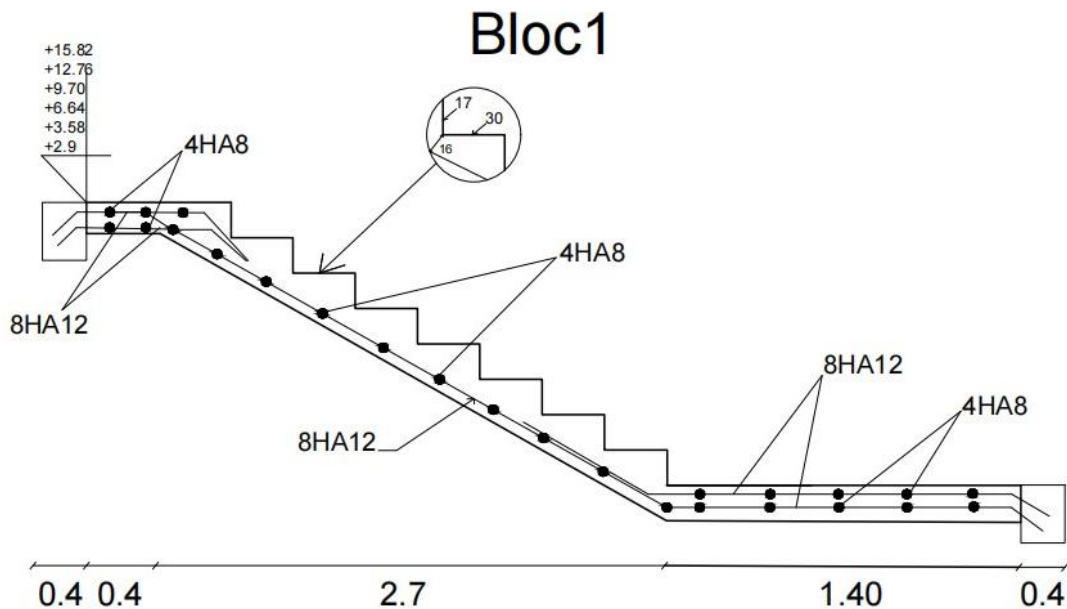


Figure 3-21. Schéma du ferrailage d'escalier bloc1.

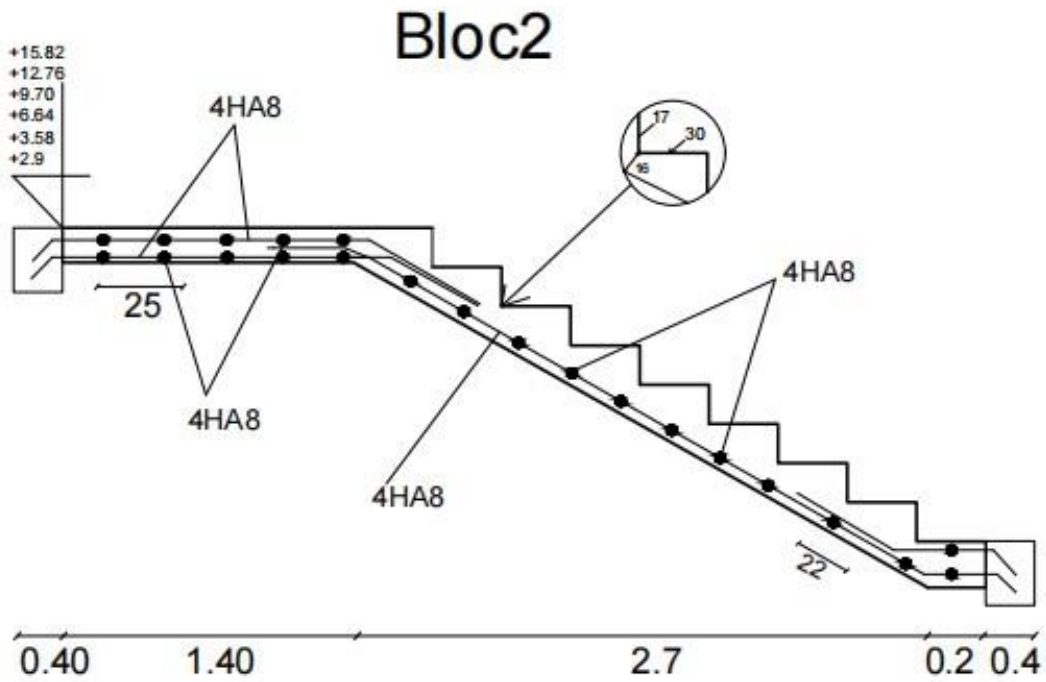


Figure 3-22. Schéma du ferrailage d'escalier bloc2.

3.4.4.3 Calcul du ferrailage de la poutre palier

3.4.4.3.1 Pré dimensionnement :

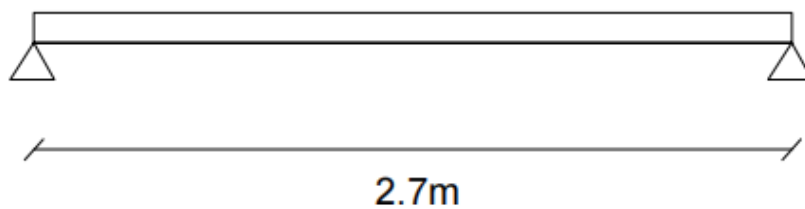


Figure 63. Schéma statique de la poutre palier.

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

$$\frac{270}{15} \leq h \leq \frac{270}{10}$$

$$18 \leq h \leq 27$$

$$h=27\text{cm}$$

Conditions de l'RPA99(2003)

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

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

$$\frac{h}{b} \leq 4$$

$$\frac{30}{20} \leq 4$$

$$1.5 < 4.0$$

En prend $h=30 \text{ cm}$; $b=20 \text{ cm}$.

3.4.4.3.2 Evaluation des charges

$$\text{Poids propre de la poutre : } 25 \times 0.30 \times 0.2 = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{ml}}$$

$$\text{Poids propre de la maçonnerie : } (3.06-0.3) \times 2.81 = 7.76 \frac{\text{kN}}{\text{ml}}$$

Réaction de volée :

$$\frac{R_A \times 2}{L} = \frac{26.57 \times 2}{2.7} = 19.68 \text{ kN/ml}$$

$$q_u = (1.5 + 7.76) \times 1.35 + 19.68$$

$$q_u = 32.18 \text{ kN/ml}$$

La charge est déjà pondérée

Sollicitation interne :

$$M_0 = \frac{q \times l^2}{8}$$

$$M_0 = \frac{32.18 \times 2.7^2}{8} = 29.32 \text{ kN.m}$$

$$\text{En travée : } M_{tu} = 0.85 M_0 = 24.92 \text{ kN.m}$$

$$\text{En appui : } M_{au} = 0.2 M_0 = 5.86 \text{ kN.m}$$

3.4.4.3.3 Calcul des armatures longitudinales

En travée :

$$\mu = \frac{M_{tu}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{(24.92 \times 10^{-3})}{0.2 \times 0.27^2 \times 14.17} = 0.12 < 0.392 \quad A_{s'} = 0$$

$$A_s = \frac{M_{tu}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{24.92 \times 10^3}{0.936 \times 27 \times 348} = 2.83 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{\min}=0.65 \text{ cm}^2$$

$$A_s=\max \{2.83; 0.65\}$$

$$A_s=2.83 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix: } 3\text{HA}12=3.39 \text{ cm}^2$$

En appui :

$$\mu = \frac{M_{au}}{b \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{(5.86 \times 10^{-3})}{0.2 \times 0.27^2 \times 14.17} = 0.028 < 0.392 \quad A_{s'} = 0$$

$$A_s = \frac{M_{tu}}{\beta \times d \times \sigma_s} = \frac{5.86 \times 10^3}{0.986 \times 27 \times 348} = 0.63 \text{ cm}^2$$

$$A_{\min} = 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{\min}=0.65 \text{ cm}^2$$

$$A_s=\max \{0.65; 0.63\}$$

$$A_s=0.65 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix: } 3\text{HA}10=2.35 \text{ cm}^2$$

3.4.4.3.4 Calcul des armatures transversales

$$A_t = \frac{V_u}{f_e \cdot St}$$

$$St \leq \min(0.5 \times d, 30 \text{ cm})$$

$$St \leq \min(0.5 \times 27; 30 \text{ cm})$$

$$St \leq 13.5 \text{ cm}$$

$$St=12 \text{ cm}$$

$$A_t = \frac{10.71 \times 10^6}{235 \times 120} = 223.1 \text{ mm}^2$$

$$A_t = 2.23 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix: } 7\emptyset 8=3.52 \text{ cm}^2$$

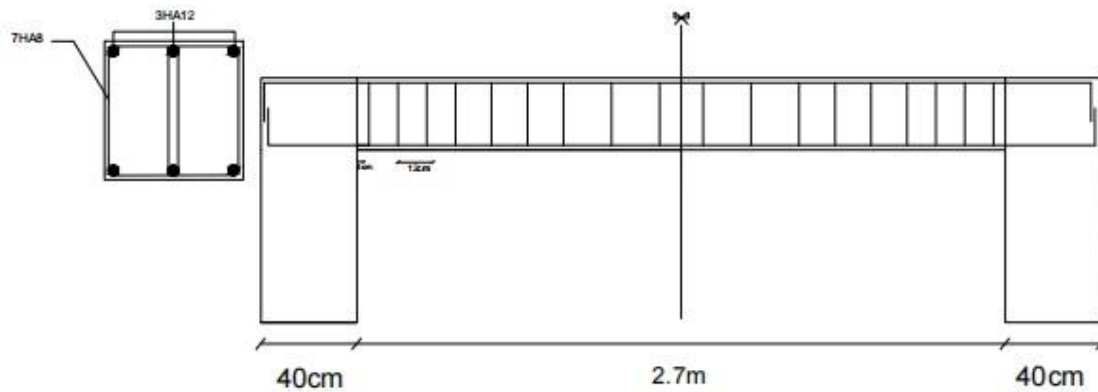


Figure 24. Schéma du ferrailage de la poutre palier.

3.5 Etude dynamique

L'analyse dynamique est cruciale pour garantir la stabilité d'une construction face à l'action sismique, en se référant à la réglementation parasismique algérienne (RPA99) et au logiciel de robot structurelle analyse pour déterminer les caractéristiques dynamiques propres de la structure.

3.5.1 Modélisation sur robot analyses structurel

La modélisation sur robot analyses permet de nous faire une simulation proche de la structure réelle. Elle permet de vérifier la conformité d'une structure aux charges appliquées : les charges permanentes et les charges d'exploitation et l'action sismique, calcule automatiquement les combinaisons de charges pour toutes les pondérations possibles.

Ce logiciel travaille avec les éléments finis, il permet de calculer avec plusieurs types d'analyse (l'analyse statique, modale et non linéaire).

3.5.2 Rappel sur les méthodes des calculs

3.5.2.1 Méthodes utilisables (Selon RPA99-2003)

Le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes :

- Par la méthode statique équivalente
- Par la méthode d'analyse modale spectrale
- Par la méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes

3.5.2.2 Principe de statique équivalente

Le bâtiment ou bloc étudié, satisfait aux conditions de régularité en plan et en élévation prescrites au chapitre III, paragraphe 3.5 avec une hauteur au plus égale à 65m en zones I et II et à 30m en zones III.

Le bâtiment ou bloc étudié présente une configuration irrégulière tout en respectant, outres les conditions de hauteur énoncées, les conditions complémentaires suivantes :

- Zone I : tous groupes
 - Zone IIa : groupe d'usage 3.
 - Groupes d'usage 2, si la hauteur est inférieure ou égale à 7 niveaux ou 23 m.
 - Groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17m.
 - Groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10m.
 - Zone IIb et III :
 - Groupes d'usage 3 et 2, si hauteur est inférieure ou égale à 5 niveaux ou 17m.
 - Groupe d'usage 1B, si la hauteur est inférieure ou égale à 3 niveaux ou 10m.
 - Groupe d'usage 1A, si la hauteur est inférieure ou égale à 2 niveaux ou 08m.
- Ductilité suffisante : La structure doit être capable de se déformer sans rupture en cas de séisme.

3.5.2.3 Conditions d'application de la méthode d'analyse modale spectrale :

La méthode d'analyse modale spectrale peut être utilisée dans tous les cas, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

3.5.2.4 Conditions d'application de la méthode d'analyse dynamique :

La méthode d'analyse dynamique par accélérogrammes peut être utilisée au cas par cas par un personnel qualifié, ayant justifié auparavant les choix des séismes de calcul et des lois de comportement utilisées ainsi que la méthode d'interprétation des résultats et les critères de sécurité à satisfaire.

Notre structure ne répond pas aux conditions exigées par RPA99version2003 pour pouvoir utiliser la méthode statique équivalente ; alors le calcul sismique se fera par la méthode dynamique spectrale.

3.5.3 Modélisation

Bloc1

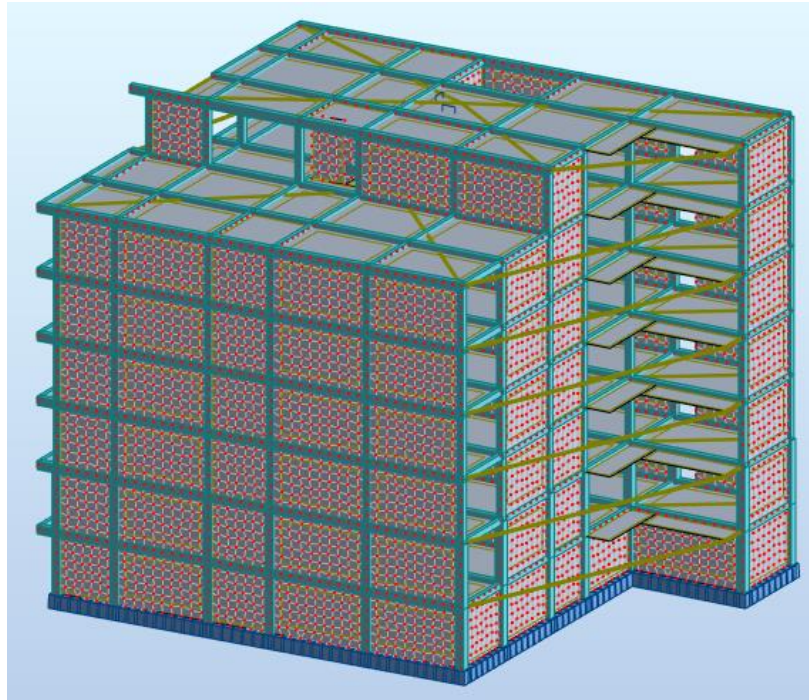


Figure 3-25. Vue en 3D bloc 1.

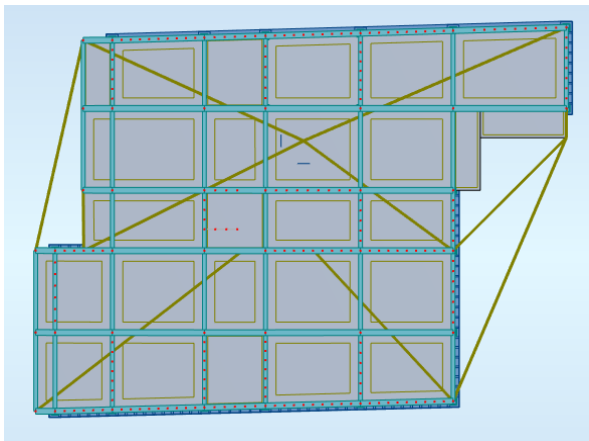


Figure 3-26. Vue de dessus.

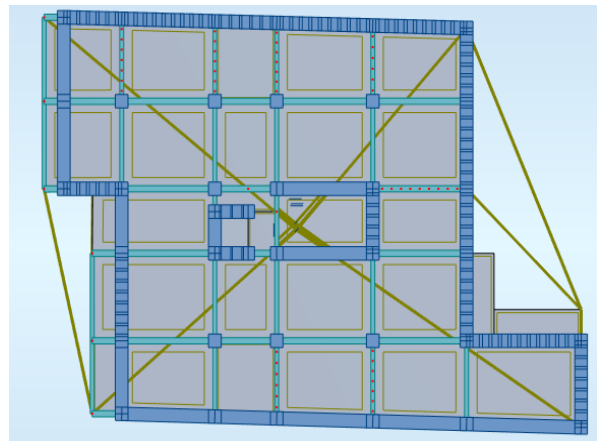


Figure 3-27. Vue de dessous.

Bloc2

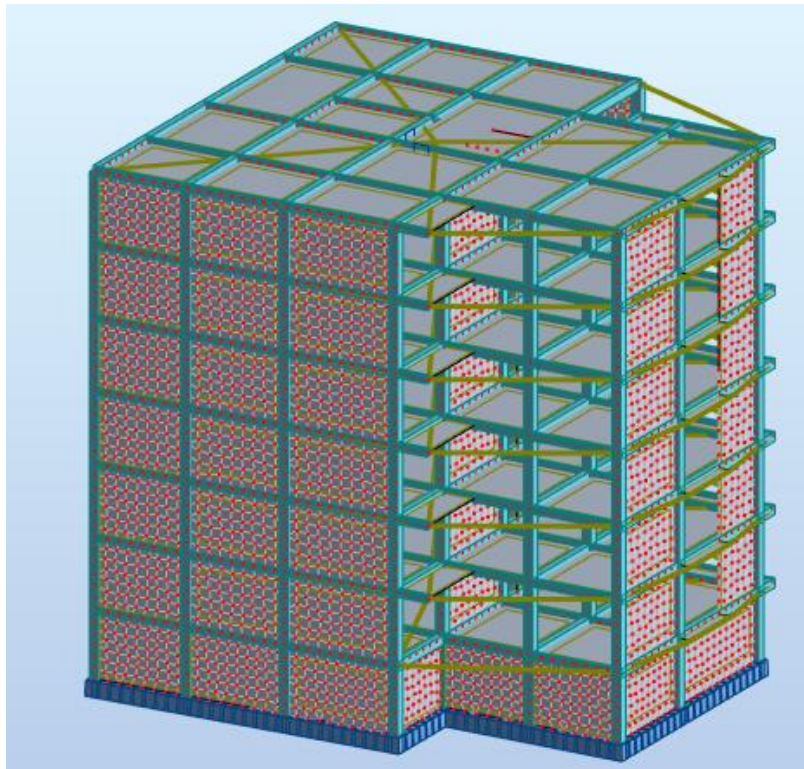


Figure 3-28. Vue en 3D bloc 2.

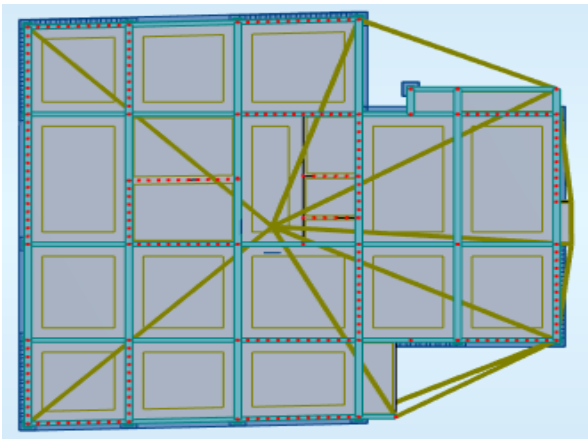


Figure 3-29. Vue de dessus.

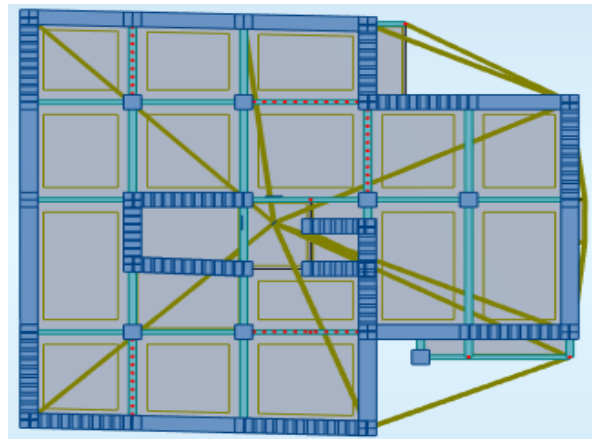


Figure 3-30. Vue de dessous.

Entre les deux blocs

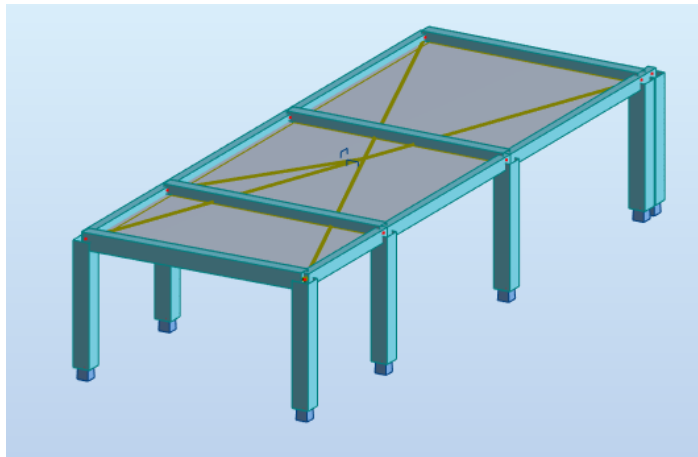


Figure 3-31. Vue en 3D entre bloc.

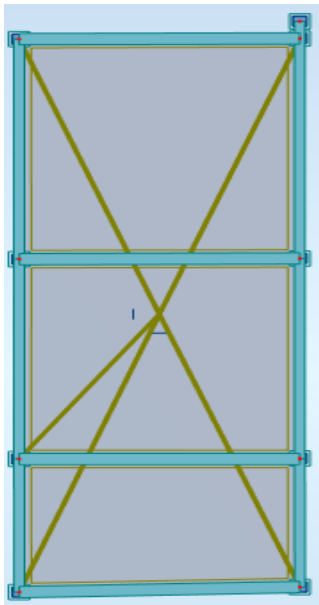


Figure 3-32. Vue de dessus.

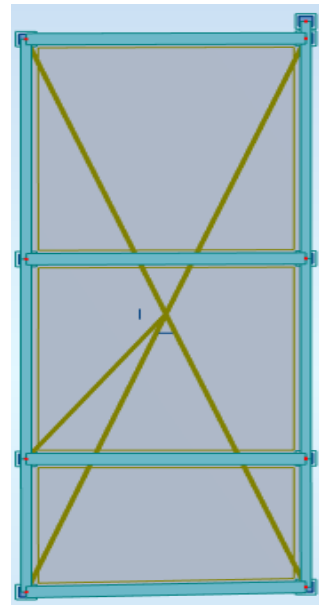


Figure 3-33. Vue de dessous.

3.5.3.1 Les paramètres d'analyse modale spectrale

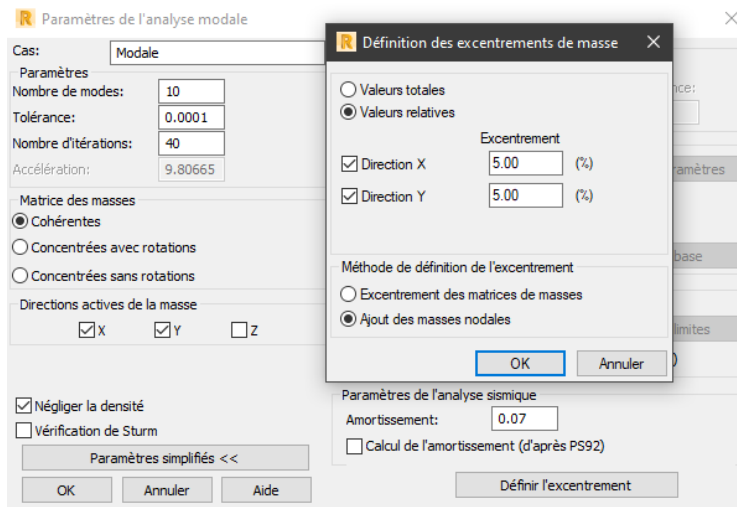


Figure 3-34. Paramètres d'analyse modale

1 : G
 2 : pp
 3 : Q
 4 : ELU
 5 : ELS
 6 : Modale
 7 : Sismique - masses_X
 8 : Sismique Dir. - masses_Y
 9 : G+Q+Ex
 10 : G+Q+Ey
 11 : 0.8G+Ey
 12 : 0.8G+Ex
 13 : 0.8G- Ex
 14 : 0.8G- Ey
 15 : G+Q+1.2 Ex
 16 : G+Q+1.2 Ey
 Cas simples
 Combinaisons

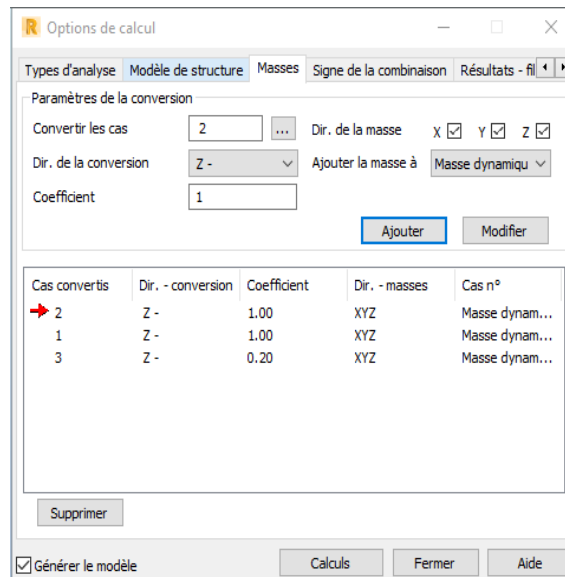


Figure 3-35. Les différentes combinaisons. Figure 3-36. Concentration des masses de la structure.

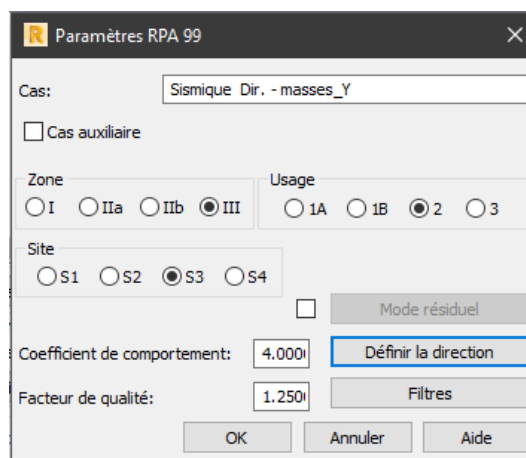


Figure 3-37. Paramètres d'action sismique pour le sens x.

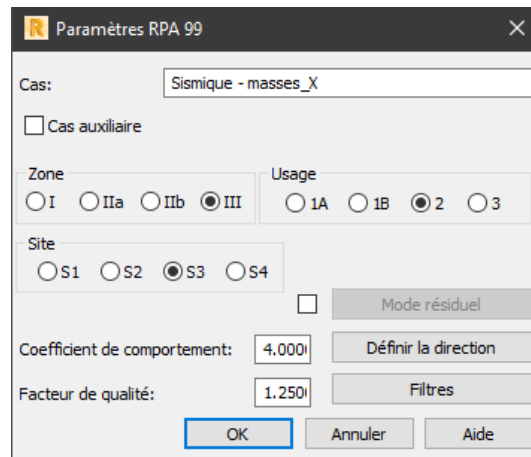


Figure 3-38. Paramètres d'action sismique pour le sens y.

3.5.3.2 Résultat des calculs dynamique

3.5.3.2.1 Les modes de déformation

Bloc1

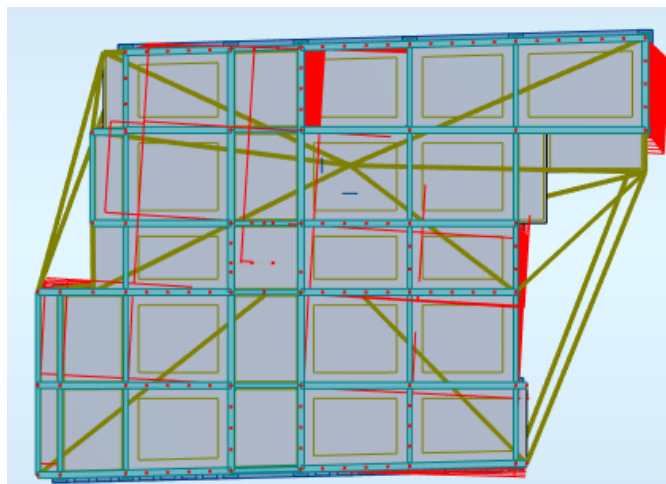


Figure 3-39. Mode 1 "Déplacement".

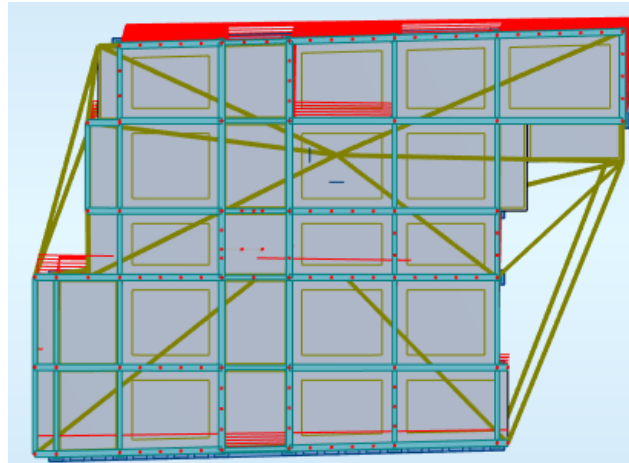


Figure 3-40. Mode 2 "Déplacement".

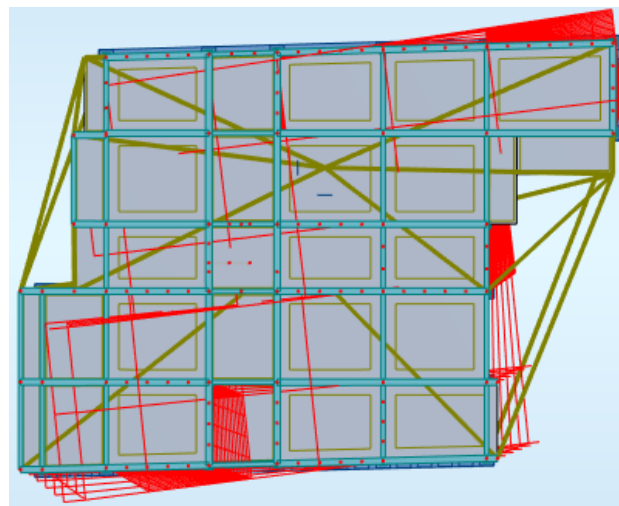


Figure 3-41. Mode 3 "Torsion".

Bloc2

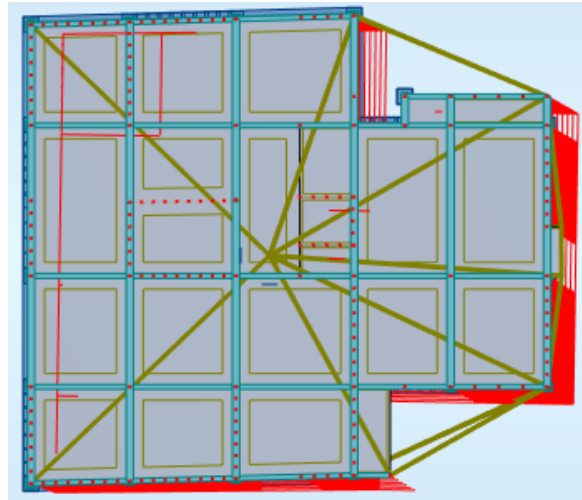


Figure 3-42. Mode 1 "Déplacement".

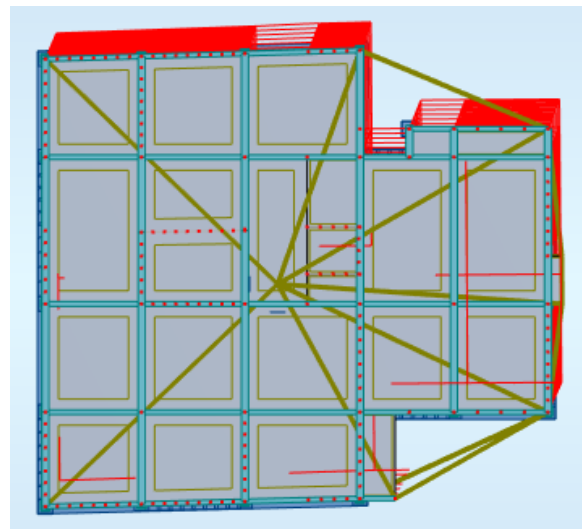


Figure 3-43. Mode 2 "Déplacement".

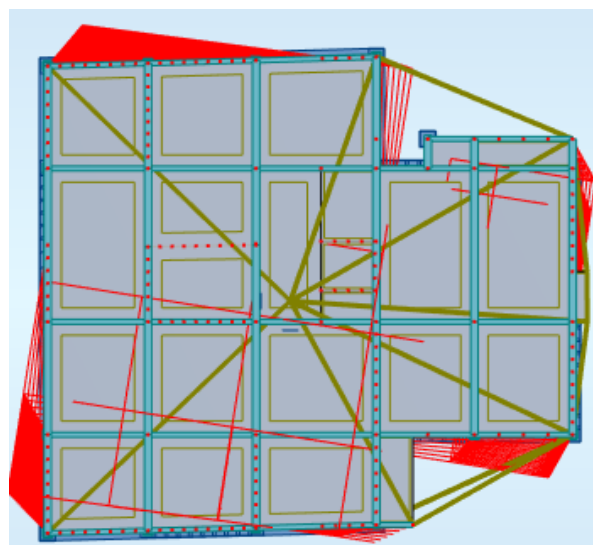


Figure 3-44. Mode 3 "Torsion".

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]
6/ 1	4.73	0.21	0.02	68.07
6/ 2	8.56	0.12	64.56	68.12
6/ 3	12.31	0.08	82.00	68.57
6/ 4	19.32	0.05	82.01	68.61
6/ 5	20.16	0.05	82.57	90.99
6/ 6	21.52	0.05	82.57	91.00
6/ 7	21.65	0.05	82.57	91.02
6/ 8	22.11	0.05	82.57	91.02
6/ 9	22.24	0.04	82.57	91.02
6/ 10	23.23	0.04	82.57	91.06
6/ 11	23.44	0.04	82.57	91.06
6/ 12	23.75	0.04	82.57	91.06
6/ 13	25.18	0.04	82.57	91.06
6/ 14	25.28	0.04	82.57	91.06
6/ 15	25.33	0.04	82.58	91.06
6/ 16	26.03	0.04	83.05	91.12
6/ 17	26.33	0.04	91.01	91.79

Figure 3-45. Participation des masses aux réponses dynamiques "Bloc1".

Période fondamentale : T=0.04 sec N=17

Cas/Mode	Fréquence [Hz]	Période [sec]	Masses Cumulées UX [%]	Masses Cumulées UY [%]
6/ 1	4.26	0.23	0.39	68.81
6/ 2	7.63	0.13	71.36	69.18
6/ 3	9.43	0.11	71.53	69.83
6/ 4	15.04	0.07	71.53	69.83
6/ 5	17.81	0.06	71.63	90.58
6/ 6	18.05	0.06	71.63	90.60
6/ 7	19.88	0.05	71.63	90.60
6/ 8	22.02	0.05	71.63	90.60
6/ 9	24.01	0.04	71.63	90.60
6/ 10	25.45	0.04	71.63	90.60
6/ 11	26.21	0.04	71.63	90.60
6/ 12	26.52	0.04	71.63	90.60
6/ 13	29.85	0.03	71.64	90.61
6/ 14	30.25	0.03	73.90	90.61
6/ 15	30.28	0.03	90.48	90.75

Figure 3-46. Participation des masses aux réponses dynamiques "Bloc2"

Période fondamentale : T=0.03 sec N=15

3.5.3.2.2 Calcul la force sismique totale

La force sismique totale V, appliquée à la base de la structure, doit être calculée successivement dans deux directions horizontales orthogonales selon la formule :

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

- A : coefficient d'accélération de zone (Tableau 4.1), **A=0.25**.
- D : facteur d'amplification dynamique moyen (Formule 4.2)
- T₂ période caractéristique, (tableau 4.7), **T₂=0.5**
- ξ (%) est le pourcentage d'amortissement critique fonction du matériau constitutif (Tableau 4.2) **ξ=7**.
- η : facteur de correction d'amortissement (formule 4.3),

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2 + \xi)}} \geq 0.7$$

$$\eta = \sqrt{\frac{7}{(2 + 7)}} = \mathbf{0.882} \geq 0.7$$

- T : La période fondamentale de la structure (Formule 4-6).
- h_N : hauteur mesurée en mètres à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau (N), **h_N=21.96 m**.
- C_T : coefficient, fonction du système de contreventement, du type de remplissage (Tableau 4.6), **C_T=0.05**.

$$T = C \frac{h_N^{\frac{3}{4}}}{T}$$

$$T = 0.05 \times 21.96^{\frac{3}{4}}$$

$$T = 0.507 \text{ sec}$$

$$D = 2.5\eta \frac{T_2^{\frac{2}{3}}}{T} \dots \dots \dots [T_2 < T < 3.0s]$$

$$D = 2.5 \times 0.882 \times \frac{0.5^{\frac{2}{3}}}{0.507}$$

$$\mathbf{D=2.185}$$

R : coefficient de comportement global de la structure (Tableau 4.3), **R=4** (Portiques contreventés par des voiles).

Q : facteur de qualité (Formule 4-4) et (Tableau 4.4.)

Bloc1

$$Q_{x1}=1+0+0+0.05+0.05+0.05+0.1$$

$$\mathbf{Q_{x1}=1.25}$$

$$Q_{y1}=1+0+0+0.05+0.05+0.05+0.1$$

$$Q_{y1}=1.25$$

Bloc2

$$Q_{x2}=1+0+0+0+0.05+0.05+0.1$$

$$Q_{x2}=1.20$$

$$Q_{y2}=1+0+0+0+0.05+0.05+0.1$$

$$Q_{y2}=1.20$$

W : poids total de la structure (donne par le logiciel robot analyses),

Bloc1

$$W_{x1}=1709493.57\text{kg.}$$

$$W_{y1}=1709493.60\text{kg.}$$

Bloc2

$$W_{x2}=1626858.22\text{kg.}$$

$$W_{y2}=1626853.30\text{kg.}$$

La force sismique totale :

$$V_{x1}=\frac{0.25 \times 2.185 \times 1.25}{4} \times 1709493.57$$

$$V_{x1}=2918.16\text{kN.}$$

$$80\% V_{\text{statique}_1}=2334.53\text{kN.}$$

$$V_{y1}=\frac{0.25 \times 2.185 \times 1.25}{4} \times 1709493.60$$

$$V_{y1}=2882.10\text{kN.}$$

$$80\% V_{\text{statique}(y_1)}=2305.68\text{kN.}$$

$$V_{x2}=\frac{0.25 \times 2.185 \times 1.20}{4} \times 1626858.22$$

$$V_{x2}=2657.40\text{kN.}$$

80% Vstatique(x₂) = 2125.92kN.

$$V_{y2} = \frac{0.25 \times 2.185 \times 1.20}{4} \times 1626853.30$$

V_{y2} = 2666.01kN.

80% Vstatique(y₂) = 2132.81kN.

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

Bloc1

3538.59	2218.37
3316.40	263.16
3239.61	263.31
6556.01	526.47
1.14617e+01	1.61982e-01

Figure 3-47. La force sismique sens x-x.

On a $V_T > 0,8V_x \leftrightarrow 3239.61 \text{ kN} > 2334.53 \text{ kN}$ Donc la condition est vérifiée pour la direction x-x.

1104.27	2857.72
227.69	2685.56
227.76	2684.63
455.44	5370.19
1.07178e+01	1.61982e-01

Figure 3-48. La force sismique sens y-y

On a $V_T > 0,8V_y \leftrightarrow 2684.63 \text{ kN} > 2305.68 \text{ kN}$ Donc la condition est vérifiée pour la direction y-y.

Bloc2

2772.15	502.89
2738.54	206.34
2739.35	206.23
5477.89	412.57
3.47609e+00	2.27475e-01

Figure 3-49. La force sismique sens x-x.

On a $V_T > 0,8V_x \leftrightarrow 2739.35 \text{ kN} > 2125.92 \text{ kN}$ Donc la condition est vérifiée pour la direction x-x.

2605.12	2704.84
206.13	2523.39
206.23	2523.38
412.36	5046.77
3.48408e+00	2.27475e-01

Figure 3-50. La force sismique sens y-y.

On a $V_T > 0,8V_y \leftrightarrow 2523.38 \text{ kN} > 2132.81 \text{ kN}$ Donc la condition est vérifiée pour la direction y-y.

3.5.3.2.3 Vérification des déplacements latéraux inter-étages

Déplacements horizontaux résultants de la combinaison de charge G+Q+1.2E.

Les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étages adjacents, ne doivent pas dépasser (1,0%) de la hauteur d'étage.

Le déplacement horizontal à chaque niveau 'K' de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_k = R \delta_{ek}$$

Avec : R=4

Le déplacement relatif au niveau "k" par rapport au niveau "k-1" est égal à :

$$\Delta_k = \delta_k - \delta_{k-1}$$

L'inégalité ci-dessous doit nécessairement être vérifiée :

$$\Delta_k^x < \bar{\Delta} \quad \text{et} \quad \Delta_k^y < \bar{\Delta}$$

$$\bar{\Delta} = 0.01h_e$$

Où : h_e est la hauteur d'étage =3.06m et S.sol=2.9m

Tableau 3-63.Vérification des déplacements latéraux inter-étages Bloc1.

Niveau	H(m)	R	Déplacement relatif (x-x)			Déplacement relatif (y-y)			$\Delta(cm)$	Observation	
			δ_{ek}	δ_{ex}	Δ_x	δ_{ek}	δ_{ey}	Δ_y		x-x	y-y
S.sol	2.9	4	0.1	0.4	0.4	0.1	0.4	0.4	2.9	OK	OK
RDC	3.06	4	0.0	0	0.4	0.2	0.8	0.4	3.06	OK	OK
1	3.06	4	0.1	0.4	0.4	0.2	0.8	0.4	3.06	OK	OK
2	3.06	4	0.1	0.4	0	0.2	0.8	0	3.06	OK	OK
3	3.06	4	0.1	0.4	0	0.3	1.2	0.4	3.06	OK	OK
4	3.06	4	0.0	0	0.4	0.3	1.2	0	3.06	OK	OK

5	3.06	4	0.1	0.4	0.4	0.3	1.2	0	3.06	OK	OK
---	------	---	-----	-----	-----	-----	-----	---	------	----	----

Conclusion : Les déplacements inter-étage sont inférieurs aux valeurs limites imposées par le RPA99/version 2003.

Tableau 3-64.Vérification des déplacements latéraux inter-étages Bloc2.

Niveau	H(m)	R	Déplacement relatif (x-x)			Déplacement relatif (y-y)			$\Delta(cm)$	Observation	
			δ_{ek}	δ_{ex}	Δ_x	δ_{ek}	δ_{ey}	Δ_y		x-x	y-y
S.sol	2.9	4	0.0	0	0	0.1	0.4	0.4	2.9	OK	OK
RDC	3.06	4	0.1	0.4	0.4	0.2	0.8	0.4	3.06	OK	OK
1	3.06	4	0.1	0.4	0	0.2	0.8	0	3.06	OK	OK
2	3.06	4	0.1	0.4	0	0.3	1.2	0.4	3.06	OK	OK
3	3.06	4	0.1	0.4	0	0.3	1.2	0	3.06	OK	OK
4	3.06	4	0.1	0.4	0	0.3	1.2	0	3.06	OK	OK
5	3.06	4	0.1	0.4	0	0.3	1.2	0	3.06	OK	OK

Conclusion : Les déplacements inter-étage sont inférieurs aux valeurs limites imposées par le RPA99/version 2003.

3.5.3.2.4 VERIFICATION DE L'EFFORT NORMALE REDUIT

Vérifications prescrites par le RPA paragraphe 7.1.3.3 page 59

$$v = \frac{N_d}{B_c \cdot f_{c28}} \leq 0.3$$

N_d = Désigne l'effort normal de calcule s'exerçant sur une section de béton.

B_c = L'aire de la section brute.

f_{c28} =Résistance caractéristique du béton.

Tableau 3-65.Vérification de l'effort normale réduit bloc1.

Poteau	A	B	f_{c28}	$N_d max$	$v = \frac{N_d}{B_c \cdot f_{c28}}$	Vérification
s.sol	0.4	0.4	25	1006.47	0.252	OUI
RDC	0.4	0.4	25	967.91	0.242	OUI
1	0.4	0.4	25	791.22	0.198	OUI
2	0.3	0.3	25	621.73	0.276	OUI
3	0.3	0.3	25	459.77	0.204	OUI
4	0.3	0.3	25	303.08	0.135	OUI
5	0.3	0.3	25	151.06	0.07	OUI

Tableau 3-66. Vérification de l'effort normale réduit bloc2.

Poteau	A	B	f_{c28}	$N_d max$	$v = \frac{N_d}{B_c \cdot f_{c28}}$	Vérification
S.sol	0.4	0.4	25	1135.48	0.284	OK
RDC	0.4	0.4	25	1020.15	0.255	OK
1	0.4	0.4	25	844.97	0.211	OK

2	0.4	0.4	25	674.13	0.169	OK
3	0.3	0.3	25	506.59	0.225	OK
4	0.3	0.3	25	341.20	0.152	OK
5	0.3	0.3	25	179.18	0.08	OK

3.5.3.2.5 Justification vis à vis de l'effet P-Δ

Les effets du deuxième ordre (ou l'effet de P-Δ) peuvent être négligés dans le cas des bâtiments si la condition suivante est satisfaite à tous les niveaux :

$$\theta = (P_k \cdot D_k / V_k \cdot h_k) \leq 0.1 \text{ RPA99/Version 2003 (art 5.9)}$$

Avec :

P_k : Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au-dessus du niveau « k », calculés suivant la formule suivante :

$$P_k = \sum_{i=k}^n (W_{Gi} + \beta W_{Qi})$$

V_k : Effort tranchant d'étage au niveau « k ».

Δ_k : Déplacement relatif du niveau « k » par rapport au niveau « k-1 » en considérant la combinaison (G+Q±1.2E) ;

h_k : Hauteur de l'étage « k ».

Tableau 3-67.Effet P-Δ Bloc 1.

Niveau	h _k (m)	W _i (kN)	P _k (kN)	Δ _k (m)		V _k (kN)		θ	
				Δ _{kx}	Δ _{ky}	V _{kx}	V _{ky}	θ _x	θ _y
5	3.06	1707.79	1707.79	0.004	0	614.25	659.51	3.63	0
4	3.06	2757.73	4465.52	0.004	0	1353.61	1406.01	4.31	0
3	3.06	2484.63	6950.15	0	0.004	1924.90	1879.76	0	4.83
2	3.06	2484.56	9434.71	0	0	2387.95	2233.13	0	0
1	3.06	2484.56	11883.27	0.004	0.004	2752.98	2520.15	5.64	6.16
RDC	3.06	2484.56	14367.83	0.004	0.004	3029.93	2740.43	6.20	6.85
S.sol	2.9	2691.11	17058.94	0.004	0.004	3239.61	2883.29	7.26	8.16

Commentaire : La condition est vérifiée.

Tableau 3-68. Effet P-Δ Bloc 2.

Niveau	h _k (m)	W _i (kN)	P _k (kN)	Δ _k (m)		V _k (kN)		θ × 10 ⁻³	
				Δ _{kx}	Δ _{ky}	V _{kx}	V _{ky}	θ _x	θ _y
5	3.06	2686.76	2686.76	0	0	883.24	841.51	0	0
4	3.06	2273.31	4960.07	0.004	0	1432.48	1344.14	4.53	0
3	3.06	2273.31	7233.38	0	0	1824.45	1696.67	0	0

2	3.06	2273.31	9506.69	0	0.004	2129.72	1973.38	0	6.30
1	3.06	2273.31	11780	0	0	2386.73	2205.04	0	0
RDC	3.06	2273.31	14053.31	0	0.004	2573.03	2387.16	0	7.70
S.sol	2.9	2215.21	16268.52	0	0.004	2648.01	2456.58	0	0

Commentaire : La condition est vérifiée.

3.5.3.2.6 Justification des voiles sous charges verticales

La portance des voiles = $\frac{\text{Les charges reprises par voile}}{\text{Le poids totale de la structure}} \times 100 < 20\%$

Tableau 3-69. Justification des voiles sous charges verticales 'Bloc1'

Etage	Poids totale	Les charges reprises/voile	La portance des voiles	Observation
S.sol	17094.94	2761.41	16.15	OK
RDC	17094.94	2898.84	16.96	OK
1	17094.94	2646.65	15.48	OK
2	17094.94	2276.09	13.31	OK
3	17094.94	1830.77	10.71	OK
4	17094.94	1280.61	7.49	OK
5	17094.94	564.37	3.30	OK

Tableau 3-70. Justification des voiles sous charges verticales 'Bloc2'

Etage	Poids totale	Les charges reprises/voile	La portance des voiles	Observation
S.sol	17094.94	2761.41	16.15	OK
RDC	17094.94	2898.84	16.96	OK
1	17094.94	2646.65	15.48	OK
2	17094.94	2276.09	13.31	OK
3	17094.94	1830.77	10.71	OK
4	17094.94	1280.61	7.49	OK
5	17094.94	564.37	3.30	OK

3.6 Calcul de ferrailage pour les éléments porteurs

3.6.1 Ferrailage de poteau

Un poteau en béton armé est un élément porteur vertical avec armature incorporée destiné à supporter des charges concentrées. Il assure la stabilité de la construction.

Les poteaux sont soumis à deux types de forces ; Force verticale (efforts normaux de traction ou compression) ; Force horizontales (Les charges du séisme qui provoque des efforts tranchant et moments fléchissant.

Donc les calculs sont faits à la flexion composée avec le type de fissuration peu nuisible.

Combinaison de calcul :

Selon BAEL91 :

$$1.35G+1.5Q$$

Selon RPA99 :

$$G+Q\pm 1.2E$$

$$0.8G\pm E$$

En considérant les sollicitations suivantes :

$$M_{\max} \dots \dots \dots N_{\text{Correspondant}}$$

$$N_{\max} \dots \dots \dots M_{\text{Correspondant}}$$

3.6.1.1 Les sollicitations

Tableau 3-71. Les sollicitations max obtenues par Robot Structural Bloc1.

Section	Position	$M_{\max}(\text{kN.m})$	Corres	Combinaison
(40× 40)	Central	229.42	97.11	G+Q+1.2E _y
(30× 30)	Central	183.59	73.34	ELU

Tableau 3-72. Les sollicitations max obtenues par Robot Structural Bloc2.

Section	Position	$M_{\max}(\text{kN.m})$	Corres	Combinaison
(40× 40)	Central	122.03	2.68	G+Q+1.2E _y)
(30× 30)	Central	81.53	3.03	(G+Q+1.2E _y)

3.6.1.2 Calcul du ferrailage

3.6.1.2.1 Ferrailage exigé par le RPA 99/2003 :

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

- Leur pourcentage **minimal** sera de : 0,9% en zone III
- Leur pourcentage **maximal** sera de 4% en zone courante et 6% en zone de recouvrement
- Le diamètre minimum est de 12mm
- La longueur minimale des recouvrements est de : 50ϕ en zone III
- La distance entre les barres verticales dans une face du poteau ne doit pas dépasser : 20 cm en zone III
- Pour le ferrailage longitudinal les sections minimales sont

$$A_s > 0.8\% \times b \times h$$

3.6.1.2.2 Exemple de calcul poteau (40× 40) :

On a $b=40\text{cm}$; $h=40\text{cm}$; $d=0.9 \times h = 36\text{cm}$.

3.6.1.2.2.1 Armatures longitudinales

$$M_{\max}=229.02 \text{ kN.m} \rightarrow N_{\text{corre}}=95.70\text{kN.}$$

La position de centre de pression :

$$eG = \frac{M}{N} \geq \frac{h}{2}$$

$$eG = \frac{229.02}{95.70} \geq \frac{0.4}{2}$$

$eG = 2.39\text{m} \geq 0.2\text{m}$ (Le centre de pression est en dehors de la section ,donc la section est partiellement comprimée.

$$M_U = M + N \times \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

$$M_U = 229.02 + 95.70 \times \left(0.36 - \frac{0.4}{2} \right)$$

$$M_U = 244.33 \text{ kN.m}$$

$$\mu = \frac{M_U}{b \times d^2 \times f_{bu}} \leq \mu_l$$

$$\text{avec : } f_{bu} = \frac{0.85}{\theta \cdot \gamma_b} f_{cj}$$

$$f_{bu} = \frac{0.85}{0.85 \times 1.15} \times 25 = 21.74 \text{ MPa}$$

$$\mu = \frac{244.33 \times 10^3}{40 \times 36^2 \times 21.74} = 0.217 < 0.392 \quad A_s' = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.217})$$

$$\alpha = 0.310$$

$$Z = d(1 - 0.4\alpha)$$

$$Z = 0.36(1 - 0.4 \times 0.310)$$

$$Z = 0.315\text{m} = 315\text{mm}$$

$$A_s = \frac{Mu}{Z \times \sigma_{st}}$$

$$A_s = \frac{244.33 \times 10^6}{315 \times 400} = 1939 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 19.39 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_s \geq 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_s \geq 0.23 \times 40 \times 36 \times \frac{2.1}{400}$$

$$A_s \geq 1.74 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix : } 4\text{HA}25 = 19.63 \text{ cm}^2$$

3.6.1.2.2.2 Armatures transversales

Selon RPA99(2003) le ferrailage transversal donne par la relation suivant :

$$A_t \geq \frac{S_t \times \rho_a \times Vu}{h_l \times f_e}$$

V : est l'effort tranchant de calcul

h_l : hauteur totale de la section brute

f_e : Contrainte limite élastique de l'acier d'armature transversale

ρ_a : Coefficient correcteur qui tient compte du mode fragile de la rupture par effort tranchant :

$$\rho_a = \begin{cases} 2.5 & \text{si } \lambda_g \geq 5 \\ 3.75 & \text{si } \lambda_g < 5 \end{cases} \quad (\lambda_g : \text{Elancement geometrique})$$

La quantité d'armatures transversales minimale : $\frac{A_t}{b \times S_t}$ en % est donnée comme suit :

$$\lambda_g \geq 5 \leftrightarrow 0.3\%$$

$$\lambda_g < 5 \leftrightarrow 0.8\%$$

$$\lambda_g = \frac{L_f}{a} \quad \text{ou} \quad \lambda_g = \frac{L_f}{b}$$

$$\lambda_g = \frac{0.7 \times 2.9}{0.4} = 5.08$$

Alors :

$$\lambda_g \geq 5 \leftrightarrow 0.3\%$$

$$\text{et } \rho_a = 2.5$$

S_t : L'espacement des armatures transversales dont la valeur est déterminée comme suit :

Dans la zone nodale : $S_t \leq 10 \text{ cm}$ Zone III

Dans la zone courante : $S_t \leq \min\left(\frac{b}{2}; \frac{h}{2}; 10\phi_l\right)$Zone III

Avec : ϕ_l : La diametre minimale des armatures longitudinale du poteau.

$$S_t \leq \min\left(\frac{40}{2}; \frac{40}{2}; 10 \times 1.2\right)$$

$$S_t \leq \min(20; 20; 12) \text{ Cm}$$

$$S_t \leq 12 \text{ cm}$$

$$A_t \geq \frac{1.2 \times 2.5 \times 26.27 \times 10}{0.4 \times 400}$$

$$A_t \geq 4.93 \text{ cm}^2$$

Vérification :

$$\lambda = \frac{\sqrt{12 \times 0.7 \times hl}}{a}$$

$$\lambda = \frac{\sqrt{12 \times 0.7 \times 2.9}}{0.4} = 12.34 \leq 50$$

Pour : $\lambda \leq 50$

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$$

$$\alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2\left(\frac{12.34}{35}\right)^2} = 0.829$$

$$Br = (a - 2)^2$$

$$Br = (40 - 2)^2$$

$$Br = 1444 \text{ cm}^4$$

$$N_u \leq N_{cal}$$

$$N_u \leq \alpha \times \frac{Br \times f_c 28}{0.9 \times \gamma_b} + A \times \frac{f_e}{\gamma_s}$$

$$N_u \leq \left(0.829 \times \frac{1444 \times 10^{-4} \times 25 \times 10^{-6}}{0.9 \times 1.15} + 4.93 \times 10^{-4} \times \frac{400}{1}\right) \times 10^6$$

$$N_u \leq 197.20 \times 10^3 \text{ N}$$

$$95.70 \text{ kN} \leq 197.20 \text{ kN}$$

Avec la même maniera :

Tableau 3-73. Le ferrailage longitudinale de chaque section et chaque bloc.

Section	M	N	eG	M _U	μ	α	Z	A _s	A _{min}
(40x40)	229.02	95.70	2.39	244.33	0.217	0.310	0.315	19.39	1.74
(30x30)	183.59	73.34	2.5	192.39	0.262	0.388	0.228	24.247	0.98
(40x40)	122.03	2.68	45.53	122.46	0.109	0.145	0.339	9.03	1.74
(30x30)	81.53	3.03	26.91	81.89	0.172	0.238	0.244	8.39	0.98

Tableau 3-74. Le choix des sections.

Section	Choix	Section (cm ²)
(40x40)	4HA25	19.63
(30x30)	4HA25+4HA12	19.63+4.52=24.25
(40x40)	8HA14	12.31
(30x30)	8HA12	9.05

Tableau 3-75. Le ferrailage transversal de chaque section et chaque bloc

Section	V _u (kN)	ρ_a	λ_g	h _l (m)	S _t (cm)	ϕ_l (cm)	A _t (cm ²)
(40x40)	26.27	2.5	5.08	2.9	12	1.2	4.93
(30x30)	44.09	2.5	7.14	3.06	12	1.2	11.14
(40x40)	11.24	2.5	5.36	3.06	14	1.4	2.46
(30x30)	31.80	2.5	7.14	3.06	12	1.2	7.95

Tableau 3-76. Vérification.

Section	λ	A(cm)	h _l (m)	α	B _r (cm ⁴)	N _u ≤ N _{cal}	Observation
(40x40)	12.34	40	2.9	0.829	1444	186.437	Vérifiée
(30x30)	16.90	30	3.06	0.812	784	383.31	Vérifiée
(40x40)	12.67	40	3.06	0.828	1444	85.58	Vérifiée
(30x30)	16.90	30	3.06	0.812	748	276.52	Vérifiée

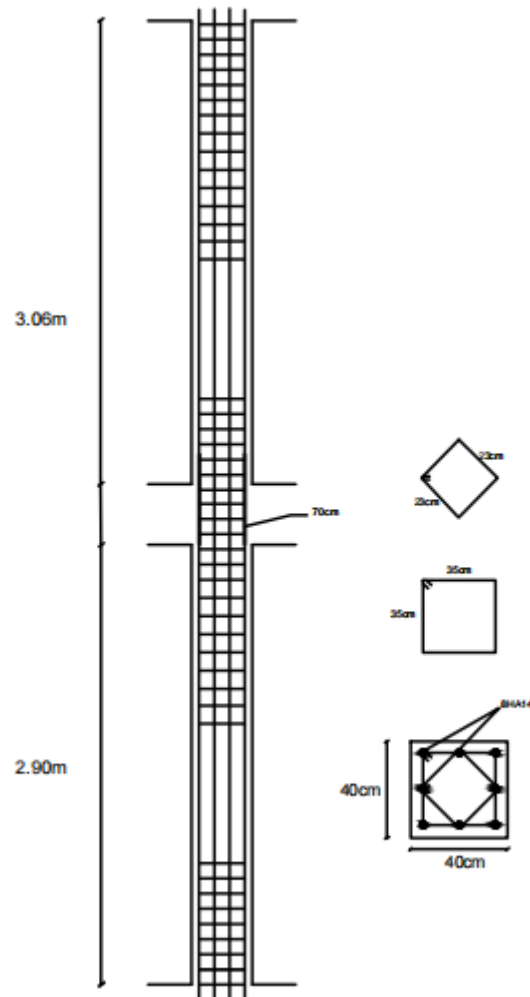


Figure 51. Schéma d'un ferrailage de poteau (40x40).

3.6.2 Ferrailages des poutres :

Les poutres en béton armé sont des éléments porteur horizontale, Les poutres sont soumises aux moments fléchissent et aux efforts tranchants, donc elles sont calculées en flexion simple. La fissuration est considérée comme peu préjudiciable.

3.6.2.1 Selon RPA99(2003)

3.6.2.1.1 Armatures longitudinales :

Le pourcentage total minimum des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est de 0,5% en toute section.

Le pourcentage total maximum des aciers longitudinaux est de :

- 4% en zone courante

- 6% en zone de recouvrement

Les poutres supportant de faibles charges verticales et sollicitées principalement par les forces latérales sismiques doivent avoir des armatures symétriques avec une section en travée au moins égale à la moitié de la section sur appui. La longueur minimale de recouvrement est de : 50 en zone III

3.6.2.1.2 Armatures transversales

- La quantité d'armatures transversales minimales est donnée par :

$$A_t = 0.003 \times s \times b$$

- L'espacement maximum entre les armatures transversales est déterminé comme suit :

Dans la zone nodale et en travée si les armatures comprimées sont nécessaires :

$$\text{Minimum de } \left(\frac{h}{4}, 12\phi \right)$$

En dehors de la zone nodale : $S \leq \frac{h}{2}$

- Le diamètre ϕ_1 est le petit diamètre utilise.
- Les premières armatures transversales doivent être disposées à 5cm au plus nu de l'appui ou de l'encastrement.

3.6.2.2 Les sollicitations selon Logiciel Robot analysais

Tableau 3-77. Sollicitations du poutre principale 'Bloc1'.

	ELU		(G+Q+Ex)	
	Appui	Travée	Appui	Travée
Moment	-113.27	68.89	-76.79	50.26
Effort tranchant	81.27	/	56.65	/

Tableau 3-78. Sollicitations du poutre secondaire 'Bloc1'.

	ELU		(G+Q+Ex)	
	Appui	Travée	Appui	Travée
Moment	-67.15	33.36	-48.72	24.44
Effort tranchant	74.14	/	54.04	/

Tableau 3-79. Sollicitations du poutre principale 'Bloc2'.

	ELU		(G+Q+Ex)	
	Appui	Travée	Appui	Travée
Moment	-119.95	87.46	-88.24	63.86
Effort tranchant	102.37	/	74.99	/

Tableau 3-80.Sollicitations du poutre secondaire 'Bloc2'.

	ELU		(G+Q+Ex)	
	Appui	Travée	Appui	Travée
Moment	-66.58	40.01	-51.29	29.21
Effort tranchant	64.61	/	48.29	/

Bloc1*3.6.2.3 Poutre principale (30×40)*

Nous Prenons la poutre (30× 40) de bloc1 :

$b=30$ cm; $h=40$ cm; $d=0.9 \times h = 36$ cm; $M_T=68.89$ kN.m; $M_A=-113.27$ kN.m;

$M_{ser}=49.34$ kN.m ; $L=5.84$ m.

*3.6.2.3.1 Armatures longitudinales**3.6.2.3.1.1 En travée*

$$\mu = \frac{M_U}{b \times d^2 \times f_{bu}} \leq \mu_l$$

$$\mu = \frac{68.89 \times 10^3}{30 \times 36^2 \times 14.17} = 0.125 < 0.392 \quad A_s' = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.125})$$

$$\alpha = 0.167$$

$$Z = d(1 - 0.4\alpha)$$

$$Z = 0.36(1 - 0.4 \times 0.167)$$

$$Z = 0.336 \text{ m} = 336 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{Mu}{Z \times \sigma_{st}}$$

$$A_s = \frac{68.89 \times 10^6}{336 \times 348} = 589.17 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 5.89 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \geq 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{\min} \geq 0.23 \times 30 \times 36 \times \frac{2.1}{400}$$

$$A_{\min} \geq 1.30 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix : } 3\text{HA}12 + 1\text{HA}14 = 4.62 + 1.54 = 6.16 \text{ cm}^2$$

3.6.2.3.1.2 Sur Appui

$$\mu = \frac{113.27 \times 10^3}{30 \times 36^2 \times 14.17} = 0.205 < 0.392 \quad A_{s'} = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.205})$$

$$\alpha = 0.291$$

$$Z = 0.36(1 - 0.4 \times 0.167)$$

$$Z = 0.318 \text{ m} = 318 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{113.27 \times 10^6}{318 \times 348} = 1023.55 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 10.24 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_s \geq 0.23 \times 30 \times 36 \times \frac{2.1}{400}$$

$$A_s \geq 1.30 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix : } 3\text{HA}20 + 2\text{HA}12 = 9.42 + 2.26 = 11.68 \text{ cm}^2$$

3.6.2.3.1.3 Vérification de l'effort tranchant (BAEL91)

$$\bar{\tau}_u = \min(0.1 \times f_{c28}; 4 \text{ Mpa})$$

$$\bar{\tau}_u = \min(0.1 \times 25; 4 \text{ Mpa})$$

$$\bar{\tau}_u = 2.5 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u \leq \frac{T}{b \times d}$$

$$\tau_u \leq \frac{81.27 \times 10^3}{300 \times 360}$$

$$\tau_u \leq 0.75 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u$$

$$0.75 \leq 2.5 \dots \dots \dots \text{ Vérifiée}$$

Pourcentage totale max des aciers longitudinaux

- Poutre principale (30×40) : 4% (b×h) = 48 cm²

- Zone de recouvrement : $6\% (b \times h) = 72 \text{ cm}^2$

3.6.2.3.2 Armatures Transversale

Espacement maximale :

$$S_t \leq \min (0.9 d ; 40 \text{ cm})$$

$$S_t \leq \min (0.9 \times 36 ; 40 \text{ cm})$$

$$S_t \leq \min (32.4 ; 40 \text{ cm})$$

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

Pourcentage des armatures transversale (BAEL91)

$$\frac{A_t}{S_t} \geq \frac{10^4 \times b \times \gamma_s \times (\tau_u - 0.3 \times f_{t28} \times K)}{0.9 \times f_e}$$

($K=0$; avec la reprise de bétonnage)

$$\frac{A_t}{S_t} \geq \frac{10^4 \times 0.3 \times 1.15 \times (0.75 - 0.3 \times 2.1 \times 0)}{0.9 \times 400}$$

$$\frac{A_t}{S_t} \geq 7.19 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$\phi_t \leq \min \left(\phi_l ; \frac{h}{35} ; \frac{b}{10} \right)$$

$$\phi_t \leq \min \left(12 ; \frac{400}{35} ; \frac{300}{10} \right)$$

$$\phi_t \leq \min(12 ; 11.43 ; 30)$$

$$\phi_t \leq 11.43 \text{ mm}$$

On prend : $\phi_t = 10 \text{ mm}$

$$\text{Choix : } 8\phi_8 \leftrightarrow A_t = 4.02 \text{ cm}^2$$

$$S_t \leq \frac{2.01}{7.19} \times 10^2$$

$$S_t \leq 27.96 \text{ cm}$$

La condition minimale des armatures si on prendre $S_t = 15 \text{ cm}$

$$\frac{A_t \times f_e}{S_t \times b} \geq 0.4 \text{ Mpa}$$

$$\frac{2.01 \times 400}{0.15 \times 0.3} \times 10^{-4} = 1.79 \geq 0.4 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{ V\u00e9rifi\u00e9e}$$

Condition De l'RPA99(2003)

$$S_t \leq \frac{A_t}{0.003 \times b}$$

$$S_t \leq \frac{2.01}{0.003 \times 30} = 22.33 \text{ cm.}$$

$$S_t = \min\left(\frac{h}{4}; 12; \phi_l\right)$$

$$S_t = \min\left(\frac{40}{4}; 12; 10\right)$$

$$S_t = 10 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{Zone nodale.}$$

Sur une longer de $l' = 2 \times h = 80 \text{ cm}$

$$S_t = \frac{h}{2} = \frac{40}{2}$$

$$S_t = 20 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{Zone courante}$$

3.6.2.3.3 Vérification à ELS

$$D = 15(A_s + A_s') / b$$

$$D = 15(8.64 + 0) / 20$$

$$D = 6.48$$

$$E = 30(A_s \times d + A_s' \times d') / b6$$

$$E = 30(8.64 \times 36 + 0) / 20$$

$$E = 466.56$$

$$Y1 = -D + \sqrt{D^2 + E}$$

$$Y1 = -6.48 + \sqrt{6.48^2 + 466.56}$$

$$Y1 = 16.1 \text{ cm}$$

$$I = b \times \frac{Y1^3}{3} + 15 \times A_s \times (d - Y1)^2 + 15 \times A_s' \times (d' - Y1)^2$$

$$I = 30 \times \frac{16.1^3}{3} + 15 \times 8.64 \times (36 - 16.1)^2 + 0$$

$$I = 93055.71 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I}$$

$$K = \frac{49.34 \times 10^6}{93055.71 \times 10^4} = 0.053$$

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

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = K \times Y1$$

$$\sigma_{bc} = 0.053 \times 141.9 = 7.52 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 7.52 \text{ Mpa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} fe; 110 \sqrt{\eta \times ft28} \right\}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} 400; 110 \sqrt{1.6 \times 2.1} \right\}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \{ 266.67; 201.63 \}$$

$$\bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 15 \times K \times (d - Y1)$$

$$\sigma_s = 15 \times 0.053 \times (360 - 141.9)$$

$$\sigma_s = 173.39 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 173.39 \text{ Mpa} \leq \bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

« ELS est vérifiée ont gardé le ferrailage a 'ELU' »

3.6.2.3.4 Vérification de la flèche

$$\frac{h}{L} > \frac{1}{16}$$

$$\frac{0.4}{5.84} > \frac{1}{16}$$

$$0.0685 > 0.0625 \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

$$\frac{A_s}{b \times d} < \frac{4.2}{fe}$$

$$\frac{6.16}{30 \times 36} < \frac{4.2}{400}$$

$$5.7 \times 10^{-3} < 0.0105 \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

3.6.2.4 Poutre secondaire (20×30)

Nous Prenons la poutre (20× 30) de bloc1:

$$b=20 \text{ cm}; h=30 \text{ cm}; d=0.9 \times h = 27 \text{ cm}; M_T=33.36 \text{ kN.m}; M_A=67.15 \text{ kN.m};$$

$$M_s=24.38 \text{ kN.m}; T=74.14 \text{ kN}; L=4.20 \text{ m}.$$

3.6.2.4.1 Armatures longitudinales

3.6.2.4.1.1 En travée

$$\mu = \frac{M_U}{b \times d^2 \times f_{bu}} \leq \mu_l$$

$$\mu = \frac{33.36 \times 10^3}{20 \times 27^2 \times 14.17} = 0.161 < 0.392 \quad A_s' = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.161})$$

$$\alpha = 0.221$$

$$Z = d(1 - 0.4\alpha)$$

$$Z = 0.27(1 - 0.4 \times 0.221)$$

$$Z = 0.246\text{m} = 246\text{mm}$$

$$A_s = \frac{Mu}{Z \times \sigma_{st}}$$

$$A_s = \frac{33.36 \times 10^6}{246 \times 348} = 389.68 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 3.90 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \geq 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{\min} \geq 0.23 \times 20 \times 27 \times \frac{2.1}{400}$$

$$A_{\min} \geq 0.65 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix : } 3\text{HA}12 + 2\text{HA}12 = 3.39 + 2.26 = 5.65 \text{ cm}^2$$

3.6.2.4.1.2 Sur Appui

$$\mu = \frac{67.15 \times 10^3}{20 \times 27^2 \times 14.17} = 0.325 < 0.392 \quad A_s' = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.325})$$

$$\alpha = 0.510$$

$$Z = 0.27(1 - 0.4 \times 0.510)$$

$$Z = 0.215\text{m} = 215\text{mm}$$

$$A_s = \frac{67.15 \times 10^6}{215 \times 348} = 897.49 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 8.98 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \geq 0.23 \times 20 \times 27 \times \frac{2.1}{400}$$

$$A_{\min} \geq 0.65 \text{ cm}^2$$

Choix : 6HA14 = 9.23 cm²

3.6.2.4.1.3 Vérification de l'effort tranchant (BAEL91)

$$\bar{\tau}_u = \min(0.1 \times f_{c28}; 4 \text{ Mpa})$$

$$\bar{\tau}_u = \min(0.1 \times 25; 4 \text{ Mpa})$$

$$\bar{\tau}_u = 2.5 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u \leq \frac{T}{b \times d}$$

$$\tau_u \leq \frac{74.14 \times 10^3}{200 \times 270}$$

$$\tau_u \leq 1.37 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u$$

1.37 ≤ 2.5 Vérifiée

Pourcentage totale max des aciers longitudinaux

- Poutre principale (20×30) : 4% (b×h) = 24 cm²
- Zone de recouvrement : 6% (b×h) = 36 cm²

3.6.2.4.2 Armatures Transversale

Espacement maximale :

$$S_t \leq \min(0.9 d ; 40 \text{ cm})$$

$$S_t \leq \min(0.9 \times 27 ; 40 \text{ cm})$$

$$S_t \leq \min(24.3 ; 40 \text{ cm})$$

$$S_t = 20 \text{ cm}$$

Pourcentage des armatures transversale (BAEL91)

$$\frac{A_t}{S_t} \geq \frac{10^4 \times b \times \gamma_s \times (\tau_u - 0.3 \times ft_{28} \times K)}{0.9 \times fe}$$

($K=0$; avec la reprise de bétonnage)

$$\frac{A_t}{S_t} \geq \frac{10^4 \times 0.2 \times 1.15 \times (1.37 - 0.3 \times 2.1 \times 0)}{0.9 \times 400}$$

$$\frac{A_t}{S_t} \geq 8.75 \text{ cm}^2/\text{m}_l$$

$$\phi_t \leq \min\left(\phi_l; \frac{h}{35}; \frac{b}{10}\right)$$

$$\phi_t \leq \min\left(12; \frac{300}{35}; \frac{200}{10}\right)$$

$$\phi_t \leq \min(12; 8.57; 20)$$

$$\phi_t \leq 8.57 \text{ mm}$$

On prend : $\phi_t = 8 \text{ mm}$

$$\text{Choix : } 4\phi_8 \leftrightarrow A_t = 2.01 \text{ cm}^2$$

$$S_t \leq \frac{2.01}{8.57} \times 10^2$$

$$S_t \leq 23.45 \text{ cm}$$

La condition minimale des armatures si on prendre $S_t=15 \text{ cm}$

$$\frac{A_t \times fe}{S_t \times b} \geq 0.4 \text{ Mpa}$$

$$\frac{2.01 \times 400}{0.15 \times 0.2} \times 10^{-4} = 2.68 \geq 0.4 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée}$$

Condition De l'RPA99(2003)

$$S_t \leq \frac{A_t}{0.003 \times b}$$

$$S_t \leq \frac{2.01}{0.003 \times 20} = 33.5 \text{ cm.}$$

$$S_t = \min\left(\frac{h}{4}; 12; \phi_l\right)$$

$$S_t = \min\left(\frac{30}{4} = 7.5; 12; 8\right)$$

$S_t = 7 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{Zone nodale.}$

Sur une longer de $l' = 2 \times h = 60 \text{ cm}$

$$S_t = \frac{h}{2} = \frac{30}{2}$$

$$S_t = 15 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{Zone courante}$$

3.6.2.4.3 Vérification à ELS

$$D = 15(A_s + A_s') / b$$

$$D = 15(5.65 + 0) / 20$$

$$D = 4.24$$

$$E = 30(A_s \times d + A_s' \times d') / b6$$

$$E = 30(5.65 \times 27 + 0) / 20$$

$$E = 228.83$$

$$Y1 = -D + \sqrt{D^2 + E}$$

$$Y1 = -4.24 + \sqrt{4.24^2 + 228.83}$$

$$Y1 = 11.47 \text{ cm}$$

$$I = b \times \frac{Y1^3}{3} + 15 \times A_s \times (d - Y1)^2 + 15 \times A_s' \times (d' - Y1)^2$$

$$I = 20 \times \frac{11.47^3}{3} + 15 \times 5.65 \times (27 - 11.47)^2 + 0$$

$$I = 30500.10 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I}$$

$$K = \frac{24.38 \times 10^6}{30500.10 \times 10^4} = 0.0799$$

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

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = K \times Y1$$

$$\sigma_{bc} = 0.0799 \times 11.47 = 9.16 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 9.16 \text{ Mpa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e; 110 \sqrt{\eta \times f_{t28}} \right\}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} 400; 110 \sqrt{1.6 \times 2.1} \right\}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min\{266.67; 201.63\}$$

$$\bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 15 \times K \times (d - Y1)$$

$$\sigma_s = 15 \times 0.0799 \times (270 - 114.7)$$

$$\sigma_s = 189.13 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 189.13 \text{ Mpa} \leq \bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

« ELS est vérifiée ontgardé le ferrailage a ‘ELU’ »

3.6.2.4.4 Vérification de la flèche

$$\frac{h}{L} > \frac{1}{500} \dots \dots \dots (\text{pour } L < 5m)$$

$$\frac{30}{420} > \frac{1}{500}$$

$$0.071 > 0.002 \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

$$\frac{A_s}{b \times d} < \frac{4.2}{f_e}$$

$$\frac{5.65}{20 \times 27} < \frac{4.2}{400}$$

$$0.01046 < 0.0105 \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

Bloc2

3.6.2.5 Poutre principale (30×40)

Nous Prenons la poutre (30× 40) de bloc2 :

b=30 cm; h=40 cm; d=0.9× h = 36 cm; M_T=87.46 kN.m; M_A=-119.95 kN.m;

M_{ser}=63.92 kN.m ; L=6.23m ; T=102.37 kN.

3.6.2.5.1 Armatures longitudinales

3.6.2.5.1.1 En travée

$$\mu = \frac{M_U}{b \times d^2 \times f_{bu}} \leq \mu_l$$

$$\mu = \frac{87.46 \times 10^3}{30 \times 36^2 \times 14.17} = 0.159 < 0.392 \quad A_{s'} = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.159})$$

$$\alpha = 0.218$$

$$Z = d(1 - 0.4\alpha)$$

$$Z = 0.36(1 - 0.4 \times 0.218)$$

$$Z = 0.329\text{m} = 329\text{mm}$$

$$A_s = \frac{Mu}{Z \times \sigma_{st}}$$

$$A_s = \frac{87.46 \times 10^6}{329 \times 348} = 763.90 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 7.64 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \geq 0.23 \times b \times d \times \frac{ft_{28}}{f_e}$$

$$A_{\min} \geq 0.23 \times 30 \times 36 \times \frac{2.1}{400}$$

$$A_{\min} \geq 1.30\text{cm}^2$$

$$\text{Choix : } 3\text{HA}20 + 2\text{HA}12 = 9.42 + 2.26 = 11.68\text{cm}^2$$

3.6.2.5.1.2 Sur Appui:

$$\mu = \frac{119.95 \times 10^3}{30 \times 36^2 \times 14.17} = 0.218 < 0.392 \quad A_s' = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.218})$$

$$\alpha = 0.311$$

$$Z = 0.36(1 - 0.4 \times 0.311)$$

$$Z = 0.315\text{m} = 315\text{mm}$$

$$A_s = \frac{119.95 \times 10^6}{315 \times 348} = 1094.23 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 10.94 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_s \geq 0.23 \times 30 \times 36 \times \frac{2.1}{400}$$

$$A_s \geq 1.30\text{cm}^2$$

$$\text{Choix : } 3\text{HA}20 + 2\text{HA}12 = 9.42 + 2.26 = 11.68 \text{ cm}^2$$

3.6.2.5.1.3 Vérification de l'effort tranchant (BAEL91)

$$\bar{\tau}_u = \min(0.1 \times f_{c28}; 4 \text{ Mpa})$$

$$\bar{\tau}_u = \min(0.1 \times 25; 4 \text{ Mpa})$$

$$\bar{\tau}_u = 2.5 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u \leq \frac{T}{b \times d}$$

$$\tau_u \leq \frac{102.37 \times 10^3}{300 \times 360}$$

$$\tau_u \leq 0.95 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u$$

$$0.95 \leq 2.5 \dots \dots \dots \text{ Vérifiée}$$

Pourcentage totale max des aciers longitudinaux

- Poutre principale (30×40) : 4% (b×h) = 48 cm²
- Zone de recouvrement : 6% (b×h) = 72 cm²

3.6.2.5.2 Armatures Transversale

Espacement maximale :

$$S_t \leq \min(0.9 d ; 40 \text{ cm})$$

$$S_t \leq \min(0.9 \times 36; 40 \text{ cm})$$

$$S_t \leq \min(32.4; 40 \text{ cm})$$

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

Pourcentage des armatures transversale (BAEL91)

$$\frac{A_t}{S_t} \geq \frac{10^4 \times b \times \gamma_s \times (\tau_u - 0.3 \times f_{t28} \times K)}{0.9 \times f_e}$$

(K = 0 ; avec la reprise de bétonnage)

$$\frac{A_t}{S_t} \geq \frac{10^4 \times 0.3 \times 1.15 \times (0.95 - 0.3 \times 2.1 \times 0)}{0.9 \times 400}$$

$$\frac{A_t}{S_t} \geq 9.10 \text{ cm}^2/\text{m}_1$$

$$\phi_t \leq \min\left(\phi_l; \frac{h}{35}; \frac{b}{10}\right)$$

$$\phi_t \leq \min\left(12; \frac{400}{35}; \frac{300}{10}\right)$$

$$\phi_t \leq \min(12; 11.43; 30)$$

$$\phi_t \leq 11.43 \text{ mm}$$

On prend : $\phi_t = 10 \text{ mm}$

$$\text{Choix : } 8\phi 8 \leftrightarrow A_t = 4.02 \text{ cm}^2$$

$$S_t \leq \frac{3.14}{9.10} \times 10^2$$

$$S_t \leq 34.51 \text{ cm}$$

La condition minimale des armatures si on prendre $S_t = 15 \text{ cm}$

$$\frac{A_t \times f_e}{S_t \times b} \geq 0.4 \text{ Mpa}$$

$$\frac{3.14 \times 400}{0.15 \times 0.3} \times 10^{-4} = 0.28 \geq 0.4 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée}$$

Condition De l'RPA99(2003)

$$S_t \leq \frac{A_t}{0.003 \times b}$$

$$S_t \leq \frac{3.14}{0.003 \times 30} = 34.89 \text{ cm.}$$

$$S_t = \min\left(\frac{h}{4}; 12; \phi_l\right)$$

$$S_t = \min\left(\frac{40}{4}; 12; 10\right)$$

$S_t = 10 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{Zone nodale.}$

Sur une longer de $l' = 2 \times h = 80 \text{ cm}$

$$S_t = \frac{h}{2} = \frac{40}{2}$$

$S_t = 20 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{Zone courante}$

3.6.2.5.3 Vérification à ELS

$$D = 15(A_s + A_s') / b$$

$$D = 15(11.68 + 0) / 20$$

$$D = 8.76$$

$$E = 30(A_s \times d + A_s' \times d') / b_6$$

$$E=30(11.68 \times 36 + 0) / 20$$

$$E=630.72$$

$$Y1 = -D + \sqrt{D^2 + E}$$

$$Y1 = -8.76 + \sqrt{8.76^2 + 630.72}$$

$$Y1 = 17.84 \text{ cm}$$

$$I = b \times \frac{Y1^3}{3} + 15 \times A_s \times (d - Y1)^2 + 15 \times A_s' \times (d' - Y1)^2$$

$$I = 30 \times \frac{17.84^3}{3} + 15 \times 11.68 \times (36 - 17.84)^2 + 0$$

$$I = 114557.02 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{M_{ser}}{I}$$

$$K = \frac{63.92 \times 10^6}{114557.02 \times 10^4} = 0.056$$

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

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = K \times Y1$$

$$\sigma_{bc} = 0.056 \times 178.4 = 9.99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 9.99 \text{ Mpa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} f_e; 110 \sqrt{\eta \times f_{t28}} \right\}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} 400; 110 \sqrt{1.6 \times 2.1} \right\}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \{ 266.67; 201.63 \}$$

$$\bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 15 \times K \times (d - Y1)$$

$$\sigma_s = 15 \times 0.056 \times (360 - 178.4)$$

$$\sigma_s = 152.54 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 152.54 \text{ Mpa} > \bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

« ELS est vérifiée ont gardé le ferrailage a 'ELU' »

3.6.2.5.4 Vérification de la flèche

$$\frac{h}{L} > \frac{1}{16}$$

$$\frac{0.4}{6.23} > \frac{1}{16}$$

0.0642 > 0.0625Vérifiée.

$$\frac{A_s}{b \times d} < \frac{4.2}{f_e}$$

$$\frac{11.68}{30 \times 36} < \frac{4.2}{400}$$

0.0102 < 0.0105Vérifiée.

3.6.2.6 Poutre secondaire (20×30)

Nous Prenons la poutre (20× 30) de bloc2:

b=20 cm; h=30 cm; d=0.9× h = 27 cm; M_T=40.1 kN.m; M_A=66.58 kN.m;

M_s=29.24 kN.m; T=64.61 kN; L=4.90m.

3.6.2.6.1 Armatures longitudinales

3.6.2.6.1.1 En travée

$$\mu = \frac{M_U}{b \times d^2 \times f_{bu}} \leq \mu_l$$

$$\mu = \frac{40.01 \times 10^3}{20 \times 27^2 \times 14.17} = 0.194 < 0.392 \quad A_{s'} = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu})$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.194})$$

$$\alpha = 0.272$$

$$Z = d(1 - 0.4\alpha)$$

$$Z = 0.27(1 - 0.4 \times 0.272)$$

$$Z = 0.241\text{m} = 241\text{mm}$$

$$A_s = \frac{Mu}{Z \times \sigma_{st}}$$

$$A_s = \frac{40.01 \times 10^6}{241 \times 348} = 477.42 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 4.77 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \geq 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{\min} \geq 0.23 \times 20 \times 27 \times \frac{2.1}{400}$$

$$A_{\min} \geq 0.65 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix : } 3\text{HA}12 + 2\text{HA}14 = 3.39 + 3.08 = 6.47 \text{ cm}^2$$

3.6.2.6.1.2 Sur Appui

$$\mu = \frac{66.58 \times 10^3}{20 \times 27^2 \times 14.17} = 0.012 < 0.392 \quad A_s' = 0$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0.012})$$

$$\alpha = 0.015$$

$$Z = 0.27(1 - 0.4 \times 0.015)$$

$$Z = 0.268 \text{ m} = 268 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{66.58 \times 10^6}{268 \times 348} = 713.89 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 7.14 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité :

$$A_{\min} \geq 0.23 \times 20 \times 27 \times \frac{2.1}{400}$$

$$A_{\min} \geq 0.65 \text{ cm}^2$$

$$\text{Choix : } 6\text{HA}14 = 9.23 \text{ cm}^2$$

3.6.2.6.1.3 Vérification de l'effort tranchant (BAEL91)

$$\bar{\tau}_u = \min(0.1 \times f_{c28}; 4 \text{ Mpa})$$

$$\bar{\tau}_u = \min(0.1 \times 25; 4 \text{ Mpa})$$

$$\bar{\tau}_u = 2.5 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u \leq \frac{T}{b \times d}$$

$$\tau_u \leq \frac{64.61 \times 10^3}{200 \times 270}$$

$$\tau_u \leq 1.2 \text{ Mpa}$$

$$\tau_u \leq \bar{\tau}_u$$

$$1.2 \leq 2.5 \dots \dots \dots \text{Vérifiée}$$

Pourcentage totale max des aciers longitudinaux

- Poutre principale (20×30) : 4% (b×h)=24 cm²
- Zone de recouvrement : 6% (b×h) =36 cm²

3.6.2.6.2 Armatures transversale

Espacement maximale :

$$S_t \leq \min(0.9 d ; 40\text{cm})$$

$$S_t \leq \min(0.9 \times 27 ; 40\text{cm})$$

$$S_t \leq \min(24.3 ; 40\text{cm})$$

$$S_t = 20 \text{ cm}$$

Pourcentage des armatures transversale (BAEL91)

$$\frac{A_t}{S_t} \geq \frac{10^4 \times b \times \gamma_s \times (\tau_u - 0.3 \times f_{t28} \times K)}{0.9 \times f_e}$$

(K = 0 ; avec la reprise de bétonnage)

$$\frac{A_t}{S_t} \geq \frac{10^4 \times 0.2 \times 1.15 \times (1.2 - 0.3 \times 2.1 \times 0)}{0.9 \times 400}$$

$$\frac{A_t}{S_t} \geq 7.67 \text{ cm}^2/\text{m}_l$$

$$\phi_t \leq \min\left(\phi_l; \frac{h}{35}; \frac{b}{10}\right)$$

$$\phi_t \leq \min\left(12; \frac{300}{35}; \frac{200}{10}\right)$$

$$\phi_t \leq \min(12; 8.57; 20)$$

$$\phi_t \leq 8.57 \text{ mm}$$

On prend : $\phi_t = 8 \text{ mm}$

$$\text{Choix : } 4\phi_8 \leftrightarrow A_t = 2.01 \text{ cm}^2$$

$$S_t \leq \frac{2.01}{7.67} \times 10^2$$

$$S_t \leq 26.21 \text{ cm}$$

La condition minimale des armatures si on prend $S_t = 15 \text{ cm}$

$$\frac{A_t \times f_e}{S_t \times b} \geq 0.4 \text{ Mpa}$$

$$\frac{2.01 \times 400}{0.15 \times 0.2} \times 10^{-4} = 2.68 \geq 0.4 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée}$$

Condition de l'RPA99 (2003)

$$S_t \leq \frac{A_t}{0.003 \times b}$$

$$S_t \leq \frac{2.01}{0.003 \times 20} = 33.5 \text{ cm.}$$

$$S_t = \min\left(\frac{h}{4}; 12; \phi_l\right)$$

$$S_t = \min\left(\frac{30}{4} = 7.5; 12; 8\right)$$

$$S_t = 7 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{Zone nodale.}$$

Sur une longer de $l' = 2 \times h = 60 \text{ cm}$

$$S_t = \frac{h}{2} = \frac{30}{2}$$

$$S_t = 15 \text{ cm} \dots \dots \dots \text{Zone courante}$$

3.6.2.6.3 Vérification à ELS

$$D = 15(A_s + A_s') / b$$

$$D = 15(6.47 + 0) / 20$$

$$D = 4.85$$

$$E = 30(A_s \times d + A_s' \times d') / b6$$

$$E = 30(6.47 \times 27 + 0) / 20$$

$$E = 262.04$$

$$Y1 = -D + \sqrt{D^2 + E}$$

$$Y1 = -4.85 + \sqrt{4.85^2 + 262.04}$$

$$Y1 = 12.05 \text{ cm}$$

$$I = b \times \frac{Y1^3}{3} + 15 \times A_s \times (d - Y1)^2 + 15 \times A_s' \times (d' - Y1)^2$$

$$I = 20 \times \frac{12.05^3}{3} + 15 \times 6.47 \times (27 - 12.05)^2 + 0$$

$$I = 33355.52 \text{ cm}^4$$

$$K = \frac{Mser}{I}$$

$$K = \frac{29.24 \times 10^6}{33355.52 \times 10^4} = 0.085$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 \times fc28$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = K \times Y1$$

$$\sigma_{bc} = 0.085 \times 112.5 = 9.56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{bc} = 9.56 \text{ Mpa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 15 \text{ Mpa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} fe; 110 \sqrt{\eta \times ft28} \right\}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \left\{ \frac{2}{3} 400; 110 \sqrt{1.6 \times 2.1} \right\}$$

$$\bar{\sigma}_s = \min \{ 266.67; 201.63 \}$$

$$\bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 15 \times K \times (d - Y1)$$

$$\sigma_s = 15 \times 0.08 \times (270 - 112.5)$$

$$\sigma_s = 200.81 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_s = 200.81 \text{ Mpa} \leq \bar{\sigma}_s = 201.63 \text{ MPa} \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

« ELS est vérifiée ont gardé le ferrailage a 'ELU' »

3.6.2.6.4 Vérification de la flèche

$$\frac{h}{L} > \frac{1}{500} \dots \dots \dots (\text{pour } L < 5m)$$

$$\frac{30}{490} > \frac{1}{500}$$

$$0.061 > 0.002 \dots \dots \dots \text{Vérifiée.}$$

$$\frac{A_s}{b \times d} < \frac{4.2}{fe}$$

$$\frac{6.47}{20 \times 27} < \frac{4.2}{400}$$

$$0.011 < 0.0105 \dots \dots \dots \text{Non Vérifiée.}$$

Conclusion :

Tableau 3-81. Résultat de ferrailage des poutres 'bloc1'.

Ferrailages des poutres bloc1					
Section	En Travée	Sur Appui	\varnothing_t (mm)	S_t Courante (cm)	S_t Nodale (cm)
30×40	3HA12+1HA14	3HA20+2HA12	10	20	10
20×30	3HA12+2HA12	6HA14	8	15	7

Tableau 3-82. Résultat de ferrailage des poutres 'bloc2'.

Ferrailages des poutres bloc2					
Section	En Travée	Sur Appui	\varnothing_t (mm)	S_t Courante (cm)	S_t Nodale (cm)
30×40	3HA20+2HA12	3HA20+2HA12	10	20	10
20×30	3HA12+2HA14	6HA14	8	15	7

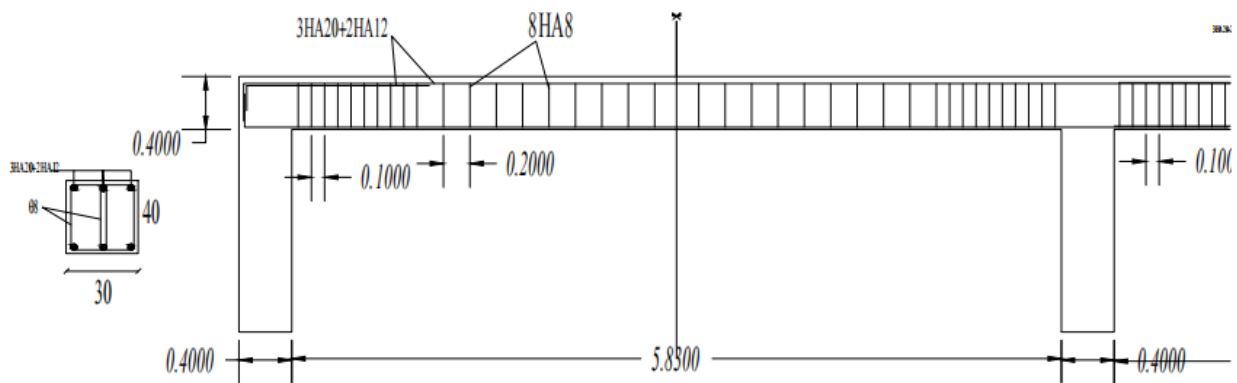


Figure 52. Schéma du ferrailage de la poutre principale.

3.6.3 Ferrailage des voiles

Les voiles sont des éléments structuraux essentielle pour assure la stabilité et la résistance de la construction fassent diffèrent action : Efforts normaux dus aux forces verticale (charges permanâtes et d'exploitation), Efforts tranchants dus aux forces horizontale (Action sismique) et moments fléchissant dus aux forces horizontale (N, T, M).

Donc le calcul de ferrailage se fait à la flexion composée avec le type de fissuration « peu nuisible » suivant le BAEL91 et le RPA99(2003).

3.6.3.1 *Principe de calcul*

3.6.3.1.1 La méthode de calcul

On utilise la méthode des contraintes (La formule de la RDM)

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} + \frac{M \times V}{I} \leq \bar{\sigma}$$

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} - \frac{M \times V}{I} \leq \bar{\sigma}$$

N : Effort normale applique

M : Moment fléchissant applique

A : Section 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 :

- $(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2) < 0$: La section du voile est entièrement tendue :

$$A_v = \frac{f_t}{f_e} \begin{cases} \text{Si } A_v < A_{min} \\ \text{Si } A_v > A_{min} \end{cases}$$

Avec $A_{min} = 0.15 \times a \times L$

- $(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2) > 0$: La section du voile est entièrement comprimée
- $(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2)$ sont de signe diffèrent, la section du voile est entièrement tendue

3.6.3.1.2 Armatures verticales

Selon RPA99 (Art.7.7.4.1)

Le pourcentage minimal des armatures verticales est de 0.2% de la section horizontale du béton.

A chaque extrémité du voile l'espacement d'extrémité doit être au plus égale s 15 cm

Remarque : Les barres verticales doivent être munies de crochets à la partie supérieure au dernier étage.

3.6.3.1.3 Armatures horizontales

Selon RPA99 :

Les barres horizontales doivent être pourvues de crochets de 135° et avoir une longueur de 10ϕ .

Dans le cas de cage d'ascenseur les barres horizontales devront être ancrées sans crocheté si les dimensions des talons permettent la réalisation d'un ancrage droit.

Règles générales

Le pourcentage minimum d'armatures horizontales et verticales des voiles est donne comme suit :

- Globalement dans la section du voile : 0.15%.
- En zone courante :0.1%.
- Le diamètre maximale $\phi_{max} \leq \frac{b}{10}$ (sauf en zone d'about)
- L'espacement des barres : $St \leq \min(1.5b ; 30\text{cm})$
- La longueur de recouvrement sera égale à $40\phi_{max}$
- Les barres seront disposées en double nappe.

3.6.3.1.4 Armatures transversales

Les armatures transversales sont nécessaires uniquement pour les aciers verticaux.

- Si le diamètre des aciers verticaux inférieur ou égal à 12 mm donc les armatures transversales sont à prévoir à raison d'une densité de 4 épingles /1 m² au moins.
- Si le diamètre des aciers verticaux supérieur ou égal à 12 mm donc les armatures transversales doivent tenir toutes les barres avec un espacement d'au plus 15 fois le diamètre des aciers verticaux.
- Les armatures transversales peuvent être des épingles de diamètre 6mm lorsque les barres longitudinales sont de diamètre au plus au égale à 20 mm, et de diamètre 8mm c'est le diamètre et inférieur à 20 mm.

3.6.3.1.5 Aciers de couture

On ajoute une quantité d'aciers de couture à la section d'argiles tondues le long des joints de reprise de coulage, en se basant sur la relation suivante :

$$A_{vj} = 1.1 \frac{V}{fe}$$

Avec : $V=1.4V_u$ (Calcule).

3.6.3.1.6 Exemple de calcul

$L=4.5m$, $e=20cm$, $M=521.39 kN.m$, $N=1579.4 kN$, $A=1m^2$, $I=2.06 m^4$

Determination des contraintes:

$$\sigma_1 = \frac{1579.4 \times 10^{-3}}{1} + \frac{521.39 \times 10^{-3} \times 2.25}{2.06} \leq 21.74 MPa$$

$$2.17 MPa < 21.74 MPa$$

$$\sigma_1 = \frac{1579.4 \times 10^{-3}}{1} - \frac{521.39 \times 10^{-3} \times 2.25}{2.06} \leq 21.74 MPa$$

$$1.03 MPa \leq 21.74 MPa$$

$(\sigma_1 \text{ et } \sigma_2) > 0$: La section du voile est entièrement comprimée.

D'après l'RPA99(2003) :

$$A_{\min} = \frac{0.15 \times 20 \times 450}{100}$$

$$A_{\min} = 13.50 \text{ cm}^2$$

Choix : 10HA14=15.39 cm²

L'aciers de couture :

$$A_{vj} = 1.1 \frac{1.4 \times 199.96 \times 10}{400}$$

$$A_{vj} = 7.7 \text{ cm}^2$$

Espacement :

Selon BAEL91 :

$$St \leq (2a; 33cm)$$

$$St \leq (2 \times 20; 33cm)$$

$$St \leq 33cm$$

Selon RPA99 (2003):

$$St \leq (1.5a; 30cm)$$

$$St \leq (1.5 \times 20; 30cm)$$

$$St \leq 30 \text{ cm}$$

$$St \leq \min\{St_{RPA}; St_{BAEL}\}$$

$$St \leq \min\{30 \text{ cm}; 33 \text{ cm}\}$$

$$St \leq 30 \text{ cm}$$

$$St = 15 \text{ cm.}$$

Vérification à ELS:

Selon BAEL91

$$\tau \leq \bar{\tau}$$

$$\tau = \frac{Vu}{e \times d}$$

$$\tau = \frac{199.96 \times 10^{-3}}{0.20 \times 4.5} = 0.22 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} = \min\left(\frac{0.15 \times 25}{1.15}, 4 \text{ MPa}\right)$$

$$\bar{\tau} = 3.26 \text{ MPa}$$

$$0.22 < 3.26 \text{ MPa} \dots \text{Vérifiée}$$

Selon RPA99

$$\tau \leq \bar{\tau}$$

$$\tau = \frac{1.4Vu}{e \times d}$$

$$\tau = \frac{1.4 \times 199.96 \times 10^{-3}}{0.20 \times 4.5} = 0.28 \text{ MPa}$$

$$\bar{\tau} = \min\left(\frac{0.15 \times 25}{1.15}, 4 \text{ MPa}\right)$$

$$\bar{\tau} = 3.26 \text{ MPa}$$

$$0.28 < 3.26 \text{ MPa} \dots \text{Vérifiée}$$

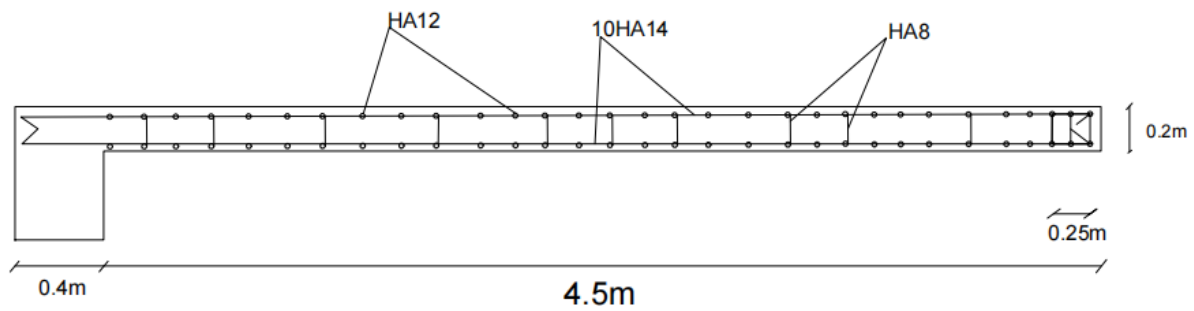


Figure 93. Schéma du ferrailage de la voile.

3.7 Conclusion

L'étude de structure en béton armé est suivie d'une méthodologie rigoureuse et des normes reconnues.

Dans un premier temps, le pré dimensionnement des éléments structuraux a été effectué. Cette étape cruciale a permis de définir les dimensions initiales des poutres, poteaux, planchers et voiles, escalier en se basant sur les charges permanentes et les surcharges d'exploitation.

Ensuite, une modélisation précise de la structure a été réalisée à l'aide du logiciel ROBOT Analyses. Cette modélisation a permis de simuler le comportement de la structure sous différentes sollicitations, incluant les charges statiques et dynamiques.

Les études dynamiques ont été menées pour évaluer la réponse de la structure aux charges sismiques, conformément aux prescriptions du **RPA99(2003)**. Ces études ont permis de vérifier la stabilité et la sécurité de la structure face au séisme.

La détermination des efforts dans les éléments structuraux a été réalisée à partir des résultats de la modélisation. Ces efforts ont ensuite été utilisés pour le calcul des ferrailages, en respectant les normes de **BAEL91** et le **CBA93**.

Conclusion générale

Ce projet nous a permis d'un côté d'assimiler l'importance de l'impact de la construction à l'économie et à l'environnement, Par l'effet du choix des matériaux de construction, des tiroirs d'isolation thermique et du respect des lois thermiques pour obtenir un bâtiment confortable pour les utilisateurs

Dans le premier chapitre, nous avons étudié l'amélioration thermique des bâtiments, en nous concentrant sur la réglementation thermique **RT2012**, les matériaux et méthodes d'isolation. En utilisant le logiciel **Archimist**, nous avons évalué l'isolation thermique et les scénarios de chauffage, comparé un bâtiment sans isolation avec un bâtiment isolé en polystyrène, et conclu que l'isolation est essentielle pour le confort thermique et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Nous recommandons l'isolation des murs par l'intérieur et l'utilisation de portes fenêtres en PVC pour leur performance thermique. La détection et le traitement des ponts thermiques sont également nécessaires pour améliorer l'efficacité énergétique.

Le deuxième chapitre présente la résidence à étudier, sa localisation géographique, et sa classification selon la réglementation parasismique algérienne. Il décrit les caractéristiques du sol, les aspects géométriques et architecturaux de la résidence, ainsi que les bases du calcul structurel et du béton armé nécessaires

Dans le dernier chapitre, nous avons abordé l'étude de structure en béton armé suit des étapes précises et des normes reconnues. On commence par définir les dimensions des éléments comme les poutres et les poteaux. Ensuite, on utilise le logiciel de **Robot analyses** pour simuler le comportement de la structure sous différentes charges, y compris les séismes. Enfin, on calcule les renforts nécessaires pour assurer la sécurité de la structure.

Références

- [1] *L'Histoire de La Réglementation Thermique*.2018, re2018.fr/accueil/reglementations-et-labels/rt2012/histoire-reglementation-thermique/
- [2] “Définition de BBC, Bâtiments Basse Consommation - Lexique EDF ENR.” EDF ENR, www.edfenr.com/lexique/bbc-batiments-basse-consommation/.
- [3] *RT2012 Version Du 29 Août 2011*. 2011th ed., france, 2011.
- [4] *L'équipe de rédaction*. “Label BBC : Avantages et Obtention de La Certification.” *Blog Obat*, 20 Apr. 2021, www.obat.fr/blog/label-bbc/#quest-ce-que-le-label-bbc-nbsp. Accessed 18 Sept. 2024.
- [5] *Imessad, Khaled, et al.* “Mise En Application de La Nouvelle Réglementation Thermique Algérienne Du Bâtiment.” *Journal of Renewable Energies*, vol. 20, no. 4, 31 Dec. 2017, pp. 591–597, www.cder.dz/download/Art20-4_5.pdf, <https://doi.org/10.54966/jreen.v20i4.652>.
- [6] “Laine Minérale : Prix, Types & Avantages.” *Isolation-Info.fr*, 24 Jan. 2024, www.isolation-info.fr/materiaux-isolants/laine-minerale.
- [7] “Isolant de Laine Minérale - NAIMA Canada.” *NAIMA Canada*, 17 Nov. 2016, www.naimacanada.ca/isolant-de-laine-minerale/?lang=fr. Accessed 18 Sept. 2024.
- [8] *Canada, Santé*. “La Sécurité Des Fibres Vitreuses Artificielles - Canada.ca.” *Canada.ca*, 2024, www.canada.ca/fr/sante-canada/services/vie-saine/votre-sante-
- [9] “Fiche Complète Pour Laine Minérale - CNESST.” *Gouv.qc.ca*, 2024, reptox.cnesst.gouv.qc.ca/pages/fiche-complete.aspx?no_produit=647347. Accessed 18 Sept. 2024.
- [10] “Upenergie.” *Up Energie.com*, 30 Nov. 2021, www.upenergie.com/isolation-polystyrene/. Accessed 18 Sept. 2024.
- [11] *Watt, Hello*. “Comment isoler ses murs intérieurs avec du polystyrène ?.” *Hello Watt*, 2019, www.hellowatt.fr/isolation/isolation-murs/isolation-murs-interieurs-polystyrene. Accessed 18 Sept. 2024.
- [12] *FR, 123dok*. *La Réglementation Thermique Des Bâtiments En Algérie :* 123dok.net/article/la-r%C3%A9glementation-thermique-des-b%C3%A2timents-en-alg%C3%A9rie.q2n31066.

- [13] “Réglementation Thermique RT2012.” *Ministères Écologie Énergie Territoires*, www.ecologie.gouv.fr/reglementation-thermique-rt2012.
- [14] “Exigences de La RT2012.” *Bureau d’Études Thermiques RT2012 En Ligne*, Jan. 2014, www.e-rt2012.fr/explications/generalites/exigences-de-la-rt-2012/.
- [15] Wikipédia. “Panneau Sandwich.” *Wikipedia.org, Fondation Wikimedia, Inc.*, 2 Nov. 2013, fr.wikipedia.org/wiki/Panneau_sandwich. Accessed 23 Sept. 2024.
- [16] “Sintex Continuous Sandwich Puf Roof Panel.” *Indiamart.com*, 2022, www.indiamart.com/proddetail/sintex-continuous-sandwich-puf-roof-panel-2359481373.html. Accessed 18 Sept. 2024.
- [17] David, Amélie. “Laine de Roche : Tout Sur Ce Super Isolant Thermique & Phonique.” *Habitatpresto.com, HabitatPresto*, 10 Dec. 2019, www.habitatpresto.com/mag/isolation/laine-roche-choisir-isolant. Accessed 18 Sept. 2024.
- [18] “Tout Savoir Sur Les Déperditions Thermiques d’Une Maison.” *Www.laprimeenergie.fr*, www.laprimeenergie.fr/les-travaux/isolation-thermique/tout-savoir-sur-la-deperdition-thermique.
- [19] “Les Différentes Techniques d’Isolation Thermique.” *Qualitel | Particuliers*, www.qualitel.org/particuliers/isolation/techniques-isolation/#:~:text=Il%20existe%203%20grands%20types%20d%E2%80%99isolation%20%3A%201.
- [20] “Construction Neuve : Comprendre La RT 2012.” *Www.toutsurlisolation.com*, www.toutsurlisolation.com/exigences-rt-2012.
- [21] “Comprendre le DPE : le guide complet sur le Diagnostic de Performance Énergétique.” <https://particuliers.engie.fr/economies-energie/conseils-economies-energie/conseils-normes-energetiques/diagnostic-performance-energetique.html>

- [22] “*Quelles Épaisseurs d’Isolants Pour Mon Projet RT 2012 ?*” Bureau d’Études Thermiques RT2012 En Ligne, Jan. 2014,
- [24] www.ert2012.fr/explications/conception/choisir-isolation-rt-2012/. Accessed 18 Sept. 2024.
- [23] “*Quelle Menuiserie Pour Être Conforme à La RT 2012 ?*” IFETS, 22 July 2017, www.ifets.org/guides/e105-menuiserie-rt-2012/. Accessed 18 Sept. 2024.
- [25] “*Qu’est-Ce Qu’un Pont Thermique ? Les Causes et Solutions.*” Placo.fr, 2020, www.placo.fr/confort-bien-etre/isolation-thermique-logement/quest-ce-quun-pont-thermiqueles-causes-et-solutions#2. Accessed 18 Sept. 2024.
- [26] expert isolation. “*Traitement Des Ponts Thermiques : Quelles Sont Les Solutions ?*” Mieux Rénover, 22 May 2024, mieuxrenover.com/traitement-ponts-thermiques/. Accessed 18 Sept. 2024.
- [27] “*Erkol pro Isolation.*” Erkol pro Isolation, 13 July 2022, www.erkolpro-isolation.fr/actualites/comment-realiser-une-isolation-exterieure-au-polystyrene/. Accessed 18 Sept. 2024.
- [28] “*Le diagnostic performance énergétique.*” App.goo.gl, 2024, images.app.goo.gl/UGVzEcE9jggvpcCQ6. Accessed 18 Sept. 2024.
- [29] David, Amélie. “*Laine de Roche : Tout Sur Ce Super Isolant Thermique & Phonique.*” Habitatpresto.com, HabitatPresto, 10 Dec. 2019, www.habitatpresto.com/mag/isolation/laine-roche-choisir-isolant. Accessed 18 Sept. 2024.
- [30] “*Isolation Avec Laine de Roche : Epaisseur, Choix, Prix, Pose.*” M-Habitat.fr, 2019, www.m-habitat.fr/isolation/materiaux-isolants/isolation-avec-laine-de-roche-616_A. Accessed 18 Sept. 2024.
- [31] “*Builders Merchants | Timber & Builders Merchant.*” Bmcoltd.co.uk, 2024, www.bmcoltd.co.uk/. Accessed 18 Sept. 2024.

- [32] La Rédaction. "Avenir Energie." *Avenir Energie*, 14 Mar. 2023, www.avenir-energie.net/isolation-des-combles-avec-osb-comment-bien-realiser-lisolation/. Accessed 18 Sept. 2024.
- [33] "Isolation-Murs-Intérieurs." *Quotatis.fr*, www.quotatis.fr/conseils-travaux/elements/isolation/isolation-murs-interieurs/.
- [34] Batiweb. "GUIDE ISOLATION." *Batiweb*, Batiweb, 12 Nov. 2020, www.batiweb.com/produit-btp/guide-isolation-346372. Accessed 18 Sept. 2024.
- [35] "Fonctions-Et-Types-De-Planchers." *Ingenieur*, ingénieur T1
- [36] "Fonctions-Et-Types-De-Planchers." *Ingenieur*, ingénieur- T2.
- [37] "L'isolation Des Maisons d'Habitation, Une Importance Vitale d'Ordre Économique et Écologique – Maison Basse Énergie." *Maisonbasse-Energie.com*, Mar. 2019, www.maisonbasse-energie.com/lisolation-des-maisons-dhabitation-une-importance-vitale-dordre-economique-et-ecologique/. Accessed 18 Sept. 2024.
- [38] "Climat, Météo Par Mois, Température Moyenne Pour Alger (Algérie) – Weather Spark." *Weatherspark.com*, 2024, fr.weatherspark.com/y/48929/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-%C3%A0-Alger-Alg%C3%A9rie-tout-au-long-de-l. Accessed 4 Oct. 2024.
- [39] "Météo, Température Moyenne Pour Alger En Hiver (Algérie) - Weather Spark." *Weatherspark.com*, 2024, fr.weatherspark.com/s/48929/3/M%C3%A9t%C3%A9o-moyenne-en-hiver-%C3%A0-Alger-Alg%C3%A9rie. Accessed 4 Oct. 2024.

- **Règlements utilisés :**

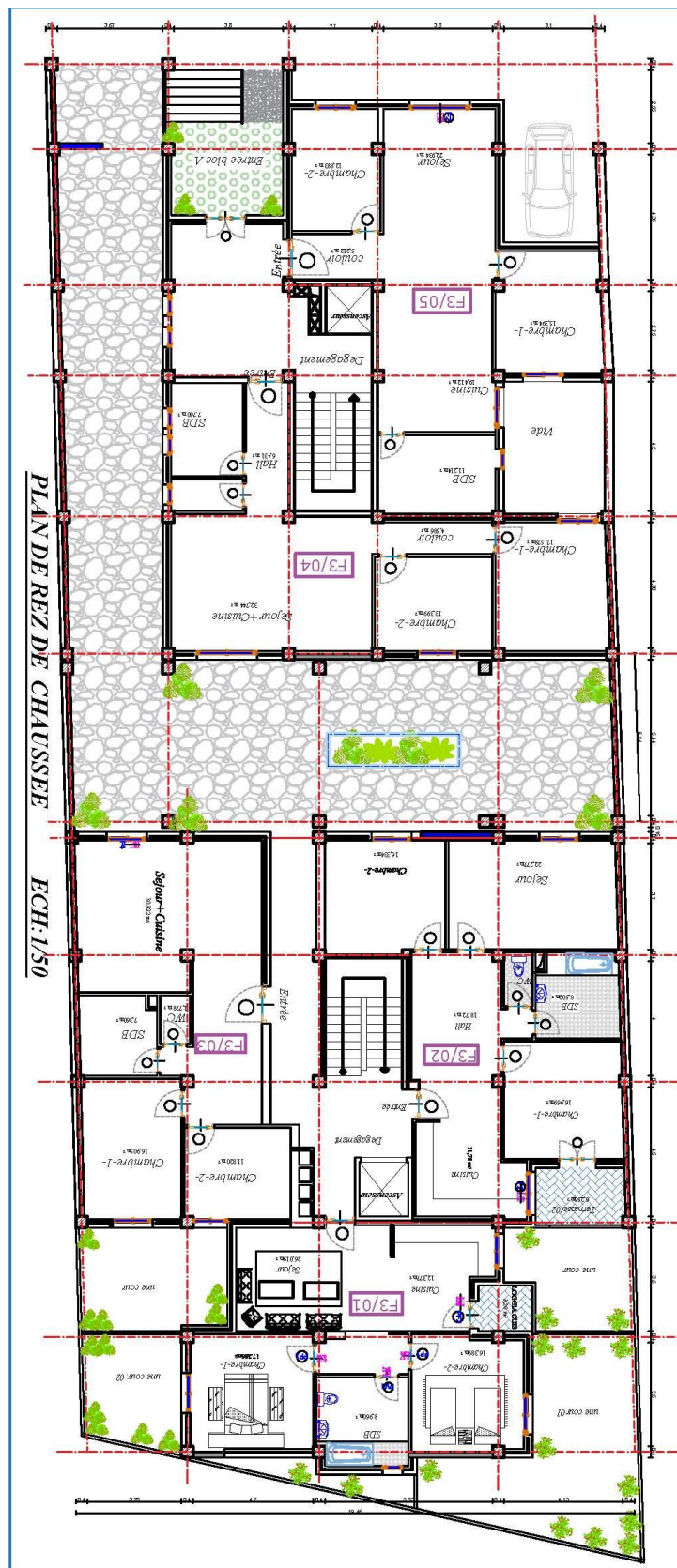
BAEL 91: Règlement du Béton Armé aux Etats Limites;

DTR B.C. 22: Charges permanentes et charges d'exploitation;

RPA99(2003) : Règlements Parasismiques Algériennes;

CBA93 : Règles de construction et de calcul des structures en béton arme (Code Algérien en Béton Arme).

Annexe



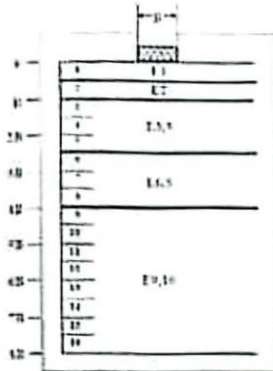






SOIL TECH ENGINEERING

R.N. N°24 Hai Beniada Local B10 Bis Heuraoua Alger
 Tél / Fax : 023958099 Mob : 0770310673
 Email : t.ahar.ark@edunyahoo.dz



$$\frac{1}{E_{2,2}} = \frac{1}{E_2} + \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}$$

$$\frac{1}{E_{2,3}} = \frac{1}{E_3} + \frac{1}{E_2} + \frac{1}{E_1}$$

$$\frac{1}{E_{2,6}} = \frac{1}{E_6} + \frac{1}{E_3} + \frac{1}{E_2} + \frac{1}{E_1}$$

a) Les hypothèses sur la fondation :

Type de fondation	Semelle filante
Profondeur d'ancrage	D = 2,20 m
Largeur de la fondation	B = 2,00 m

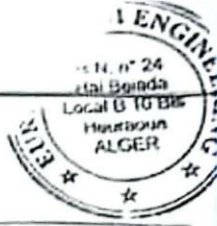
b) Résultats des calculs de tassements :

Sondage	lc	α	Qs (bars)	Sc (cm)	Sd (mm)	St (cm)
SP-01	1,50	0,67	1,80	0,61	0,94	1,55

8. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS :

Compte tenu des reconnaissances effectuées et les analyses des résultats obtenus, le site étudié est caractérisé par:

- La nature du sol décrite est formée essentiellement d'une argile limoneuse peu compacte de 6,80 m d'épaisseur avec une présence de cailloux au sommet, surplombant une couche d'argile marneuse plus compact de 1,00m d'épaisseur, le tout repose sur une alternance de sables fin et de blocs de grès de 4,00m d'épaisseur. Enfin, le sol est recouvert par une couche de béton (dallage).



- Les Pénétrogrammes obtenus ont mis en évidence de bonnes résistances en pointe avec des valeurs moyennes de 50 bars au-delà de 2.00m de profondeur, et jusqu'à atteindre le refus à 6,50m.

L'allure des Pénétrogrammes confirme la formation mise en évidence par les sondages carottés, les courbes sont relativement semblables ce qui exprime un sol homogène tant en plan qu'en profondeur.

- Aucune trace d'eau n'est détectée sur la profondeur d'investigation.

Les teneurs en sulfate converties en mg/kg de terrain (ppm) sont de l'ordre de 613 ppm et révèle une agressivité correspondant au plus exactement à la classe XA1 (niveau faible) pour le béton armé hydraulique durci selon NA 16002 version 2016, néanmoins, le béton fabriqué dans les règles de l'art doit être compact par ses qualités intrinsèques sans aucune autre mesure particulière.

L'usage d'un ciment ordinaire est suffisant conformément aux dispositions prévues dans la norme NA 16 002 ou son équivalente la NF EN ISO 206 1

- D'après le document technique réglementaire DTR BC 2-48 des règles parasismiques Algériennes RPA 99, révisées en 2003, la commune de Heuraoua fait partie des communes A de la wilaya d'Alger classée en zone III, sismicité élevée.

- Aucun signe d'instabilité n'est apparent sur le site à l'état actuel.

Sur la base de ces résultats nous vous proposons le mode de fondation ci-après :

- ❖ Des fondations superficielles
- ❖ Retenir un taux de travail de sol de **1.80 bars**.
- ❖ L'ancrage serait de **2.20 m** à partir de la côte du terrain actuel
- ❖ Les tassements obtenus à partir des essais pressiométriques et oedométriques demeurent admissibles dans la limite fixée par la contrainte admissible.
- ❖ Selon le document technique réglementaire DTR BC 2-48 des règles parasismiques Algériennes RPA 99, révisées en 2003, et sur la base des résultats des essais pressiométriques, le site est classé dans la Catégorie **S₃ (Site meuble)**.