



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

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**

**Département de Génie Civil**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

**Pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur d'Etat en Génie Civil**

**CONCEPTION ET ETUDE D'UN**  
**BATIMENT VERT**

**Proposé par :**  
**E.N.P**

**Présenté par :**  
**BELGHENOU Mohamed**  
**BOUZIANE KOURMI Mohamed**

**Dirigé par :**  
**MC K.SILHADI**  
**CC R.SIAMMOUR**

**Promotion juin 2008**

**ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE**  
**Address: B.P 182 16 200 El-Harrach-Alger**  
**Tel: +213 21 52 53 01/03 Fax: +213 21 52 29 73 web: www.enp.edu.dz**

# *Remerciements.*

Nous tenant à remercier nos promoteurs Mr K.SILHADI et Mr SIAMMOUR pour leurs appréciations compétentes qu'ils ont été à l'origine de ce travail, pour leurs aide si précieuse et ses conseils éclairés tout au long du travail.

Nos remerciements vont également à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation.

## ملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة عمارة خضراء ذات استعمال بيذاغوجي يعتزم إقامتها بالمدرسة الوطنية المتعددة التقنيات. البنية مكونة من خرسانة مسلحة مع تدعيم مختلط,, و قد تم التصميم وفقا لقوانين و معايير البناء المطبقة في الجزائر مع العمل على دمج مفاهيم التنمية المستدامة بالإضافة إلى دراسة حرارية تهدف إلى تخفيض استهلاك الطاقة في البناية

الدراسة الديناميكية تمت بواسطة برنامج ETABS و في الأخير دراسة البنية التحتية و ذلك بحساب الأساسات.

## كلمات مفاتيح

التنمية المستدامة , عمارة خضراء, دراسة حرارية, الدراسة الديناميكية, خرسانة مسلحة, تدعيم مختلط,, دراسة البنية التحتية

---

## Résumé

Le but de ce travaille est l'étude d'un bâtiment vert à usage pédagogique qui devra être conçue a l'ENP, la structure et en béton armé avec un contreventement mixte

La conception a été faite selon les règlements de construction en vigueur (RPA99version2003, CBA93, BAEL91) tout on essayant d'intégrer les notions du développement durable avec une étude thermique qui nous aide à diminuer l'énergie consommer par notre bâtiment. L'étude dynamique a été faite sur le logiciel ETABS 9. Finalement, l'étude de l'infrastructure du bâtiment a été faite par le calcul des fondations.

## Mots clés

Développement durable, bâtiment vert, étude thermique, Béton armé, contreventement mixte, L'étude dynamique, étude de l'infrastructure.

---

## Abstract

The goal of this works is the study of a green building of scientific use which will have to be designed has the PNS, the structure and out of concrete reinforced with a mixed wind-bracing

The design was made according to payments' of construction in force (RPA99version2003, CBA93, BAEL91) all one trying to integrate the notions of durable development with a thermal study which helps us to decrease energy to consume by our building. The dynamic study was made on software ETABS 9. Finally, the study of the infrastructure of the building was made by the calculation of the foundations.

## Key words

Durable development, green building, thermal study, Reinforced concrete, mixed brace system, dynamic analysis, foundations.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b>	01
<b>Chapitre I : Développement Durable</b>	
I-1 Introduction	02
I-2 Historique	02
I-3 Définition de l'expression "développement durable"	02
I-4 Condition nécessaire au développement durable	03
I-5 Les objectifs du développement durable	03
I-6 Pourquoi intégrer la notion de développement durable dans le cadre bâti ?	03
I-7 La prise en compte du développement durable dans la construction	04
I-8 Qu'est-ce qu'un bâtiment vert	05
I-9 Critères de durabilité	05
I-10 Facteurs de succès des démarches de Développement durable dans le secteur du Bâtiment	06
I-11 Solutions envisagée pour ce projet	09
1- Conception architecturale	09
2- Orientation du bâtiment	09
3- Murs et Cloisons	09
4- Vitrage	09
5- Matériaux	10
6- Energie solaire	12
7- Eclairage naturel	14
8- Recommandations en phase de construction	14
<b>Chapitre II : Etude de la structure</b>	
<b>II-1 Présentation du Projet</b>	
II-1-1 Introduction	17
II-1-2 Présentation du bâtiment	17
II-1-3 Caractéristiques du bâtiment	18
i- Caractéristiques géométriques	18
ii- Eléments du bâtiment	19
<b>II-2 Principe du béton armé</b>	
II-2-1 Introduction	20
II-2-2 Principe De Fonctionnement	20
II-2-3 Caractéristiques Mécaniques Des Matériaux	20
a- Béton	20
b- Aciers	22
<b>II-3 Prédimensionnement</b>	
II-3-1 Introduction	24
II-3-2 Prédimensionnement des planchers	24
a- Planchers à corps creux	24
b- Dalle plane	24
II-3-3 Evaluations des charges et surcharges	25
a- Planchers	25
b- Maçonnerie	28
c- Acrotère	28
d- L'escalier	29
II-3-4 Prédimensionnement des poutres	29
II-3-5 Prédimensionnement des poteaux	30
A. Bloc 1	31
A.1. Charges et surcharges revenants au poteau	31
A.2. La descente de charge	32
A.3. Détermination des sections des poteaux	33

B. Bloc 2	33
B.1. Charges et surcharges revenants au poteau	33
B.2. La descente de charge.	34
B.3. Détermination des sections des poteaux	35
II-3-6 Prédimensionnement des voiles	36
II-3-7 Tableau récapitulatif	37
<b>II-4 Éléments non structuraux</b>	
II-4-1 L'acrotère	38
i. Introduction	38
ii. Chargement	38
iii. Sollicitation	39
iv. Calcul du ferrailage	39
II-4-2 L'escalier	42
i. Introduction	42
ii. Nomenclature	42
iii. Détermination des dimensions des différents éléments de l'escalier	42
iv. Chargements	44
v. Combinaisons d'action	44
vi. Sollicitations de calcul	45
vii. Calcul du ferrailage	45
II-4-3 Planchers à corps creux	47
i. Introduction	47
ii. Calcul des poutrelles	47
a. Avant coulage	47
b. Après coulage	47
iii. Table de compression	56
<b>II-5 Etude dynamique et sismique</b>	
II-5-1 Introduction	57
II-5-2 Objectifs de l'étude dynamique	57
II-5-3 Calcul dynamique du bâtiment	57
II-5-4 Méthode modale spectrale	57
i. Hypothèses de calcul	57
ii. Analyse de la structure	57
iii. Le choix du positionnement des voiles	58
II-5-5 Etude dynamique	58
I. Etude du 1 <sup>er</sup> bloc	58
I-1 Caractéristique géométrique de la structure	59
I-2 Vérifications réglementaires	59
II. Etude du 2 <sup>ème</sup> bloc	66
II-1 Caractéristique géométrique de la structure	66
II-2 Vérifications réglementaires	67
II-5-6 Justification de la largeur du joint sismique	70
II-5-7 Tableau récapitulatif	70
<b>II-6 : Ferrailage des éléments structuraux</b>	
II-6-1 Introduction	71
II-6-2 Ferrailage des poteaux	71
a. Combinaison des charges	71
b. Recommandations des règles parasismiques algériennes RPA99	71
c. Résultats des sollicitations	72
d. Ferrailage des poteaux	73
e. Vérification de la condition de non fragilité	74
II-6-3 Ferrailage des poutres	77
a. Prescriptions données par RPA99/version 2003	77
b. Combinaison des charges	78

c. Les sollicitations de calcul	78
d. Résultats du ferrailage	78
e. Vérifications nécessaires pour les poutres	79
II-6-4 Ferrailage des voiles	79
a. Stabilité des constructions vis-à-vis les charges latérales	79
b. Rôle de contreventement	79
c. Ferrailage des voiles	80
d. Combinaisons de charges	80
e. Prescriptions imposées par RPA99	80
f. Calcule des voiles du 1er bloc	81
g. L'étude du 2ième bloc	85
II-6-5 Tableaux récapitulatifs	86
<b>II-7 : Fondations</b>	
II-7-1 Introduction	87
II-7-2 Calcul Des Fondations	87
II-7-3 Etude des fondations du 1er bloc	88
II-7-4 Etude des fondations du 2ième bloc	96
<b>Chapitre II : L'étude thermique</b>	
III.1. Introduction	102
III.2. Objectifs de l'isolation thermique.	102
III.3. Notions élémentaires appliquées au bâtiment.	102
III.4. L'isolation thermique et le développement durable.	103
III.5. L'équilibre thermique d'un local.	103
III.6. Généralités et définitions des lois d'échanges thermiques.	103
III.6.1. L'échange de la chaleur entre deux ambiances séparées par une paroi.	104
III.6.2. Coefficient de conductivité.	105
III.6.3. Résistance thermique.	105
III.6.4. Coefficient de transmission surfacique <b>K</b> .	105
III.7. La réglementation Algérienne.	106
III.7.1. Bases de calcul et exigences.	106
III.7.1.1. Principes généraux.	106
III.7.1.2. Expression générale des déperditions.	106
I. Déperditions totales d'un logement.	106
II. Déperditions totales d'un volume.	107
III. Déperditions par transmission d'un volume.	107
IV. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume.	107
V. Relation entre les déperditions du logement et les déperditions des volumes.	107
III.7.1.3. Calcul des déperditions de base.	107
I. Exigence réglementaire.	107
II. Déperditions de base totales.	107
III. Déperditions de base pour un volume.	107
IV. Température intérieure de base.	108
V. Température extérieure de base.	108
III.7.1.4. Puissance de chauffage a installé.	109
I. Calcul de la puissance de chauffage.	109
III.8. Calcul réglementaire des déperditions.	110
III.8.1. Définition des volumes thermiques.	110
III.8.2. Calcul de la conductance K pour les ouvrants:	110
III.8.3. Calcul de la conductance K pour les planchers:	110
III.8.4.1. Plancher corps creux :	110
III.8.4.2. Plancher dalle plane :	111
III.8.4. Calcul des déperditions par renouvellement d'air:	111
III.8.5. Calcul de la puissance de chauffage pour chaque variante:	113
III.8.6.1. 1 <sup>er</sup> variante :	113

I.	Calcul de la conductance K :	113
II.	Déperditions a travers les parois en contact avec l'extérieur (Surfacique $D_s$ ):	115
III.	Déperditions a travers les liaisons ( $D_{li}$ ):	115
IV.	Déperditions à travers les parois en contact avec le sol ( $D_{sol}$ ):	115
V.	Déperditions a travers les parois en contact avec les locaux non chauffés ( $D_{inc}$ ):	115
VI.	Calcul de la puissance de chauffage :	116
III.8.6.2.	2 <sup>ième</sup> variante :	116
I.	Calcul de la conductance K :	116
II.	Déperditions a travers les parois en contact avec l'extérieur (Surfacique $D_s$ ):	117
III.	Déperditions a travers les liaisons ( $D_{li}$ ):	118
IV.	Déperditions à travers les parois en contact avec le sol ( $D_{sol}$ ):	118
V.	Déperditions a travers les parois en contact avec les locaux non chauffés ( $D_{inc}$ ):	118
VI.	Calcul de la puissance de chauffage :	118
III.8.6.3.	3 <sup>ième</sup> variante :	119
I.	Calcul de la conductance K :	119
II.	Déperditions a travers les parois en contact avec l'extérieur (Surfacique $D_s$ ):	119
III.	Déperditions a travers les liaisons ( $D_{li}$ ):	120
IV.	Déperditions à travers les parois en contact avec le sol ( $D_{sol}$ ):	120
V.	Déperditions a travers les parois en contact avec les locaux non chauffés ( $D_{inc}$ ):	120
VI.	Calcul de la puissance de chauffage :	120
III.8.6.4.	4 <sup>ième</sup> variante :	121
I.	Calcul de la conductance K :	121
II.	Déperditions a travers les parois en contact avec l'extérieur (Surfacique $D_s$ ):	121
III.	Déperditions a travers les liaisons ( $D_{li}$ ):	122
IV.	Déperditions à travers les parois en contact avec le sol ( $D_{sol}$ ):	122
V.	Déperditions a travers les parois en contact avec les locaux non chauffés ( $D_{inc}$ ):	122
VI.	Calcul de la puissance de chauffage :	122
III.9.	conclusion	123
	<b>COCLUSION</b>	124
	Annexes	
	Bibliographie	

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau (II-3-1) : Charges permanentes d'un plancher terrasse	26
Tableau (II-3-2) : Charges permanentes d'un plancher courant	26
Tableau (II-3-3) : Charges permanentes de la dalle de la porte à faux	27
Tableau (II-3-4) : Charges permanentes de la dalle du puits de lumière (terrasse)	27
Tableau (II-3-5) : Charges permanentes de la dalle du puits de lumière (étage courant)	27
Tableau (II-3-6) : Charges permanentes d'un mur intérieur	28
Tableau (II-3-7) : Charges permanentes d'un mur extérieur	28
Tableau (II-3-8) : Charges permanentes du palier d'escalier	29
Tableau (II-3-9) : Charges permanentes de la volée d'escalier	29
Tableau (II-3-10) : La règle de dégression au premier bloc	32
Tableau (II-3-11) : Effort normal revenant au poteau le plus chargé du 1 <sup>er</sup> bloc	33
Tableau (II-3-12) : la section du poteau à chaque étage	33
Tableau (II-3-13) : La règle de dégression au 2 <sup>ième</sup> bloc	34
Tableau (II-3-14) : Effort normal revenant au poteau le plus chargé du 2 <sup>ième</sup> bloc	35
Tableau (II-3-15) : la section du poteau à chaque étage	35
Tableau (II-3-16) : les sections choisies des poteaux	35
Tableau (II-3-17) : tableau récapitule les dimensions des éléments structuraux	37
Tableau (II-4-1) : Charges permanentes du paillasse d'escalier	44
Tableau (II-4-2) : Charges permanentes du palier d'escalier	44
Tableau (II-4-4) : résultats des calculs des sollicitations revenant aux poutrelles à 2 travées	51
Tableau (II-4-5) : résultats des calculs des sollicitations revenant aux poutrelles à 3 travées	52
Tableau (II-4-6) : résultats des calculs des sollicitations revenant aux poutrelles à 5 travées	53
Tableau (II-4-7) : Quantité de ferraillements des poutrelles	54
Tableau (II-4-8) : calcul de la contrainte de cisaillement du béton des poutrelles	55
Tableau (II-4-9) : récapitulation pour le calcul des éléments non structuraux	56
Tableau (II-5-1) : Caractéristiques du 1 <sup>er</sup> bloc	59
Tableau (II-5-2) : Participation de la masse modale effective du 1 <sup>er</sup> bloc	60
Tableau (II-5-3) : valeurs des pénalités réservées au 1 <sup>er</sup> bloc	62
Tableau (II-5-4) : l'effort sismique total à la base du 1 <sup>er</sup> bloc	62
Tableau (II-5-5) : justification vis-à-vis les déplacements des étages du 1 <sup>er</sup> étage	64
Tableau (II-5-6) : justification vis-à-vis l'effet p-Δ suivant X du 1 <sup>er</sup> bloc	65
Tableau (II-5-7) : justification vis-à-vis l'effet p-Δ suivant Y du 1 <sup>er</sup> bloc	65
Tableau (II-5-8) : Caractéristiques du 2 <sup>ième</sup> bloc	66
Tableau (II-5-9) : Participation de la masse modale effective du 2 <sup>ième</sup> bloc	67
Tableau (II-5-10) : valeurs des pénalités réservées au 2 <sup>ième</sup> bloc	67
Tableau (II-5-11) : l'effort sismique total à la base du 2 <sup>ième</sup> bloc	68
Tableau (II-5-12) : justification vis-à-vis les déplacements des étages du 2 <sup>ième</sup> étage	69

Tableau (II-5-13) : justification vis-à-vis l'effet p- $\Delta$ suivant X du 2 <sup>ième</sup> bloc	69
Tableau (II-5-14) : justification vis-à-vis l'effet p- $\Delta$ suivant Y du 2 <sup>ième</sup> bloc	70
Tableau (II-5-15) : récapitulation pour l'étude dynamique	70
Tableau (II-6-1) : les situations accidentelle et durable prise en compte pendant le calcul	71
Tableau (II-6-2) : Sollicitation de calcul pour les Poteaux isolés (1 <sup>er</sup> bloc)	72
Tableau (II-6-3) : Sollicitation de calcul pour les Poteaux adhérent au voile (1 <sup>er</sup> bloc)	72
Tableau (II-6-4) : Sollicitation de calcul pour les Poteaux isolés (2 <sup>ième</sup> bloc)	73
Tableau (II-6-5) : Sollicitation de calcul pour les Poteaux adhérent au voile (2 <sup>ième</sup> bloc)	73
Tableau (II-6-6) : Ferrailage des Poteaux adhérent au voile	73
Tableau (II-6-7) : Ferrailage des Poteaux isolés	74
Tableau (II-6-8) : Sollicitation de calcul pour les poutres	78
Tableau (II-6-9) : Ferrailage des poutres	78
Tableau (II-6-10) : tableau récapitulatif pour le Ferrailage des voiles du 1 <sup>er</sup> bloc	85
Tableau (II-6-11) : tableau récapitulatif pour le Ferrailage des voiles du 2 <sup>ième</sup> bloc	85
Tableau (II-6-11) : tableau récapitulatif du ferrailage des poteaux	86
Tableau (II-6-11) : tableau récapitulatif du ferrailage des poutres	86
Tableau (II-7-1) : sollicitation total a la base du 1 <sup>er</sup> bloc	88
Tableau (II-7-2) : sollicitation transmise au semelle s1	89
Tableau (II-7-3) Prédimensionnement de la semelle isolée S1	89
Tableau (II-7-4) Vérification des contraintes	90
Tableau (II-7-5) : vérification de la capacité portante pour la semelle S1	91
Tableau (II-7-6) : sollicitation transmise à la semelle s2	92
Tableau (II-7-7) dimensionnement de la semelle isolée S2	93
Tableau (II-7-8) : Vérification des contraintes de la semelle isolée S2	93
Tableau (II-7-9) : Vérification de la capacité portante de la semelle isolée S2	93
Tableau (II-7-10) : sollicitation transmise à la semelle sf1	94
Tableau (II-7-11) : Vérification de la capacité portante de la semelle sf1	95
Tableau (II-7-12) : sollicitation transmet à la semelle s'1	96
Tableau (II-7-13) : Prédimensionnement de la semelle s'1	97
Tableau (II-7-14) : Vérification des contraintes de la semelle s'1	97
Tableau (II-7-15) : Vérification de la capacité portante de la semelle s'1	97
Tableau (II-7-16) : Sollicitation de calcul de la semelle s'2	98
Tableau (II-7-17) : Dimension de la semelle s'2	98
Tableau (II-7-18) : Vérification des contraintes de la semelle isolée S'2	98
Tableau (II-7-19) : Vérification de la capacité portante de la semelle s'2	98
Tableau (II-7-20) : Sollicitation de calcul de la semelle sf'1	99
Tableau (II-7-21) : Vérification de la capacité portante de la semelle sf'1	100
Tableau (II-7-21) : récapitulation des résultats de ferrailage des semelles des 2 blocs	101
Tableau (III-1):Les résistances d'échanges superficiels	106
Tableau (III-2):Les valeurs de la température extérieure de base	109
Tableau (III-3):Calcul de la résistance R d'un plancher LC vers LNC(CC)	111

Tableau (III-4):Calcul de la résistance R d'un plancher étage vers l'extérieur(CC)	111
Tableau (III-5): Calcul de la résistance R d'un plancher étage vers l'extérieur(DP)	111
Tableau (III-6):Calcul de débit spécifique supplémentaire par infiltrations dues au vent	113
Tableau (III-7):Calcul de la résistance R de mur de façade(V1)	113
Tableau (III-8):Calcul de la résistance R des retombées des poutres(V1)	113
Tableau (III-9): Calcul de la résistance R des poteaux(V1)	114
Tableau (III-10):Calcul de la résistance R d'un mur vitré(V1)	114
Tableau (III-11):Calcul de la résistance R d'un mur en voile(V1)	114
Tableau (III-12):Calcul des déperditions surfaciques $D_s$ (V1)	115
Tableau (III-13):Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques $D_{it}$ (V1)	115
Tableau (III-14):Calcul des déperditions surfaciques d'une paroi en contact avec un LNC(V1)	115
Tableau (III-15): Calcul des déperditions linéiques d'une paroi en contact avec un LNC(V1)	116
Tableau (III-16) : Calcul de la résistance R de mur de façade(V2)	116
Tableau (III-17): Calcul de la résistance R des retombées des poutres(V2)	116
Tableau (III-18) : Calcul de la résistance R des poteaux(V2)	117
Tableau (III-19) : Calcul de la résistance R d'un mur en voile(V2)	117
Tableau (III-20) : Calcul des déperditions surfaciques $D_s$ (V2)	117
Tableau (III-21) : Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques $D_{it}$ (V2)	118
Tableau (III-22) : Calcul des déperditions surfaciques d'une paroi en contact avec un LNC(V2)	118
Tableau (III-23) : Calcul des déperditions linéiques d'une paroi en contact avec un LNC(V2)	118
Tableau (III-24) : Calcul de la résistance R de mur de façade(V3)	119
Tableau (III-25) : Calcul des déperditions surfaciques $D_s$ (V3)	119
Tableau (III-26) : Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques $D_{it}$ (V3)	120
Tableau (III-27) : Calcul des déperditions surfaciques d'une paroi en contact avec un LNC(V3)	120
Tableau (III-28) : Calcul des déperditions linéiques d'une paroi en contact avec un LNC(V3)	120
Tableau (III-29) : Calcul de la résistance R de mur de façade(V4)	121
Tableau (III-30) : Calcul des déperditions surfaciques $D_s$ (V4)	121
Tableau (III-31) : Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques $D_{it}$ (V4)	122
Tableau (III-32) : Calcul des déperditions surfaciques d'une paroi en contact avec un LNC(V4)	122
Tableau (III-33) : Calcul des déperditions linéiques d'une paroi en contact avec un LNC(V4)	122
Tableau (III-34) : tableau récapitulatif	

- CC: corps creux
- DP: dalle plane
- V1, 2, 3,4:variante1, 2, 3,4

# LISTE DES FIGURES

Figure I-1 : Piliers du Développement durable	07
Figure I-2 : Bloc en terre comprimée	11
Figure I-3 : Schéma d'une chauffe solaire	13
Figure I-5 : Puits de lumière	14
Figure II.1.1 : plan de masse du projet	18
Figure II.2.2 : vue en plan du bâtiment	18
Figure II.3.1 : composants d'un plancher terrasse	25
Figure II.3.2 : composants d'un plancher étage courant	26
Figure II.3.3 : dimensions de l'acrotère	38
Figure II.3.4 : le poteau le plus chargée en 1er bloc	31
Figure II.3.5 : le poteau le plus chargée en 2ième bloc	33
Figure II.3.6 : Dimensions d'une voile	36
Figure II-4-1 : schémas réel et statique d'un acrotère	38
Figure II-4-2 : section de l'acrotère a calculée	39
Figure II-4-3 : plan de ferrailage de l'acrotère	41
Figure II-4-4 : Escalier	42
Figure II-4-5 : dimension des escaliers	43
Figure II-4-6 : chemin de ferrailage des escaliers	46
Figure II-4-7 : schéma d'un corps creux	47
Figure II-4-8 : Schéma statique de la poutrelle	48
Figure II-4-9: choix de disposition des étaitements	48
Figure II-4-10 : Schémas de ferrailage des poutrelles	55
Figure II-5-1 : disposition des voiles dans le 1er bloc	58
Figure II-5-2 : modélisations 3D du 1er bloc	58
Figure II-5-3 : disposition des voiles dans le 2ième bloc	66
Figure II-5-4 modélisations 3D du 2ième bloc	66
Figure II-6-1 : chemin de ferrailages des poteaux	77
Figure II-6-2 : Chemin de ferrailage des poutres	79
Figure II.6.3 : Voiles du 1 <sup>er</sup> bloc	81
Figure II.6.4 : Diagramme des contraintes	82
Figure II.6.5 : contraintes exercée sur la partie tendue	82
Figure II.6.6 : schéma descriptif pour le calcul de l'excentricité	83

Figure II.6.7 : Voiles du 2 <sup>ième</sup> bloc	85
Figure II.6.8 : Chemin descriptif pour la disposition du ferrailage dans les voiles	86
Figure II-7-1 : semelle étudié dans le 1 <sup>er</sup> bloc	88
Figure II-7-2 semelle isolé sous poteau	89
Figure II-7-3 : diagramme des contraintes	90
Figure II-7-4 : Ferrailage de S1	92
Figure II-7-5 : Ferrailage de S2	94
Figure II-7-6 : semelle filante sous 2 poteaux et 1 mur	94
Figure II-7-7 : Ferrailage de sf1	96
Figure II-7-8 : semelle étudié dans le 2 <sup>ième</sup> bloc	96
Figure II-7-9 : Ferrailage de s'1	98
Figure II-7-10 : Ferrailage de s'2	99
Figure II-7-11 Ferrailage de sf'1	101
Figure III-1 : Echange de la chaleur	104



# *Introduction générale*



## INTRODUCTION :

Le présent travail est une étude complète d'un bâtiment vert a usage scientifique localisé au sein de l'ENP

Notre étude se démarquera selon les étapes suivantes :

- La 1<sup>ère</sup> étape comprend une recherche sur la notion du « *développement durable* » et sont application dans le cadre du bâtiment avec quelques propositions concernant ce projet.
  
- La 2<sup>ième</sup> étape a pour objet une étude complète de la structure de ce projet. On commence avec la présentation de l'ouvrage et les caractéristiques des matériaux utilisés .On détaille ensuite la conception du système structural. Puis on présent les résultats de l'étude dynamique-sismique avec le logicielle ETABS qui nous mène aux ferrailages des éléments structuraux. La dernière phase consiste a exploiter l'étude du sol afin de choisir un type de fondation qui assure la sécurité de la construction.
  
- on termine avec une étude thermique sur quelques variantes de mur pour choisir celle qui nous donne le meilleur confort thermique avec le minimum d'énergie (la plus faible déperdition thermique)

*Chapitre I :*

# *Développement Durable*



### I-1 Introduction :

La terre, notre espace vital elle est si fragile que l'homme par sa faute l'a exploitée sans respect et par ignorance longtemps il a oublié qu'il en faisait partie. Un jour, il s'est rendu compte consciemment qu'en faisant du mal à cette terre il le faisait pour lui-même. Le mal est tel que son existence se trouve menacée à jamais.

Alors que la pollution de l'environnement atteint des seuils critiques, les catastrophes se succèdent et l'utilisation des ressources naturelles s'accroît, le terme « Développement durable » apparaît comme une solution qu'il faut maîtriser pour protéger l'avenir de notre planète.

### I-2 Historique [8]:

La notion du “*développement durable*” est une idée récente, elle a fait son chemin depuis trente ans en passant par plusieurs étapes, et les étapes clés sont :

- 1- **1972 “Sommet des nations unies”** : 1<sup>ière</sup> conférence mondiale des nations unies à Stockholm à l'environnement elle introduit la notion « *écodéveloppement* ».
- 2- **1987 “Le rapport Brundtland”**: commandé par les nations unies, donne une première définition du développement durable.
- 3- **1992 “Sommet de la terre”** : La 2<sup>ème</sup> conférence mondiale des nations unies sur l'environnement à Rio De Janeiro constate une situation aggravée depuis 1972 et consacre le développement durable. Et au cours de cette conférence, les états se sont engagés sur un programme d'actions pour le 21<sup>ème</sup> siècle.
- 4- **1997“Conférence de Kyoto”** : sur le réchauffement de la planète, objectif d'atteindre une production moyenne de 5.2% à l'horizon 2010.
- 5- **1998“conférence de Buenos Aires”** : Mise en exécution des accords du Protocole de Kyoto.
- 6- **2002“Sommet du développement durable a Johannesburg ”**: Les engagements pris en étaient extrêmement clairs sur la question du développement durable en précisant sa définition comme il a été indiqué au point5 :

*« Nous assumons notre responsabilité collective qui est de faire progresser, aux niveaux local, national, régional et mondial, le développement économique, le développement social et la protection de l'environnement, piliers interdépendants et complémentaires du développement durable ».*

### I-3 Définition de l'expression « développement durable » :

Une analyse sémantique donne ce qui suit :

**Développement** : processus qui étend le potentiel décisionnel de l'être humain, tant du point de vue qualitatif que quantitatif.



**Durable** : terme qui désigne ce qui est constant, permanent, susceptible de durée longtemps en présentant une certaine stabilité.

Le terme « Développement durable » signifie la possibilité d'assurer une évolution nécessaire qui n'est pas limitée dans le temps. C'est-à-dire un processus dynamique de développement et de régulation.

La définition la plus communément admise du développement durable est celle donnée dans le rapport Brundtland (1987) : « *le développement durable répond aux attentes des générations présentes à satisfaire leurs besoins sans compromettre a la capacité des générations futures de répondre aux leurs* »

#### **I-4 Condition nécessaire au développement durable :**

L'atteinte du développement durable présuppose qu'un certain nombre de conditions soient respectées, et parmi celles proposées par de nombreux chercheurs, nous retenons les suivantes :

- 1- le rythme d'utilisation des ressources naturelles renouvelables n'excède pas celui de leur régénération.
- 2- Le rythme d'épuisement des ressources non renouvelable ne dépasse pas le rythme de développement de substituts renouvelables.
- 3- La quantité de pollution et de déchets ne dépasse pas celle que peut absorber l'environnement.

#### **I-5 Les objectifs du développement durable [8]:**

L'objectif est de promouvoir un **autre modèle de développement** que celui adopté par les pays industrialisés durant les cinquante dernières années. Cette nécessité repose sur le constat des atteintes portées à l'environnement et sur le fait que ce modèle, appliqué au développement auquel aspirent légitimement les pays du Sud, conduirait à la fois à un épuisement irréversible des ressources et à des tensions sociales graves.

Actuellement, les besoins fondamentaux de millions d'hommes et de femmes dans le monde ne sont pas satisfaits : le besoin de se nourrir, de se loger, de se vêtir, de travailler, de vivre dans un environnement salubre... Ce nouveau modèle de développement doit permettre de satisfaire ces besoins essentiels et de tendre vers une **amélioration du niveau de vie** de tous les hommes, aujourd'hui et demain.

« L'homme » est au centre de ce nouveau modèle de développement qui repose sur une plus grande **solidarité**

- **entre les générations** : notre développement d'aujourd'hui ne doit pas hypothéquer celui de nos enfants ;

- **entre les territoires** : il ne peut y avoir de développement durable là où coexisteraient d'un côté l'opulence d'une minorité et de l'autre côté l'exclusion ou la misère pour le plus grand nombre.

#### **I-6 Pourquoi intégrer la notion de développement durable dans le cadre bâti [9]?**



Les villes et les bâtiments, en général, sont les plus gros consommateurs d'énergies et les plus gros producteurs de pollution. La notion de « ville durable » émerge au sommet de Rio en 1992.

Cependant une dizaine d'années plus tard ce concept cherche encore les voies de sa réalisation pratique.

La prise de conscience de l'impact environnemental du cadre bâti date du premier choc pétrolier. La chasse aux économies d'énergies est alors lancée. Or, comme nous l'avons dit, le bâtiment est de loin le plus gros consommateur. Aujourd'hui encore, les logements et les bureaux absorbent près de 40% de l'énergie consommée, dont 70% pour le chauffage, devant les transports et loin devant l'industrie.

La consommation d'énergie est loin d'être le seul impact environnemental du bâtiment. Le cadre bâti mobilise la moitié des matériaux tirés de la croûte terrestre et produit plus d'un quart du volume total de déchets, dont seule une petite partie est aujourd'hui valorisée. De plus, le bâtiment est au cœur du cycle de l'eau : gros consommateur d'eau, il est aussi un producteur d'eaux usées. Il modifie en outre la nature des sols.

### **I-7 La prise en compte du développement durable dans la construction [9]:**

Le développement durable s'appuie sur trois piliers complémentaires: la solidarité sociale, l'efficacité économique et la responsabilité écologique. Il postule qu'ils ont la même valeur et qu'aucun des trois ne saurait se développer au détriment des deux autres. Chacun de ces piliers comprend de multiples aspects qu'il conviendra de préciser, selon le domaine considéré.

La construction a une relation directe et très importante avec la notion même de développement durable, en effet:

#### **✓ En termes de société:**

L'environnement construit constitue un des piliers du développement économique et social. La qualité intérieure des bâtiments, en particulier la qualité de l'air, a un impact direct sur le bien être et la santé des occupants.

#### **✓ En termes d'économie:**

La construction est un facteur important: elle représente de 10 à 12% du PNB, dans les pays industrialisés, et même de 20 à 30% du PNB, dans les pays en développement.

La construction joue également un rôle majeur en terme d'emploi: pour la seule Union européenne, la construction génère 30 millions de postes de travail.

#### **✓ En termes d'environnement:**

La construction des bâtiments, leur entretien et leur exploitation englobent le 40% de la consommation totale d'énergie de l'Union européenne avec, pour corollaire, le 30% des émissions de CO<sub>2</sub>.

La construction demande, annuellement et par habitant, de 3 à 4 tonnes de matériaux, par suite, elle génère un peu plus d'une tonne de déchets.

Enfin, selon sa situation, une construction induit des déplacements et des transports dont l'impact environnemental peut être plus important que celui de la construction elle-même.



### **I-8 Qu'est-ce qu'un bâtiment vert ?**

C'est un bâtiment qui tient en ligne de compte tant dans sa conception, sa réalisation, dans sa gestion et tant dans le cadre environnemental le supportant les éléments d'un développement durable de la planète. Ceci a donc trait au type et à la quantité d'énergie utilisée dans absolument toutes les phases de vie d'un bâtiment. Sont aussi considérés l'épuisement, le recyclage et la réutilisation possible des matières de construction et d'entretien. Enfin, mais non pas la moindre donnée, un bâtiment vert doit favoriser la bonne santé physique et psychologique de ses usagers, de son équipe d'entretien et de l'ensemble des personnes vivant dans l'environnement ou pouvant être atteint par ricochet d'une condition liée au concept d'un bâtiment donné comme la pollution du transport parce que le bâtiment a été implanté loin des populations.

Tenir en ligne de compte le développement durable et la santé des usagers devrait devenir l'incontournable référence pour chaque gestionnaire de bâtiment dans sa prise de décision touchant autant les concepts, l'entretien, les réparations et les rénovations.

### **I-9 Critères de durabilité :**

#### **❖ Economie du sol :**

- Assurer une occupation optimale du sol
- Eviter des espaces résiduels de peu de valeur
- Favoriser la biodiversité en préservant des espaces naturels

#### **❖ Qualité du concept constructif :**

- Préférer des formes et des structures simples
- Garantir la flexibilité des espaces et des structures
- Protéger les façades contre les intempéries

#### **❖ Choix des matériaux de construction :**

- Tenir compte de l'origine des matières premières
- Préférer des matériaux ayant un faible impact environnemental
- Bannir les matériaux pouvant présenter des risques pour la santé des habitants
- Si possible, utiliser des matériaux recyclés ou de démolition
- Faciliter le tri et le recyclage des matériaux
- Choisir des matériaux durables demandant peu d'entretien
- Proscrire les matériaux dont l'élimination pose problème



❖ **Mode de construction et gestion du chantier :**

- Tenir compte de la localisation des entreprises
- Minimiser les mouvements de terre
- Limiter les nuisances du chantier
- Prévoir les équipements permettant la gestion des déchets et des eaux de chantier

❖ **Utilisation du bâtiment :**

- Assurer la sécurité des personnes
- Réduire les besoins en électricité
- Favoriser l'utilisation des apports solaires
- Choisir judicieusement les énergies d'appoint
- Economiser l'eau potable
- Limiter les besoins en eau chaude sanitaire
- Utiliser l'eau de pluie pour l'arrosage des espaces extérieurs
- Favoriser l'infiltration des eaux de surface
- Prévoir les équipements pour le tri et la gestion des déchets ménagers
- Garantir le confort des occupants

❖ **Entretien et transformations futures :**

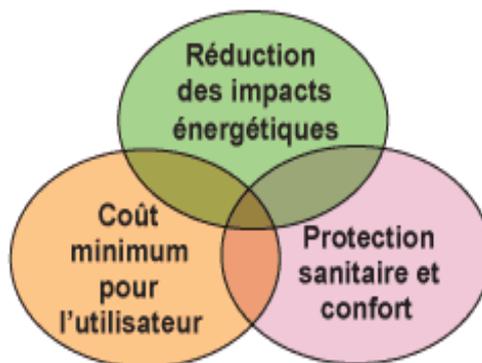
- Faciliter le remplacement des éléments les moins durables
- Garantir l'accessibilité des installations techniques

❖ **Démolition en fin de vie :**

- Permettre une déconstruction simple
- Favoriser le tri et la valorisation des matériaux de démolition

**I-10 Facteurs de succès des démarches de Développement durable dans le secteur du Bâtiment :**

Une démarche Développement durable doit prendre en compte trois piliers : l'économie, l'environnement et le social.



**Figure I-1** Piliers du Développement durable.

L'ensemble des acteurs doit s'impliquer dans cette démarche pour la construction du parc neuf et également la rénovation de l'ancien.

Toutes les étapes du cycle de vie doivent être considérées : le choix d'équipements et de gros œuvre ainsi que le comportement des usagers ont une part similaire et tout aussi importante dans le succès de la démarche.

Les bénéfices d'une telle démarche sont identifiés en premier lieu dans les bâtiments à grand nombre d'utilisateurs. Par exemple, lors de la rénovation d'un bâtiment ancien, il est possible de mettre en place un système de récupération d'eau de pluie. La quantité d'eau de réseau publique économisée dépend du nombre d'utilisateurs de l'ouvrage.

Le passage de « l'économie de produit » à « l'économie de service » est un autre facteur clef de succès. Cette démarche améliore la performance des trois piliers (économie, environnement et social). Par exemple : dans le cas de la problématique du chauffage, « l'économie de produit » se résume à la vente d'équipement et d'énergie ; « l'économie de service » consiste à garantir un niveau de confort thermique (par exemple 20°). Dans le second cas, les bâtiments sont isolés afin de réduire les consommations d'énergie.

- **Conception :**

C'est à l'étape de conception que s'identifient les leviers d'amélioration de la performance y compris pour la réduction des impacts environnementaux.

Il est recommandé de prendre en compte, à cette étape, le coût global de l'ouvrage. Il s'agit d'intégrer les différents coûts et sources de revenus de toutes les étapes du cycle de vie du produit y compris les étapes d'utilisation et de déconstruction de l'ouvrage. Cette idée est plus simple à mettre en œuvre si le donneur d'ordre est aussi le gestionnaire de l'ouvrage.

- **Formation :**

Le comportement des utilisateurs conditionne les performances environnementales de l'ouvrage. Ils doivent être sensibilisés par exemple à travers des campagnes d'informations.



- **Réglementations :**

La réglementation relative aux bâtiments est de plus en plus exigeante. La réalisation d'ouvrage ayant une performance environnementale supérieure à celles des bâtiments classiques peut faire objet d'un argument de vente. En effet, un tel bâtiment peut rester conforme aux réglementations futures. Il ne nécessiterait pas de travaux de rénovations obligatoires.

.

.



## **I-11 Solutions envisagée pour ce projet [10]:**

### **1- Conception architecturale :**

La conception architecturale du bâtiment doit permettre de réduire les besoins énergétiques du logement. Pour cela on veillera à :

- Assurer une bonne isolation
- Réduire les ponts thermiques
- Privilégier des formes architecturales compactes tout en préservant la ventilation naturelle
- Réduire les déperditions par les vitrages
- L'utilisation des apports gratuits doit tenir compte des apports internes et de l'utilisation passive du soleil avec stockage dans les masses

De plus on veillera à utiliser des matériaux locaux tels que bloc de terre stabilisée pour les murs.

### **2- Orientation du bâtiment.**

Les façades principales seront orientées au Nord et au Sud.

### **3- Murs et Cloisons.**

Les parois verticales devront avoir la plus faible inertie possible, ceci afin de permettre d'obtenir une température intérieure proche de celle de l'extérieur. Une faible inertie permettra d'avoir à chaque instant une température intérieure proche de celle extérieure.

Les structures légères s'avèrent être un choix judicieux. Néanmoins, une structure lourde peut être choisie si celle-ci est isolée intérieurement afin de ne pas restituer, la nuit, la chaleur accumulée pendant la journée.

Afin de limiter les apports par rayonnement solaire, les parois exposées directement au soleil devront être de couleurs claires.

### **4- Vitrage.**

Le simple vitrage est de plus en plus remplacé par un double vitrage offrant de meilleures performances thermiques et énergétiques :

- Limitation des déperditions thermiques
- Diminution de la condensation
- Meilleure isolation acoustique

Les rayons du soleil, bien que indispensables au bien être physique et moral des usagers, sont souvent responsables d'inconfort visuel. Des surfaces vitrées trop importantes ou mal orientées peuvent être responsables de gêne thermique et/ou visuelle. Le rôle des protections solaires est d'améliorer ces deux critères. Le modèle de protection solaire adéquate dépend de plusieurs critères tels que :

- Latitude du site concerné
- Orientation des baies
- Résistance mécanique



A ces critères viennent s'associer d'autres notions concernant cette fois-ci l'emplacement de la protection solaire :

- Besoins thermiques (ex : protections solaires extérieures efficaces contre les surchauffes)
- Maintenance
- Coût

## **5- Matériaux.**

On va définir les différents matériaux susceptibles d'être utilisés dans notre bâtiment. Il existe de nombreux matériaux de construction aux caractéristiques très diverses qu'il faut prendre en compte afin de réaliser une construction durable, économique du point de vue de la consommation d'énergie et respectueuse de son environnement depuis sa construction jusqu'à sa destruction, et en plus ils ont un impact direct sur la qualité de réalisation, le cout global de l'ouvrage, la sante des occupants et l'environnement pour cela on doit choisir soigneusement nos matériaux. On doit prendre en considération la possibilité de recyclage des déchets engendres par le bâtiment surtout dans la période de construction et à la fin de sa durée de vie.

### **1- Le béton et l'acier :**

Le béton et l'acier utilisés dans la construction de cet ouvrage seront choisis conformément aux règles techniques de conception, et de calcul des ouvrages en béton armé BAEL 91, et au règlement RPA99 en vigueur en Algérie pour la structure classique.

### **2- Les cloisons et murs extérieurs.**

- **Les murs intérieurs :** on utilisera des cloisons en brique creuse.
- **Les murs extérieurs :**

Pour les murs extérieurs on étudiera quatre variantes .On prendra en compte le fait que le matériau soit écologique et moins cher.

#### **a. Terre cuite :**

Les briques de terre cuite sont obtenues à partir de mélange de terre et notamment d'argile. Ce mélange est ensuite moulé ou extrudé pour obtenir la forme et éventuellement les alvéoles du produit fini. Le produit est découpé à la hauteur et à la longueur voulue. Et pour finir il sèche dans des étuves. Ce procédé est donc respectueux de l'environnement bien qu'il nécessite beaucoup d'énergie pour la cuisson.

#### **Avantage :**

- bon isolant
- aucun impact sanitaire connu.
- déchets de fabrication peuvent être valorisés ou recyclés dans le procédé.
- structure porteuse

Il existe différents types de briques en terre cuite : la brique alvéolaire, la brique pleine, les plaquettes et la brique réfractaire pour des utilisations plus spécifiques (hautes températures). La brique alvéolaire se distingue pour ses performances accrues en matière d'isolation.

**b. Bloc béton ou parpaing (de granulats courants ou de granulats légers) :**

Plein, creux ou perforés

Un bloc creux pèse environ 20 kg, pour des dimensions de 20 x 20 x 50 cm.

Il existe différentes classes de résistance

**Avantage :**

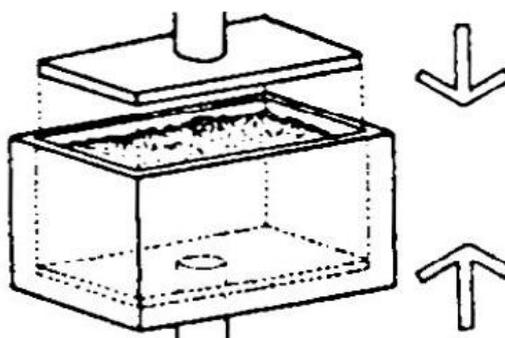
- confort thermique s'il intègre de l'argile expansée et le nombre d'alvéole est supérieure à 4.
- il est très résistant et facile à mettre en œuvre.
- Du point de vue écologique il nécessite très peu d'énergie pour sa fabrication bien que le ciment nécessite pour sa part une quantité d'énergie importante.
- confort acoustique : bruits et résonances atténués grâce à la masse du bloc béton
- confort hygrothermique : limitation des variations de température grâce à sa masse et son inertie thermique
- qualité de l'air intérieur : réduction du développement des moisissures et des émissions de COV
- pas d'entretien et ni de maintenance : inaltérable, incombustible, imputrescible, inoxydable.
- qualité du recyclage : un déchet inerte, réutilisable pour fabriquer de nouveaux blocs.

**Inconvénients :**

- à base de ciment

**c. Les blocs en terre comprimée [11] :**

Blocs de terre produits par la compression de terre crue dans une presse mécanique et hydraulique (force de 20 à 30 tonnes). La terre est retenue dans un moule où la terre est comprimée entre deux plateaux qui se rapprochent lentement. Cette compression permet de réduire le volume des vides dans le bloc, diminue ainsi sa sensibilité à l'eau et augmente sa résistance.



**Figure I-2** Bloc en terre comprimée

**Avantages pour l'environnement :**

- ne consomme que peu d'énergie non renouvelable comme le pétrole et le gaz, que ce soit au traitement et à la fabrication d'origine des matériaux; ou dans l'application, contrairement à la fabrication du ciment, de la chaux et d'autres matériaux liants conventionnels.
- L'exploitation de la strate à même les chantiers permet une économie d'énergie énorme de transport de matériaux.
- Cela ne contribue pas à la dégradation du paysage, contrairement à l'extraction de minéraux et de minerais qui creuse collines et sites à ciel ouvert. Une grande quantité de terre extraite au cours de grands travaux d'utilité publique, comme les routes, peut être recyclée et utilisée pour la construction (ce qui permet une distribution décentralisée très facile).
- Cela ne contribue pas à la réduction de ressources en agrégat, tels les graviers et le sable qui pourrait mettre en péril la balance écologique des sites d'extraction.
- Cela n'utilise que très peu d'eau, ressource essentielle pour la vie des populations.
- Cela ne produit aucun déchet industriel ou chimique et a en plus l'avantage d'être presque entièrement recyclable.
- La texture de la surface, la couleur, la forme et la luminosité de la terre non cuite en fait un matériau attrayant pour bâtir sans détruire l'environnement naturel.

**Avantages économiques :**

- La terre non cuite est souvent comparable en prix, et même plus économique, que les technologies concurrentielles. Elle ne nécessite aucun coût majeur de transport grâce à sa légère infrastructure de fabrication.
- Elle ne nécessite qu'un mode de fabrication simple et des outils qui sont accessibles à un large groupe de maçons et de bâtisseurs individuels.
- Elle appartient à l'héritage architectural traditionnel de nombreux pays tout en utilisant des matériaux locaux, et permet aux populations de prendre en charge la production de leur environnement et de contrôler leur habitat.

**6- Energie solaire [10]:****i- Production d'électricité photovoltaïque**

A l'instar du chauffe-eau solaire, l'électricité photovoltaïque (produite par panneaux solaire) contribue à la diminution d'utilisation des énergies fossiles. Si cette filière venait à être développée, les conséquences sur l'environnement direct seraient :

- Une réduction des importations de combustibles fossiles
- Une amélioration du confort et du cadre de vie des usagers
- L'émergence de filières industrielles locales créatrices d'emplois locaux et contribuant au développement économique.

**Panneaux solaires :** ils sont composés d'un matériau semi-conducteur (principalement du silicium). Lorsque les photons frappent ces cellules, ils transfèrent leur énergie aux électrons présents dans le matériau. Ceux-ci se mettent alors en mouvement vers une grille collectrice située au-dessus, créant ainsi un courant électrique continu dont l'intensité est fonction de l'ensoleillement.

L'électricité produite peut être, soit stockée dans des batteries sous forme de courant continu 12V ou 24V, soit convertie sous forme de courant alternatif pour être distribuée sur le réseau. Dans le dernier cas, le réseau fournit l'énergie nécessaire en cas de sous-production, et rachète l'électricité en cas de surproduction.

Le poids d'un panneau solaire avec ses accessoires est de  $2 \text{ KN}/\text{m}^2$

**Orientation des panneaux solaires :** Pour l'installation de panneaux solaires, dans le cadre de la production d'eau chaude ou d'électricité, l'orientation idéale est entre le Nord et le Nord Est avec une inclinaison légèrement supérieure à  $21^\circ$  pour compenser la couverture nuageuse de l'après-midi.

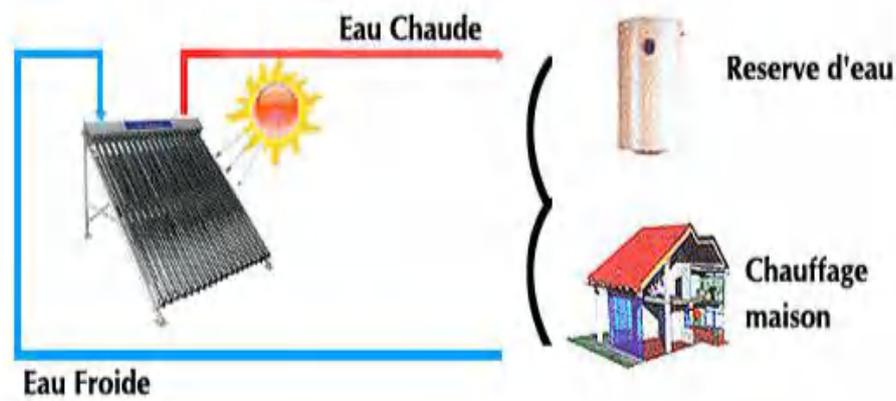
#### ii- Chauffe-eau solaire :

Le solaire thermique intégré au bâtiment apparaît aujourd'hui comme un principales moyens d'action face aux changements climatique et à l'effet de serre. La technologie du chauffe-eau solaire est aujourd'hui parfaitement au point. Elle est fiable, non polluante et peut s'avérer rentable au bout de quelques années.

L'installation d'un chauffe-eau solaire permet de réduire la consommation énergétique d'un logement et les nuisances associées (émission de gaz à effet de serre, contribution à l'appauvrissement des ressources). Sa longévité accrue (20 ans en moyenne), contribue de manière significative à la baisse de taux de rejet de CO<sub>2</sub> dans l'environnement.

Le CES permet également aux usagers de ne pas subir les conséquences de la fluctuation du pour des énergies fossiles. La source d'énergie étant gratuite, le prix de production de l'eau chaude sanitaire est indépendant de l'évolution des prix de l'énergie.

Au-delà d'un certain volume de stockage, on appelle le système de production d'eau chaude solaire collectif car il peut permettre de fournir de l'eau chaude à plusieurs logements.



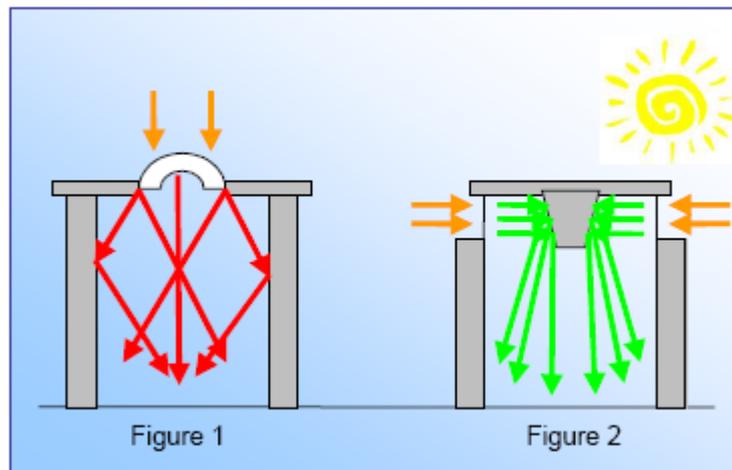
**Figure I-3 :** Schéma d'une chauffe solaire

## 7- Eclairage naturel [10]:

### Puits de lumière

Les ouvertures en toitures permettent aux espaces publics, tels que les halls d'entrée ou les corridors, de bénéficier de l'éclairage diurne, favorisant ainsi l'économie d'énergie sur les éclairages.

Mais il paraîtrait paradoxal de réaliser de pareils ouvrages en façades, si riches en apports solaires (Figure.1), alors que la construction d'immeuble DD cherche à assurer la meilleure isolation en toiture possible.



**Figure I-4 : Puits de lumière**

Il est cependant possible de réaliser de telles ouvertures afin d'augmenter l'éclairage naturel sans pour autant augmenter la consommation énergétique. Il suffira de ne pratiquer que des ouvertures protégées du soleil direct (Figure.2), ce qui permettra de récupérer le rayonnement diffus du ciel, c'est-à-dire pauvre en infrarouges et en ultraviolets.

## 8- Recommandations en phase de construction [10]:

### 8-1 La gestion de l'énergie.

Il est capital de veiller à une meilleure maîtrise de l'utilisation des ressources eau et énergie. Le choix des procédés et techniques de construction s'effectuera en fonction des impacts énergétiques et environnementaux liés à la phase de construction et de déconstruction. L'analyse de cycle de vie (ACV) des matériaux sera un choix déterminants quant aux systèmes et produits de constructions retenus.

En amont de la phase de construction, des prévisions doivent être retenues en fonction de la durée de vie, de l'évolutivité et de la déconstruction du bâtiment.



Lors du chantier, un centre logistique unique peut être créé afin de rassembler toutes les données des livraisons de matériaux et d'équipements, réduisant ainsi le nombre de trajets individuels des chauffeurs.

### **8-2 La gestion de l'eau.**

Il est vivement recommandé d'éviter l'ouverture inutile et à perte des robinets d'eau sur les chantiers.

Il est important de s'assurer que les conduites d'eau sont bien raccordées et qu'il n'y ait pas de présence de fuite. Dans le cas où l'étanchéité des canalisations serait défaillante, il est conseillé de réparer rapidement l'installation.

Un réservoir de stockage gradué permettrait d'éviter le gaspillage de l'eau et de distribuer de manière précise la quantité d'eau nécessaire à la fabrication des matériaux, béton ou enduits. Pour les opérations de rinçages des outils, des bacs pourraient être mis à disposition des différents corps de métiers, ce qui permettrait un usage multiple de la même quantité d'eau.

### **8-3 La gestion des déchets.**

#### *a) Composition des déchets de chantier*

Les déchets de chantier se regroupent en 3 familles bien distinctes :

- Les déchets inertes : Correspondant aux déchets de fabrication et d'utilisation des bétons (tuiles, céramiques...) et pouvant être enfouis dans des centres techniques de classe III.
- Les déchets industriels banals : Déchets de chantiers en vrac (bois non traités, matériaux plastiques...) et rentrant dans la catégorie déchets enfouissables dans des centres techniques de classe II.
- Les déchets industriels spéciaux : Déchets ayant un impact jugé dangereux sur l'environnement et ne pouvant être stockés que dans des centres d'enfouissement technique de niveau I (vernis, bois traité, peintures...).

#### *b) Réduction et récupération des déchets de chantier*

Une réduction du volume de déchets dès la source, ainsi que la mise en place d'une déchetterie sur le site permettront de réduire considérablement les coûts de traitement.

#### **♦ Calpinage :**

Il s'agit d'une planification de la mise en œuvre des produits afin de limiter leurs chutes et la production de déchets. Cette opération concerne les lots utilisant des produits en lés, en plaque, ou qui génèrent la production de chutes (revêtement de sol souples, cloisonnement, isolation, doublage,...)

#### **♦ Approvisionnement et limitations des emballages :**

D'un fournisseur à l'autre, les volumes d'emballage peuvent être réduits et facilement valorisables.

Certains emballages peuvent être consignés (palettes, container,...)



♦ **Déchetterie de chantier :**

Une déchetterie de chantier doit permettre la récupération sélective des déchets en 7 catégories : (Ciment propre, Bois propre, Verre propre, Papier et Carton, Fer et autres métaux, Plastiques, Petits déchets chimiques dans un bac fermé).

Le tri sur site évite de passer par une étape supplémentaire de tri après que les déchets aient été remis aux plates-formes de regroupement de tri ou aux entreprises locales de gestion des déchets.

*c) Valorisation des déchets de chantier*

Il existe trois filières de valorisation des déchets de chantier : Récupération, Recyclage et Incinération.

Dans le cas d'une récupération les déchets de chantiers sont réutilisés pour un nouveau cycle d'usage (identique ou différent sans transformation), permettant ainsi d'éviter la fabrication d'un produit identique et de limiter les quantités de déchets à éliminer.

L'utilisation de matériaux recyclables permet la réutilisation des déchets dans un cycle de fabrication du produit initial.

L'incinération consiste à récupérer le potentiel énergétique fourni par la combustion des déchets non traités et ayant un pouvoir calorifique intéressants.

*Chapitre II :*

*Etude structurale du  
bâtiment*



## II-1 Présentation du Projet :

### II-1-1 Introduction :

L'étude d'un projet architectural s'élabore en tenant compte des aspects fonctionnels, structuraux et formels, ce qui oblige l'ingénieur en génie civil à tenir compte des paramètres suivants:

- L'usage
- La résistance
- Les exigences esthétiques
- Les conditions économiques

L'étude de ce projet comprendra la partie conception des éléments tels que, fondations, poteaux, poutres, voiles, planchers et le calcul des éléments secondaires (escaliers, planchers, acrotère.....) ainsi que l'étude dynamique de la structure afin d'évaluer son comportement lors d'un séisme. Le calcul sera fait conformément aux règles parasismiques algériennes (**RPA99.ver03**) et aux règles de béton armé aux états limites (**BAEL91**) et moyennant le logiciel de calcul (**ETABS**).

### II-1-2 Présentation du bâtiment :

Il s'agit d'un bâtiment vert à usage scientifique en R+3, il va être construit à l'ENP à El-Harrach (une zone de forte sismicité ; zone III selon le *RPA99 version 2003*), qui comporte un amphi, des laboratoires et des bureaux.

Les plans du bâtiment sont donnée en annexe A

### II-1-3 Caractéristiques du bâtiment:

#### i- Caractéristiques géométriques :

Le bâtiment à une forme polygonale (figure II-1-2) dont les plus grandes dimensions en plan sont :

- Longueur..... 24 mètres.
- Largeur..... 20 mètres.

En élévation, il a une hauteur totale de 14 m (sans acrotère) avec hauteur d'étage de 3.50 m.

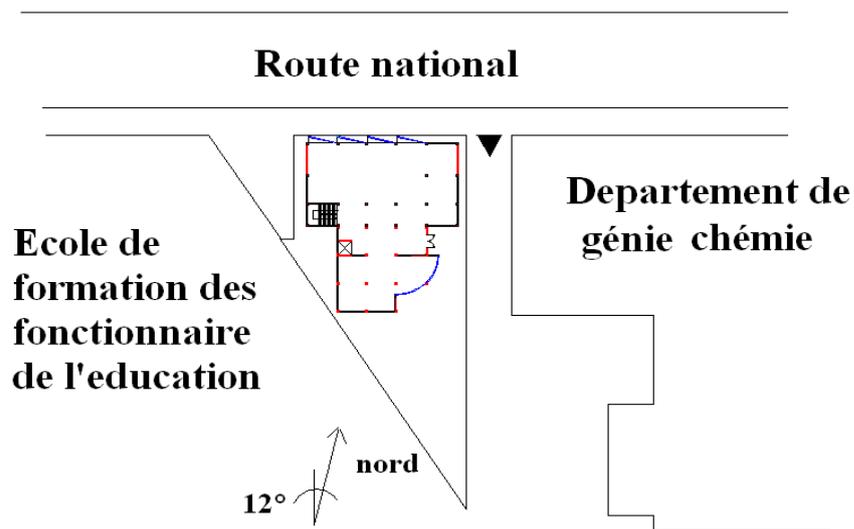


Figure II-1-1 : plan de masse du projet

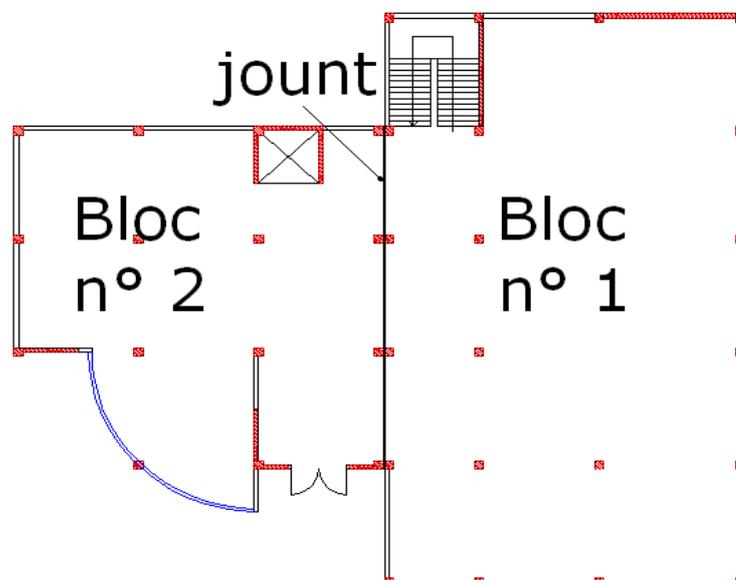


Figure II-1-2 : vue en plan du bâtiment

**ii- Eléments du bâtiment :****a- Système structural :**

Notre bâtiment comporte une hauteur dépassant les 11m, alors le règlement parasismique Algérien (RPA99) préconise un système de contreventement mixte assuré par des voiles et des portiques avec justification d'intersection portiques-voiles.

Les voiles de contreventement doivent reprendre au plus 20% des sollicitations dues aux charges verticales.

Les charges horizontales sont reprises conjointement par les voiles et les portiques proportionnellement à leurs rigidités relatives ainsi que leurs interactions à tous les niveaux.

Les portiques doivent reprendre, outre que les sollicitations dues aux charges verticales, au moins 25 % de l'effort tranchant d'étage.

**b- Planchers :**

Nous avons utilisé (2) deux types de planchers, dont le rôle est de résister aux charges verticales et les transmettre aux éléments porteurs de la structure, notamment les poutres et les poteaux.

- A corps creux
- A dalle pleine en béton armé (pour les portes à faux extérieur et sur le puits de lumière)

**c- Murs :**

Pour les murs extérieurs ; on étudiera 4 variantes :

- Bloc en terre comprimé
- Parpaing et brique creuse
- Brique creuse seulement
- Bloc en terre comprimé avec des plaques de plâtre

Pour les cloisons on utilise les brique creuse

**d- L'acrotère :**

Au niveau de la terrasse, la structure est entourée d'un acrotère conçu en voile de 60 cm de hauteur et 10 cm d'épaisseur.

L'acrotère est un élément secondaire de la structure composé essentiellement en béton armé, plus quelques types de revêtement (enduit en ciment,...), son rôle principal est la protection contre

L'infiltration des eaux pluviales (empêcher leur ruissellement par le larmier) qui provoqueraient des fissures suivant la ligne de conjonction entre l'acrotère et la forme en pente.

**e- Les escaliers :**

Les escaliers utilisés dans ce bâtiment sont des escaliers droits avec deux volées et palier inter étage.



## II-2 Principes du béton armé.

### II-2-1 Introduction.

Dans notre étude, nous avons utilisé, le règlement du béton armé aux états limite à savoir le BAEL 91, ainsi que le règlement parasismique Algérien RPA 99 Version 2003.

### II-2-2 Principe De Fonctionnement:

Le règlement BAEL 91 est basé sur les états limites ultime et de service.

#### a) Définition :

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

On distingue deux états limites:

#### b) Etat Limite Ultime (E.L.U) :

Correspondant à la limite:

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

#### c) Etat Limite De Service (E.L.S) :

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

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

### II-2-3 Caractéristiques Mécaniques Des Matériaux

#### a- Béton :

On appelle béton le matériau constitué par le mélange dans des proportions convenables de ciment, de granulats et d'eau, et béton armé, le matériau obtenu en enrobant dans du béton des aciers destinés à équilibrer les efforts de traction auxquels le béton résiste peu ou mal. La masse volumique des bétons courant est comprise entre 2200 kg/m<sup>3</sup> et 2400 kg/m<sup>3</sup>.

#### ❖ Caractéristiques de béton utilise :

Et maintenant on site les différentes caractéristiques du béton qui doit être utilisé dans la construction de notre bâtiment :



✓ **Résistance à la compression:  $f_{cj}$**

Pour l'établissement des projets, un béton est défini par la valeur de sa résistance à la compression à 28 jours, dite valeur caractéristique, elle est représentée par le symbole  $f_{c28}$ .

✓ **Résistance à la traction :  $f_{tj}$**

La résistance caractéristique à la traction du béton à est définie par la relation [3] :

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06f_{cj} \dots \dots \dots (II - 2 - 1)$$

✓ **Module de déformation longitudinale :**

Le module de déformation longitudinal différée du béton  $E_{vj}$  est donné par la formule suivante[3] :

$$E_{vj} = 3700 \sqrt[3]{f_{cj}} = 1072,40 \text{ MPA} \dots \dots (II - 2 - 2) : \text{Charges de longues durées.}$$

✓ **Coefficient de poisson :**

Le coefficient de POISSON ( $\nu$ ) est le rapport entre la déformation transversale et la déformation longitudinale.

- $\nu = 0,20$  : dans le cas des états limites de service.
- $\nu = 0$  : dans le cas des états limites ultimes.

✓ **Contraintes limites :**

➤ **Etat limite ultime de résistance : E.L.U**

Dans les calculs relatifs à l'état limite ultime de résistance, la contrainte du béton est donnée par [3] :

$$f_{bc} = \frac{0,85 \cdot f_{cj}}{\gamma_b} \dots \dots \dots (II - 2 - 3)$$

$f_{bc}$  : Contrainte ultime de béton en compression.

$\gamma_b$  : Coefficient de sécurité  $\begin{cases} \gamma_b = 1,5 & \text{pour les situations durables ou transitoires} \\ \gamma_b = 1,15 & \text{pour les situations accidentelles} \end{cases}$

➤ **Etat limite de service : E.L.S**

La contrainte de compression du béton doit être au plus égale à [3] :

$$\sigma_{bc} = 0,6f_{cj} \dots \dots \dots (II - 2 - 4)$$



➤ **Contrainte limite de cisaillement :**

La contrainte ultime de cisaillement doit être comme suit [3] :

$$\bar{\tau}_u = \min (0.2 \times f_{cj} / \gamma_b ; 5 \text{ MPA}) \dots (\text{II} - 2 - 5) \quad \text{si la fissuration est peu nuisible}$$

$$\bar{\tau}_u = \min (0,15 \times f_{cj} / \gamma_b ; 4 \text{ MPA}) \dots (\text{II} - 2 - 6) \quad \text{si la fissuration est préjudiciable}$$

ou très préjudiciable

- Le béton quand va l'utilisé comporte les caractéristiques suivantes :

$$\sigma_{bc} = 14,2 \text{ MPA}$$

$$E_i = 37200 \text{ MPA}$$

$$f_{c28} = 25 \text{ MPA}$$

$$f_{t28} = 2,1 \text{ MPA}$$

$$v = 0,2$$

Enrobage min = 2 cm.

**b- Aciers :**

Les aciers utilisés pour le béton armé sont les ronds lisses et les barres à haute adhérence, il existe deux nuances pour chaque type, FeE215 et FeE235 pour les ronds lisses, et FeE400 et FeE500 pour les barres à haute adhérence.

**a)-Contrainte limite:**

➤ **E.L.U**

La contrainte limite des aciers est donnée par la formule suivante [3] :

$$\sigma_s = f_e / \gamma_s \dots \dots \dots (\text{II} - 2 - 7)$$

$$\varepsilon_{es} = \frac{\sigma_s}{E_s} \dots \dots \dots (\text{II} - 2 - 8)$$

avec  $E = 200000 \text{ MPA}$ .

$\gamma_s$ : Coefficient de sécurité.  $\left\{ \begin{array}{l} \gamma_s = 1 \text{ cas des situations accidentelles.} \\ \gamma_s = 1,15 \text{ cas générale} \end{array} \right.$

$$\sigma_s = 348 \text{ MPA.}$$

➤ **E.L.S :**

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



- fissuration peu nuisible ; pas de limitation.
- fissuration préjudiciable [3] :

$$\sigma_{st} \leq \overline{\sigma}_{st} = \min (2f_e/3 , 110\sqrt{\eta f_{tj}}) \dots \dots \dots (II - 2 - 9)$$

- fissurations très préjudiciables :

$$\sigma_{st} \leq \overline{\sigma}_{st} = \min (f_e/2 , 90\sqrt{\eta f_{tj}}) \dots \dots \dots (II - 2 - 10)$$

$\eta$  : Coefficient de fissuration.  $\begin{cases} 1 & \text{pour les ronds lisses} \\ 1,6 & \text{pour les armatures a hautes adhérences.} \end{cases}$

On utilisera deux types d'armatures :

- Des hautes adhérences de nuance *FeE400* comme armatures transversales et longitudinales
- Des treillis soudés de nuance *FeE240*.



## II-3 Prédimensionnement

### II-3-1 Introduction.

Le Prédimensionnement est un calcul préliminaire ; il permet de choisir les dimensions des éléments de l'ossature qui feront l'objet d'une vérification après le calcul des efforts.

### II-3-2 Prédimensionnement des planchers.

Les planchers constituent l'élément plan qui délimite les différents niveaux d'une construction. Ils sont formés de trois parties essentielles qui sont le revêtement, la partie portante et le plafond.

Pour ce bâtiment deux types de planchers vont être utilisés :

- Planchers en corps creux en partie courante ;
- Dalle pleine pour les portes à faux ;

#### a- Planchers à corps creux.

L'épaisseur  $h$  est obtenue par la formule empirique suivante [1] :

$$\frac{L}{25} \leq h \leq \frac{L}{20} \dots \dots \dots (II - 3 - 1)$$

$L$ : La plus grande portée ; on a  $L = 400\text{cm}$  donc :  $16 \leq h \leq 20$

Ce qui nous donne un plancher constitué de hourdis de  $16\text{cm}$  et une dalle de compression de  $4\text{cm}$

#### b- Dalle pleine.

##### 1- celle du porte a faux.

L'épaisseur doit vérifier deux conditions [1]:

Pour la résistance mécanique, on vérifie

$$\frac{L}{35} \leq h \leq \frac{L}{30} \dots \dots \dots (II - 3 - 2)$$

$$\rightarrow 11.42 \leq h \leq 13.33$$

Pour la résistance aux feu, on choisit une hauteur de  $11\text{ cm}$  pour une résistance de deux heures [2].

Donc on choisit une hauteur de  $13\text{cm}$  .

##### 1- Celle du puits de lumière

On vérifie:

Pour la résistance mécanique, on vérifie [1]:

$$\frac{L}{50} \leq h \leq \frac{L}{40} \dots \dots \dots (II - 3 - 3)$$

→  $8 \leq h \leq 10$  (cm)

Pour la résistance aux feu, on choisit une hauteur de **11 cm** pour une résistance de deux heures.

Donc on choisit une épaisseur de **12 cm**.

### II-3-3 Evaluations des charges et surcharges.

On note :

$G$ : Poids des charges permanentes.

$Q$ : Poids des surcharges d'exploitations.

$\rho_b$ : Masse volumique du béton.

#### a- Planchers :

Il convient de préciser que les planchers sont constitués de dalles en corps creux et de dalles pleines. Ces dernières sont disposées dans les balcons et les paliers d'escaliers.

##### a-1-Planchers à corps creux

###### ▪ Plancher terrasse.

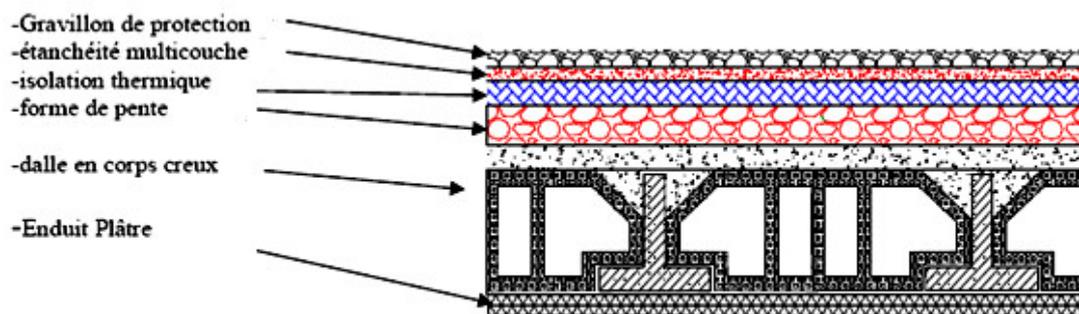


Figure II.3.1 : composants d'un plancher terrasse

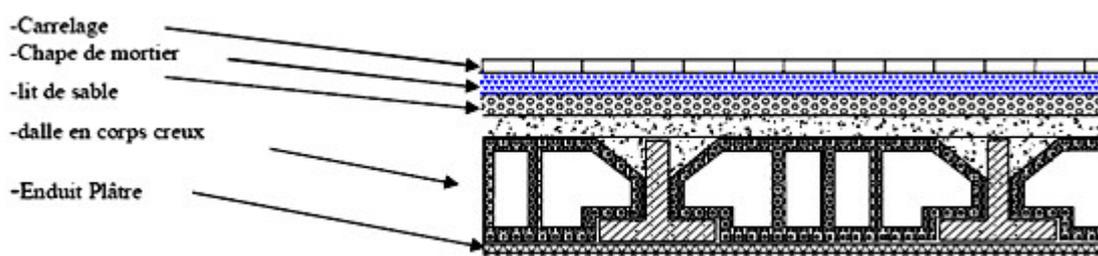
	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
panneaux solaires	-	2
gravillons roulés	5	0.80
étanchéité multicouche	2	0.12
forme de pente en béton	12	2.86
isolation thermique	3	0.02
plancher corps creux	16+4	2.80
Enduit de plâtre	2	0.20
	Total	<b>8.80</b>

**Tableau (II-3-1) :** Charges permanentes d'un plancher terrasse

$$G = 8.80 \text{ KN/m}^2$$

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

- **Planchers étages courants.**



**Figure II.3.2 :** composants d'un plancher étage courant

	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
plancher corps creux	16+4	2.80
Mortier de pose	4	0.90
cloisons de distribution	----	0.50
revêtement carrelage	2	0.44
lit de sable	2	0.36
Enduit de plâtre	2	0.20
Enduit de ciment	1.5	0.27
	Total	<b>5.47</b>

**Tableau (II-3-2) :** Charges permanentes d'un plancher courant

$$G = 5.47 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = 4 \text{ KN/m}^2$$



### a-2-Dalle Pleine.

- **Celle de du porte a faux.**

	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
Dalle pleine	13	3.25
Mortier de pose	2	0.45
revêtement carrelage	2	0.44
lit de sable	2	0.36
Enduit de ciment	1.5	0.27
	<b>Total</b>	<b>4.77</b>

**Tableau (II-3-3) :** Charges permanentes de la dalle de porte à faux

$$G = 4.77 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = 4 \text{ KN/m}^2$$

- **Celle du puits de lumière**

- **Plancher terrasse.**

	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
panneaux solaires	-	2
gravillons roulés	5	0.80
étanchéité multicouche	2	0.12
forme de pente en béton	12	2.86
isolation thermique	3	0.02
Dalle pleine	11	2.75
Enduit de plâtre	2	0.20
	<b>Total</b>	<b>8.75</b>

**Tableau (II-3-4) :** Charges permanentes de la dalle du puits de lumière (terrasse)

$$G = 8.75 \text{ KN/m}^2$$

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

- **Plancher étage courant.**

	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
Dalle pleine	11	2.75
Mortier de pose	2	0.45
revêtement carrelage	2	0.44
lit de sable	2	0.36
Enduit de ciment	1.5	0.27
	<b>Total</b>	<b>4.27</b>

**Tableau (II-3-5) :** Charges permanentes de la dalle du puits de lumière (étage courant)

$$G = 4.27 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = 4 \text{ KN/m}^2$$

**b- Maçonnerie.**

**b.1 Murs intérieurs (simple-cloison)**

	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
Brique creuse	10	0.9
Enduit de plâtre	2	0.2
Enduit de ciment	1.5	0.27
	Total	<b>1.84</b>

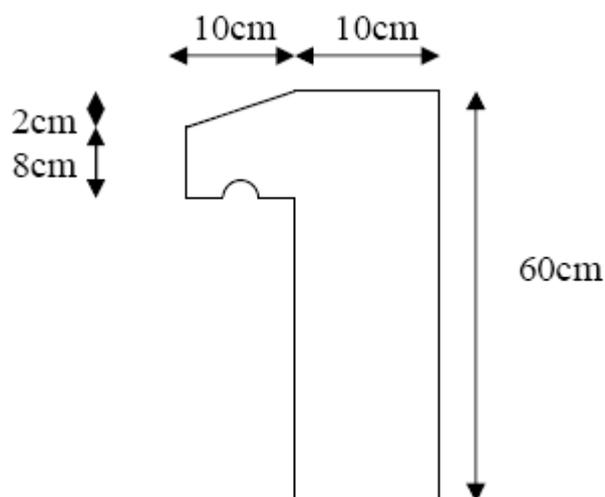
**Tableau (II-3-6) : Charges permanentes d'un mur intérieur**

**b.2 Murs extérieurs (double-cloison)**

	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
Brique creuse	10	0.9×2
Enduit de plâtre	2	0.2
Enduit de ciment	1.5	0.27
Lame d'air	10	00
	Total	<b>2.74</b>

**Tableau (II-3-7) : Charges permanentes d'un mur extérieur**

**c- Acrotère.**



**Figure II.3.3 : dimensions de l'acrotère**



Surface de l'acrotère.

$$S = [(0.6 \times 0.1) + (0.08 \times 0.1) + ((0.02 \times 0.1)/2)] = 0.078 \text{ m}^2$$

La masse :  $0.078 \times 25$

$$G = 1.95 \text{ KN/m}$$

d- L'escalier.

▪ **Palier.**

	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
paillasse	$13 / \cos \alpha = 15.82$	3.95
Mortier de pose	2	0.45
Marches	$h/2 = 8.75$	2.18
revêtement carrelage	2	0.44
Enduit de ciment	1.5	0.27
	Total	<b>7.29</b>

**Tableau (II-3-8) :** Charges permanentes du palier d'escalier

$$G=7.29\text{KN/m}^2$$

$$Q = 4\text{KN/m}^2$$

▪ **Volée (paillasse).**

	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
palier	13	3.25
Mortier de pose	2	0.45
revêtement carrelage	2	0.44
Enduit de ciment	1.5	0.27
	Total	<b>4.41</b>

**Tableau (II-3-9) :** Charges permanentes du volée d'escalier

$$G = 4.41 \text{ KN/m}^2$$

$$Q = 4\text{KN/m}^2$$

### **II-3-4 Prédimensionnement des poutres.**

Les poutres sont des éléments structuraux ont pour rôle d'assurer la transmission des efforts vers les poteaux ou les murs.

Leur prédimensionnement est donné par les formules suivantes [1] :

On prend :



$b$  : la largeur

$h$ : la hauteur total

$$\begin{cases} \frac{L_{max}}{15} \leq h \leq \frac{L_{max}}{10} \\ 0.3h \leq b \leq 0.7h \end{cases} \dots \dots \dots (II - 3 - 4)$$

On a deux types de poutres :

1)- poutre avec portée de 4.5 m  $\rightarrow \begin{cases} 30 \leq h \leq 45 \\ 9 \leq b \leq 31.5 \end{cases}$

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

2)- poutre avec portée de 9 m  $\rightarrow \begin{cases} 60 \leq h \leq 90 \\ 18 \leq b \leq 63 \end{cases}$

On prend  $\begin{cases} h = 80 \text{ cm} \\ b = 45 \text{ cm} \end{cases}$

**II-3-5 Prédimensionnement des poteaux.**

D’après l’article B.8.4.1 de CBA93 : l’effort normal agissant ultime  $N_u$  d’un poteau doit être au plus égal à la valeur suivante :

$$N_u \leq \alpha \times ((B_r \times f_{c28} / 0,9 \times \gamma_b) + (A \times f_e / \gamma_s)) \dots \dots \dots (II - 3 - 5)$$

Avec :

$\gamma_b = 1,5$  : Coefficient de sécurité du béton.

$\gamma_s = 1,15$  : Coefficient de sécurité de l’acier.

$$N_u = 1,35 G + 1,5 Q \dots \dots \dots (II - 3 - 6)$$

$G$  : poids propre des éléments qui sollicitent le poteau considéré

$Q$  : surcharge d’exploitation qui sollicite le poteau

$\alpha$  : Coefficient de réduction destiné à tenir compte à la fois des efforts du second ordre et de l’excentricité additionnelle

$$\begin{cases} \alpha = \frac{0.85}{1 + 0.2(\frac{\lambda}{35})^2} \text{ Pour } \lambda < 50 \\ \alpha = 0.6(\frac{50}{\lambda})^2 \text{ Pour } 50 \leq \lambda \leq 70 \end{cases} \dots \dots \dots (II - 3 - 7)$$

$\lambda$ : L’élancement du poteau considéré

$B$  : Aire total de la section du poteau

$A$  : Section d’acier minimale.

$f_{c28}$  : contrainte de compression du béton à 28 jours (Ici en prend  $f_{c28} = 25 \text{ MPa}$ )



$f_e$  : contrainte limite élastique des aciers (Ici en prend  $f_e = 400 \text{ MPa}$ )

$B_r$  : la section réduite d'un poteau obtenue en déduisant de la section réelle 1cm d'épaisseur sur tout son périmètre tel que pour un poteaux rectangulaires

$$B_r = (a - 0,02) (b - 0,02) \text{ m}^2 \dots \dots \dots \text{(II - 3 - 8)}$$

On tire de l'équation (II - 3 - 5) la valeur de  $B_r$ .

$$B_r \geq \frac{N_u}{\alpha \left[ \frac{f_{c28}}{0,9\gamma_b} + \frac{A_s f_e}{B \gamma_s} \right]}$$

D'après le BAEL 91 :  $A_{min} = 0,1\%B \rightarrow A/B_r = 0,001$

$$f_{bc} = 0,85 f_{c28} / \gamma_b \dots \dots \dots \text{(II - 3 - 9)}$$

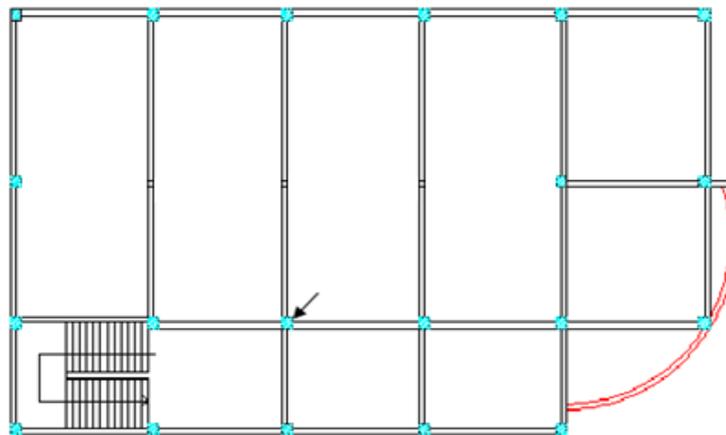
$$B_r \geq 0,075 \times N_u \dots \dots \dots \text{(II - 2 - 9)} \quad (B_r \text{ en } m^2 \text{ et } N_{ult} \text{ en } MN)$$

On a deux blocs séparés par un joint sismique, donc on fait le pré dimensionnement des poteaux pour chaque bloc, on prend en considération le poteau le plus chargé.

**A. Bloc 1.**

**A.1. Charges et surcharges revenants au poteau**

$$S = 24m^2$$



**Figure II.3.4 :** le poteau le plus chargée en 1<sup>er</sup> bloc

▪ **Plancher terrasse.**

Plancher :  $0,88 \times 24 = 21,12 \text{ t.}$

Poutres :  $(5,5 \times 0,40 \times 0,30 + 4,5 \times 0,80 \times 0,50) \times 2,5 = 5,7 \text{ t.}$

Poteau :  $0,45 \times 0,45 \times 3,5 \times 2,5 = 1,77 \text{ t}$

Surcharges :  $0,1 \times 24 = 2,4 \text{ t.}$

**G=28.59t.**

**Q=2.4 t.**



▪ **Planchers étages courants (2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> étage).**

Plancher :	$0,547 \times 24 = 13.13 \text{ t.}$
Poutres :	$(5.5 \times 0.40 \times 0.30 + 4.5 \times 0.80 \times 0.50) \times 2.5 = 5.7 \text{ t.}$
Poteau :	$0.45 \times 0.45 \times 3.5 \times 2.5 = 1.77 \text{ t}$
Surcharges :	$0.4 \times 24 = 9.6 \text{ t.}$

$$G=20.6 \text{ t.}$$

$$Q=9.6 \text{ t.}$$

▪ **Plancher 1<sup>ère</sup> étage.**

Pour ce niveau la surface du plancher revenant sur ce poteau est :  $S=6 \text{ m}^2$

Plancher :	$0,547 \times 6 = 3.28 \text{ t.}$
Poutres :	$(5.5 \times 0.30 \times 0.40) \times 2.5 = 1.2 \text{ t.}$
Poteau :	$0.45 \times 0.45 \times 3.5 \times 2.5 = 1.77 \text{ t}$
Surcharges :	$0.4 \times 6 = 2.4 \text{ t.}$

$$G=6.25 \text{ t.}$$

$$Q=2.4 \text{ t.}$$

▪ **Plancher RDC.**

On suppose qu'on a une dalle flottante

Poutres :	$(5.5 \times 0.30 \times 0.40) \times 2.5 = 1.2 \text{ t.}$
Poteau :	$0.45 \times 0.45 \times 3.5 \times 2.5 = 1.77 \text{ t.}$

$$G=6.51 \text{ t.}$$

$$Q=0 \text{ t.}$$

**A.2. La descente de charge.**

▪ **La règle de dégression.**

Niveau	Dégression	Q cumulée (t)
Sous la terrasse	Q0	2.4
Sous le 3 <sup>ème</sup> étage	Q0+Q1	12
Sous le 2 <sup>ème</sup> étage	Q0+0.95 (Q1+Q2)	20.64
Sous le 1 <sup>ère</sup> étage	Q0+0.90 (Q1+Q2+Q3)	21.84
Sous le RDC	Q0+0.85 (Q1+Q2+Q3+ Q4)	21.84

**Tableau (II-3-10) :** La règle de dégression au premier bloc

▪ **Calcul du  $N_u$ .**

Niveau	G (t)	NG (t)	Q(t)	NQ (t)	<b>Nu (t)</b>
Sous la terrasse	28.59	38.6	2.4	3.6	<b>42.2</b>
Sous le 3eme étage	20.6	66.41	12	18	<b>84.41</b>
Sous le 2eme étage	20.6	94.22	20.64	30.96	<b>125.18</b>
Sous le 1ere étage	6.25	102.65	21.84	32.76	<b>135.41</b>
Sous le RDC	6.51	111.44	21.84	32.76	<b>144.2</b>

**Tableau (II-3-11) :** Effort normal revenant au poteau le plus chargé du 1<sup>er</sup> bloc

**A.3. Détermination des sections des poteaux.**

On considère que la section du poteau est carre

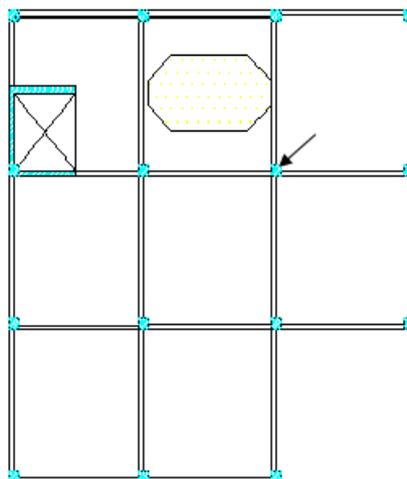
$$\rightarrow B_r = (a - 0.02)^2 \quad \rightarrow a = \sqrt{B_r} + 0.02$$

Niveau	1.5Nu (MN)	Br (m2)	<b>a(m)</b>
Sous la terrasse	0.633	0.047	<b>0.24</b>
Sous le 3eme étage	1.266	0.095	<b>0.33</b>
Sous le 2eme étage	1.878	0.141	<b>0.40</b>
Sous le 1ere étage	2.03	0.152	<b>0.41</b>
Sous le RDC	2.16	0.162	<b>0.42</b>

**Tableau (II-3-12) :** la section du poteau a chaque étage

**B. Bloc2 :**

**B.1. Charges et surcharges revenants au poteau.**



**Figure II.3.5 :** le poteau le plus chargée en 2<sup>ième</sup> bloc



▪ **Plancher terrasse.**

Dalle pleine →  $S_1 = 2 \times 1 + 0.49/2 = 2.25 \text{ m}^2$

Dalle en corps creux →  $2 \times 2 = 4 \text{ m}^2$

Panneaux solaires →  $2.66 \times 4 = 10.64 \text{ m}^2$

Plancher :  $0.2 \times 10.64 + 0.875 \times 2.25 + 4 \times 0.88 = 7.62 \text{ t.}$

Poutres :  $(2 \times 0.40 \times 0.30) \times 3 \times 2.5 = 1.31 \text{ t.}$

Poteau :  $0.35 \times 0.35 \times 2.5 \times 3.5 = 1.07 \text{ t}$

Surcharges :  $0.1 \times 6.25 = 0.625 \text{ t.}$

**G=10 t.**

**Q=0.625t.**

▪ **Planchers étages courants.**

Dalle pleine →  $S_1 = 2 \times 1 + 0.49/2 = 2.25 \text{ m}^2$

Dalle en corps creux →  $2 \times 2 \times 3 = 12 \text{ m}^2$

Plancher :  $0,547 \times 12 + 0.427 \times 2.25 = 7.52 \text{ t.}$

Poutres :  $(2 \times 0.40 \times 0.30) \times 4 \times 2.5 = 1.75 \text{ t.}$

Poteau :  $0.35 \times 0.35 \times 2.5 \times 3.5 = 1.07 \text{ t}$

Surcharges :  $0.400 \times 14.25 = 5.7 \text{ t.}$

**G=10.34 t.**

**Q=5.7 t.**

▪ **Plancher RDC.**

On suppose qu'on a une dalle flottante

Poutres :  $(2 \times 0.40 \times 0.30) \times 4 \times 2.5 = 1.75 \text{ t.}$

Poteau :  $0.35 \times 0.35 \times 2.5 \times 3.5 = 1.07 \text{ t}$

**G=7.97 t.**

**Q=0 t.**

**B.2. La descente de charge.**

▪ **La règle de dégression.**

Niveau	Dégression	Q cumulée (t)
Sous la terrasse	Q0	<b>0.625</b>
Sous le 3 <sup>ème</sup> étage	Q0+Q1	<b>6.325</b>
Sous le 2 <sup>ème</sup> étage	Q0+0.95 (Q1+Q2)	<b>11.46</b>
Sous le 1 <sup>ème</sup> étage	Q0+0.90 (Q1+Q2+Q3)	<b>16.02</b>
Sous le RDC	Q0+0.85 (Q1+Q2+Q3+ Q4)	<b>16.02</b>

**Tableau (II-3-13) : La règle de dégression au 2<sup>ème</sup> bloc**



▪ Calcul du  $N_u$  :

Niveau	G (t)	NG (t)	Q(t)	NQ (t)	$N_u$ (t)
Sous la terrasse	10	13.5	0.625	3.6	<b>17.1</b>
Sous le 3eme étage	10.34	27.46	6.325	18	<b>45.46</b>
Sous le 2eme étage	10.34	41.42	11.46	30.96	<b>72.38</b>
Sous le 1ere étage	10.34	55.38	16.02	32.76	<b>88.14</b>
Sous le RDC	7.97	66.14	16.02	32.76	<b>98.9</b>

**Tableau (II-3-14) :** Effort normal revenant au poteau le plus charger du 2<sup>ème</sup> bloc

**B.3. Détermination des sections des poteaux**

On considère que la section du poteau est carre

$$\rightarrow B_r = (a - 0.02)^2 \quad \rightarrow a = \sqrt{B_r} + 0.02$$

Niveau	1.1Nu (MN)	Br (m2)	a(m)
Sous la terrasse	0.188	0.014	<b>0.13</b>
Sous le 3eme étage	0.5	0.038	<b>0.22</b>
Sous le 2eme étage	0.796	0.061	<b>0.27</b>
Sous le 1ere étage	0.97	0.074	<b>0.29</b>
Sous le RDC	1.088	0.083	<b>0.31</b>

**Tableau (II-3-15) :** la section du poteau a chaque étage

Les dimensions à prendre doivent vérifie les inégalités suivantes [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Min}(b, h) \geq 30\text{cm} \\ \frac{1}{4} \leq \frac{b}{h} \leq 4 \end{array} \right. \dots \dots \dots \text{(II - 3 - 10)}$$

Donc les sections de béton adoptées pour les poteaux sont :

bloc	1	2
Section de béton (cm2)	<b>45×45</b>	<b>35×35</b>

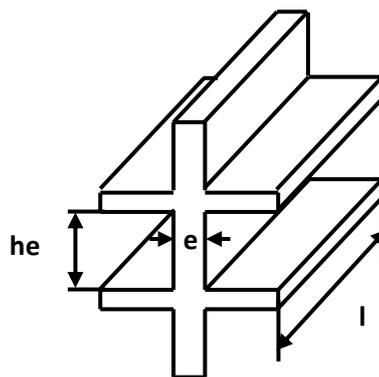
**Tableau (II-3-16) :** les sections choisit des poteaux

### II-3-6 Prédimensionnement des voiles :

Les voiles servent, d'une part, à contreventer le bâtiment en reprenant les efforts horizontaux (séisme et/ou vent), et d'autre part, à reprendre les efforts verticaux (poids propre et autres) qu'ils transmettent aux fondations.

D'après le RPA 99 article 7.7.1 les voiles doivent vérifier [1]:

$$\begin{cases} L \geq 4e \\ e \geq 15\text{cm} \end{cases} \dots \dots \dots (\text{II} - 3 - 11)$$



**Figure II.3.6 :** Dimension des voiles

Avec :

**L**: Longueur de voile.

**e**: Épaisseur du voile.

Les formules empiriques sur les dimensions minimales en fonction de la hauteur d'étage et les conditions d'abouts du voile (conditions de rigidité des extrémités) :

Pour les voiles avec deux abouts sur des poteaux [1] :

$$e \geq \frac{h_e}{25} \dots \dots \dots (\text{II} - 3 - 12)$$

$$e \geq 14\text{cm}$$

Pour les voiles avec un seul about sur un poteau [1] :

$$e \geq \frac{h_e}{22} \dots \dots \dots (\text{II} - 3 - 13)$$

$$e \geq 15.9\text{cm}$$



Voiles à abouts libres :

$$e \geq \frac{h_e}{20} \dots \dots \dots (II - 3 - 14)$$

$$e \geq 17.5$$

On choisit :  $e = 20\text{cm}$

### II-3-6 Tableau récapitulatif :

Sur le tableau suivant nous récapitulons les dimensions choisit dans ce chapitre :

	Bloc 1	Bloc 2
Poteau	$45 \times 45 \text{ cm}^2$	$35 \times 35 \text{ cm}^2$
Poutre	$40 \times 30 \text{ cm}^2$	$40 \times 30 \text{ cm}^2$
	$80 \times 45 \text{ cm}^2$	
Plancher à corps creux	$20 \text{ cm}$	$20 \text{ cm}$
Plancher dalle pleine	$13 \text{ cm} : \text{porte à faux}$	
	$12 \text{ cm} : \text{sur puits de lumière}$	
voile	$20 \text{ cm}$	$20 \text{ cm}$

**Tableau (II-3-17) :** tableau récapitule les dimensions des éléments structuraux.

## II-4 Calcul des éléments non structuraux :

### II-4-1 L'acrotère :

#### i. Introduction :

L'acrotère est un élément de sécurité au niveau de la terrasse, il forme une paroi contre toute chute. Il est considéré comme une console encastree à sa base, soumise à son poids propre et à une surcharge horizontale due à une main courante.

Le calcul se fera en flexion composée au niveau de la section d'encastrement pour une bande de 1m linéaire.

L'acrotère est exposé aux intempéries, donc la fissuration est préjudiciable. Dans ce cas, le calcul se fera à l'ELU et à l'ELS.

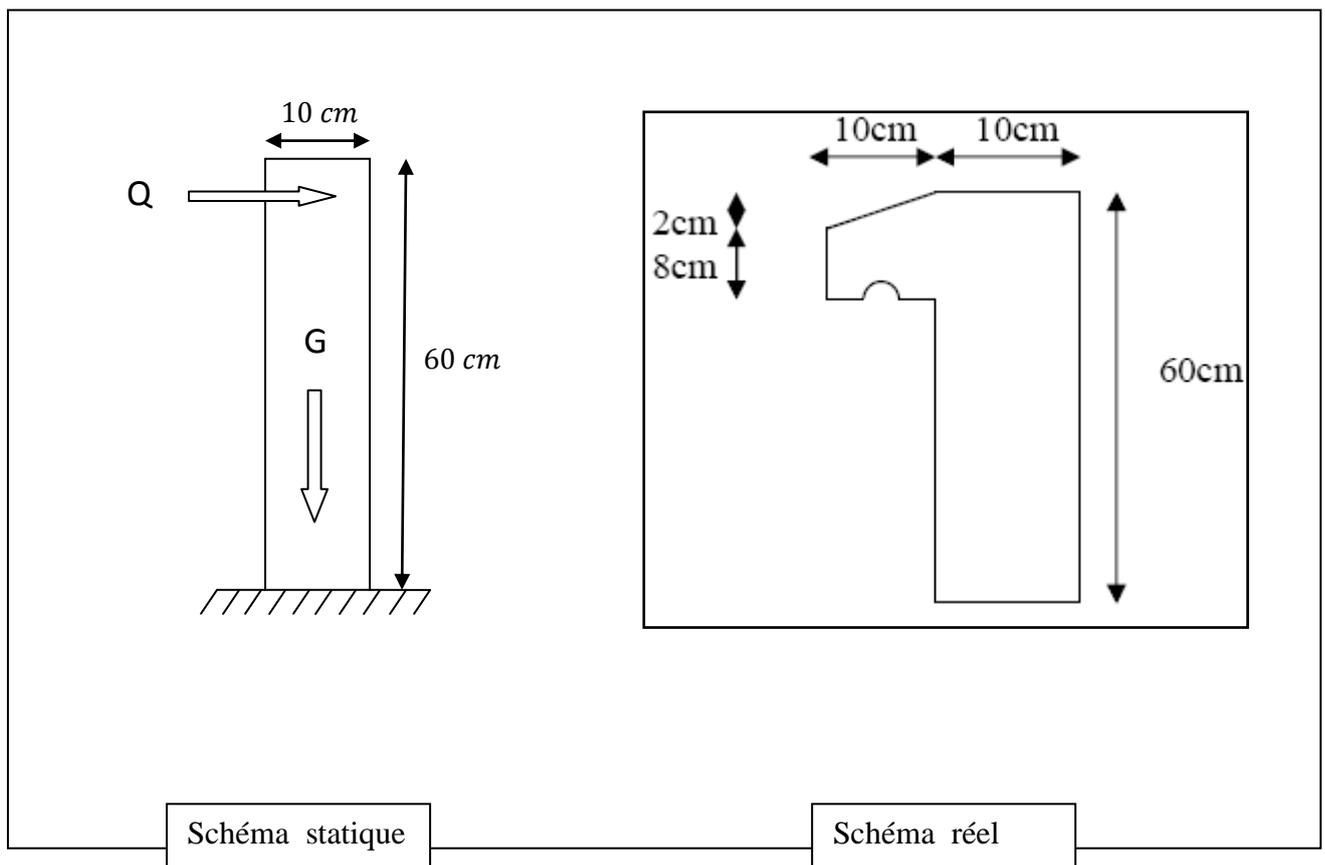


Figure II-4-1 : schémas réel et statique d'un acrotère.

#### ii. Chargement :

Poids propre de l'acrotère :

$$G = \left[ (0.6 \times 0.1) + (0.08 \times 0.1) + \left( \frac{0.02 \times 0.1}{2} \right) \right] \times 25 = 1.95 \text{ KN}$$



Surcharge :

$$Q = 1.00 \text{ KN}$$

**iii. Sollicitation :**

A l'ELU :

$$N_u = 1.35 \times G = 1.35 \times 1.95 = 2.63 \text{ KN}$$

$$M_u = 1.5 \times Q \times 0.6 = 0.9 \text{ KN.m}$$

$$T_u = 1.5 \times Q = 1.5 \text{ KN}$$

A l'ELS :

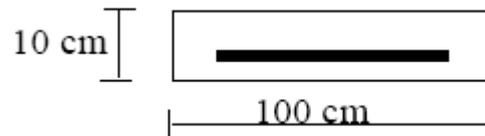
$$N_{ser} = 1 \times G = 1.95 \text{ KN}$$

$$M_{ser} = Q \times 0.6 = 0.6 \text{ KN.m}$$

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

**iv. Calcul du ferrillage :**

Le calcul se fait pour une section rectangulaire avec :



**Figure II-4-2 :** section de l'acrotère a calculée

$$h = 10 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

Et un enrobage de 2 cm

Le logiciel SOCOTEC nous donne les résultats suivants :

**a- Calcule à l'ELU :**

$$\text{Le ferrillage trouvé est : } \begin{cases} A_{sup} = 0 \\ A_{inf} = 0.28 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

**b- Vérifications à l'ELS :**

$$\begin{cases} \text{Axe neutre: } X = 0.1 \text{ cm} \\ \sigma_b = 1.9 \text{ Mpa} \leq \sigma_{b,lim} = 15 \text{ Mpa} \\ \sigma_s = 237.1 \text{ Mpa} \leq \sigma_{s,lim} = 400 \text{ Mpa} \end{cases} \quad \text{Si vérifier}$$



### a- Condition de non fragilité

Donnée par la formule suivante [4]

$$A_{smin} \geq 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \dots \dots \dots (II - 4 - 1)$$

$$A_{smin} = 1.21 \text{ cm}^2$$

$$A_s = \max(A_{smin}, A_{ser}, A_u) = 1.21 \text{ cm}^2$$

$$\text{Soit } 4 \text{ } \emptyset 8 \text{ (} A_s = 2.01 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Espacement [4]: } S_t \leq \min(3h, 33 \text{ cm}) \dots \dots \dots (II - 4 - 2)$$

$$S_t \leq 30 \text{ cm}$$

$$\text{On prend : } S_t = 25 \text{ cm}$$

Les forces horizontales peuvent agir sur les deux faces de l'acrotère, donc le ferrailage sera identique pour la zone comprimée.

### b- Vérification au cisaillement :

La contrainte de cisaillement dans le béton est donnée par [3] :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 \times d} \dots \dots \dots (II - 4 - 3)$$

Cette contrainte doit rester inférieure à la contrainte admissible donnée en fonction de l'inclinaison des armatures transversales et le préjudice de la fissuration ;

$$\bar{\tau}_u = \min[0.15 \times f_{c28}, 4 \text{ MPa}] = 3.75 \text{ MPa}$$

$$\text{Or : } \tau_u = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{1 \times 0.08} = 0.187 \text{ MPa}$$

$\tau_u < \bar{\tau}_u \Rightarrow$  Le béton seul suffit pour reprendre l'effort tranchant.

### c- Vérification au séisme :

Le règlement parasismique Algérien, préconise une vérification de l'acrotère à la composante horizontale de la charge sismique donnée par [1]:

$$F_p = 4 \times A \times C_p \times W_p \dots \dots \dots (II - 4 - 4)$$

Le ferrailage obtenu sous l'action des surcharges d'exploitation et des charges permanentes est suffisant lorsque la condition suivante est remplie [1]:

$$F_p \leq 1.5 \times Q \dots \dots \dots (II - 4 - 5)$$

Dans le cas contraire, un calcul à l'état limite accidentelle est obligatoire, et pour les deux cas de figures, une disposition symétrique des armatures est à prendre (prise en compte du

changement du signe du moment fléchissant dû au changement de direction de la composante horizontale du séisme).

$A = 0,15$  : Coefficient d'accélération de zone;

$W_p = 1,95 \text{ kN}$  : Poids de l'acrotère ;

$C_p = 0,8$  : Facteur de force horizontale.

$F_p = 4 \times 0,15 \times 0,8 \times 1,95 = 0,936 \text{ KN}$

$F_p \leq 1,5 \times Q = 1,5 \text{ KN}$

En conséquence, on devra utiliser la section minimale d'armatures (condition de non fragilité) des deux cotés, avec des armatures de répartition d'une section au moins égale à un quart des armatures principales.

#### d- Ferrailage de l'acrotère :

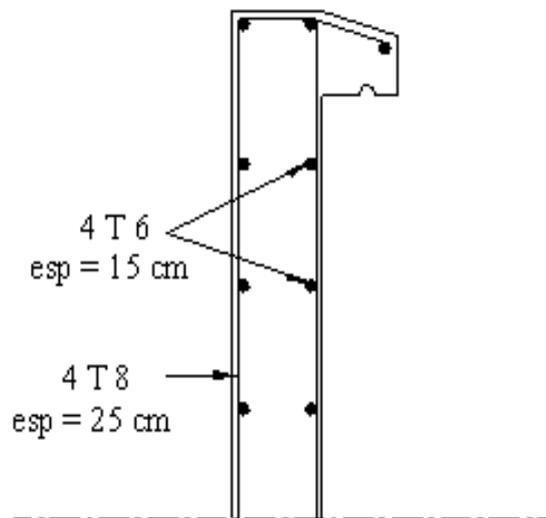


Figure II-4-3 : plan de ferrailage de l'acrotère

### II-4-2 L'escalier :

#### i. Introduction :

Les escaliers sont constitués de volées classiques en béton armé reposant sur des paliers coulés sur place.

#### ii. Nomenclature :

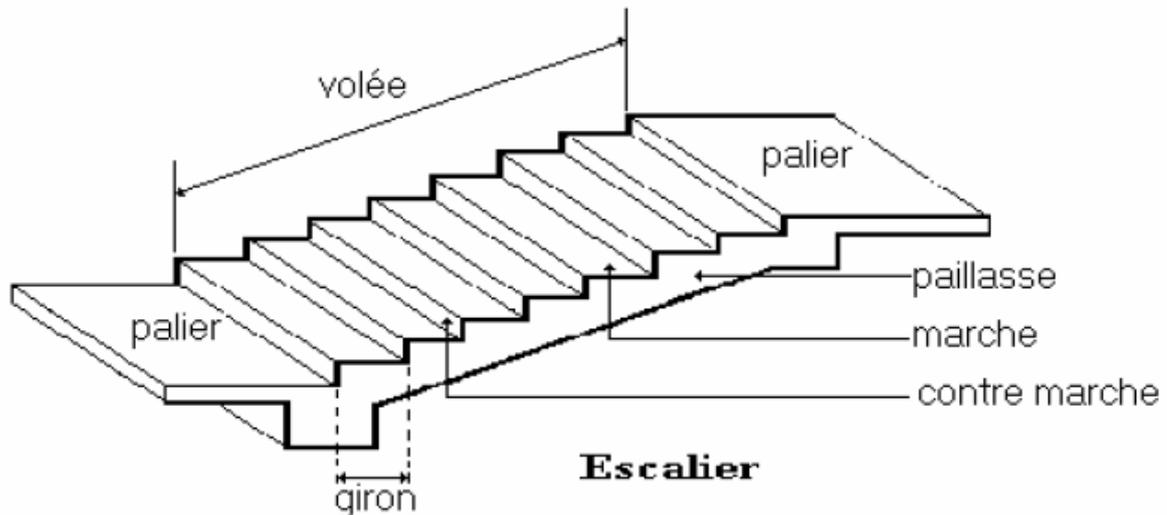


Figure II-4-4 : Escalier

#### iii. Détermination des dimensions des différents éléments de l'escalier :

Afin de déterminer les dimensions des marches, giron ' $g$ ', contre marche ' $h$ '

On utilisera la formule dite empirique de BLONDEL [5]:

$$59 < 2h + g < 66 \dots \dots \dots (II - 4 - 6)$$

- 66 cm : correspond à des pas rapides (lieux public).
- 59 cm : correspond à des pas lents (intérieur d'appartement).

Couramment on a :

$h$  : Varie de 14 a 20cm.

$g$  : Varie de 22 a 33cm.

En fixe la valeur de  $h$  comme suit :

L'hauteur à franchir est : 175cm

Pour 10 marches on aura :  $h = 175/10 = 17.5 \text{ cm}$

En vérifiant la formule de BLONDEL on peut choisir  $g$  comme suit :  $g = 28 \text{ cm}$

La formule de BLONDEL reste vérifier ( $59 < 2h + g = 2 \times 17.5 + 28 = 63 < 66$ )

Donc, on aura 9 marches avec :

$$\begin{cases} h = 17.5 \text{ cm} \\ g = 28 \text{ cm} \end{cases}$$

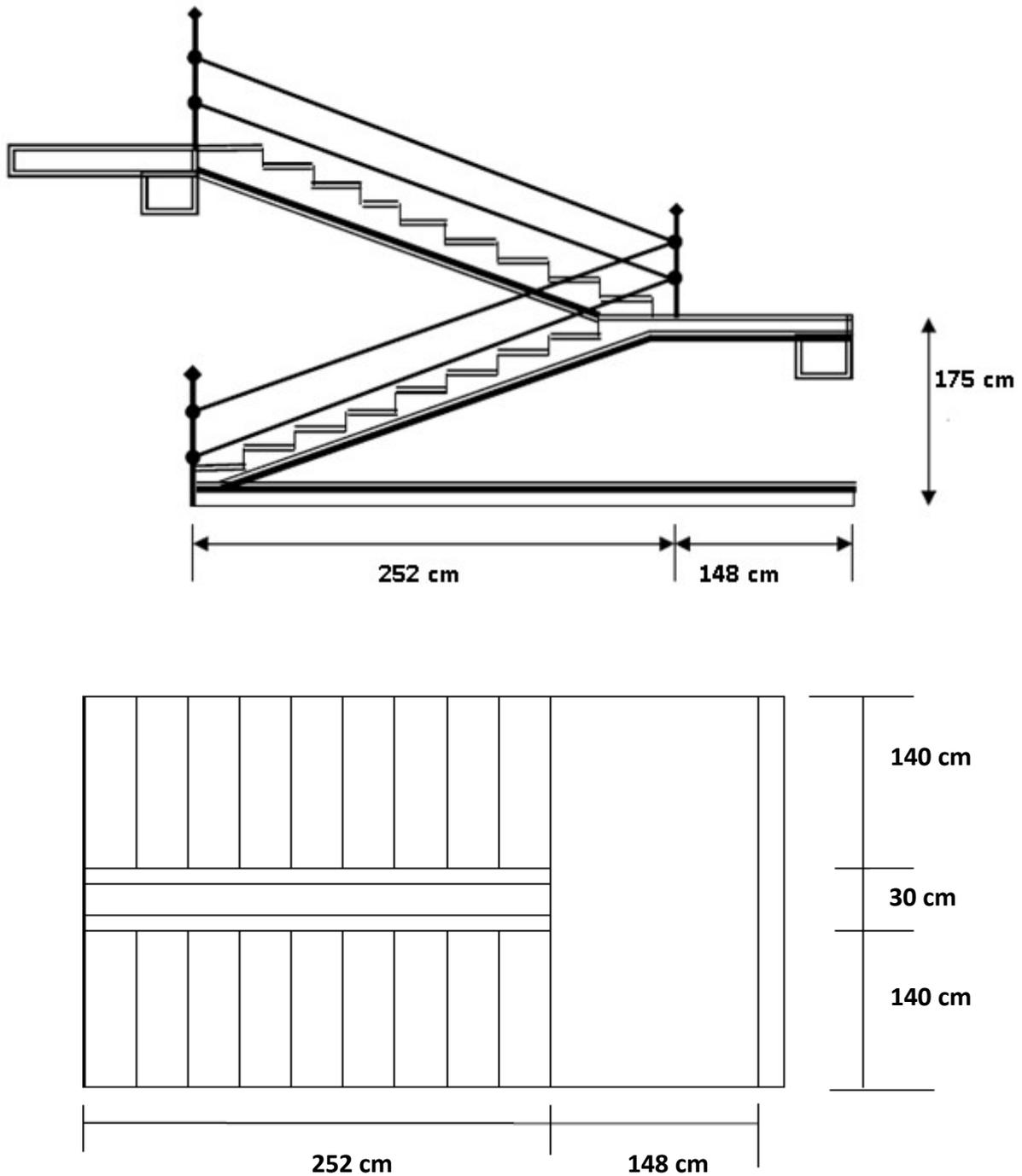


Figure II-4-5 : dimension des escaliers.

Pour la paillasse, elle doit avoir une épaisseur suffisante pour éviter une flèche excessive [6]:

$$e \geq \left( \frac{\text{portée}}{30}, 10 \text{ cm} \right) \dots \dots \dots \text{(II - 4 - 7)}$$

$$\tan \alpha = \frac{175}{252} = 0.69 \quad \text{donc} \quad \alpha = 34.77^\circ$$

$$\text{Portée} = L = \frac{175}{\cos \alpha} = 213 \text{ cm}$$

$$e \geq \left( \frac{213}{30}, 10 \text{ cm} \right) \quad \text{On choisit } e = 13 \text{ cm}$$



#### iv. Chargements :

Les sollicitations seront calculées pour un mètre linéaire ;

Le poids du paillasse :

	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
paillasse	$13/\cos \alpha = 15.82$	3.95
Mortier de pose	2	0.45
Marches	$h/2 = 8.75$	2.18
revêtement carrelage	2	0.44
Enduit de ciment	1.5	0.27
	<b>Total</b>	<b>7.29</b>

**Tableau (II-4-1) : Charges permanentes du paillasse d'escalier**

Le poids du palier :

	Couche (cm)	G (KN/m <sup>2</sup> )
palier	13	3.25
Mortier de pose	2	0.45
revêtement carrelage	2	0.44
Enduit de ciment	1.5	0.27
	<b>Total</b>	<b>4.41</b>

**Tableau (II-4-2) : Charges permanentes du palier d'escalier**

#### Surcharge :

On prend une surcharge  $Q = 4KN/m^2$

#### v. Combinaisons d'action [3]:

- A l'ELU :  $1.35G + 1.5Q$

Paillasse :  $P_{1u} = 1.35 \times 7.29 + 1.5 \times 4 = 15.84 KN/m^2$

Palier :  $P_{2u} = 1.35 \times 4.41 + 1.5 \times 4 = 11.95 KN/m^2$

- A l'ELS :  $G + Q$

Paillasse :  $P_{1s} = 7.29 + 4 = 11.29 KN/m^2$

Palier :  $P_{2s} = 4.41 + 4 = 8.41 KN/m^2$



**vi. Sollicitations de calcul :**

En utilisant le logiciel RDM6 on trouve les sollicitations suivantes :

- A l'ELU :  $\begin{cases} M_{max\ trav\ ée} = 29.6\ KN.m \\ T_{max} = -30.61\ KN \end{cases}$
- A l'ELS :  $\begin{cases} M_{max\ trav\ ée} = 21.03\ KN.m \\ T_{max} = -21.79\ KN \end{cases}$

**vii. Calcul du ferrailage :**

Le calcul se fait en flexion simple pour une bande de 1 m La paillasse est assimilée à une poutre horizontale simplement appuyée.

La fissuration est considérée comme peu préjudiciable ; donc le calcul ne se fait qu'à l'ELU.

Le logiciel SOCOTEQ donne les résultats suivants

- c- **Calcul à l'ELU :** Le ferrailage trouvé est :  $\begin{cases} A_{sup} = 0 \\ A_{inf} = 8.58\ cm^2 \end{cases}$

**d- Vérifications à l'ELS :**

$$\begin{cases} \text{Axe neutre: } X = 2.6\ cm \\ \sigma_b = 10.5\ Mpa \leq \sigma_{b,lim} = 15\ Mpa \\ \sigma_s = 255.2\ Mpa \leq \sigma_{s,lim} = 400\ Mpa \end{cases}$$

Si vérifier

**e- Condition de non fragilité**

$$A_{smin} \geq 0.23 \times b \times d \times \frac{f_{t28}}{f_e} \dots \dots \dots (II - 4 - 8)$$

$$A_{smin} \geq 1.6\ cm^2$$

Donc  $A_s$  choisit est le max :  $8.58\ cm^2$

Le diamètre des barres à utiliser ne doit pas dépasser le dixième de l'épaisseur de la dalle avec un espacement maximal inférieur ou égal au :  $min(e \times 3, 33cm)$ .

L'armature choisit est : 8HA12

Des armatures de répartition sont à prévoir, avec une section au moins égale au quart de celle des armatures principales, ce qui va nous donner 5HA10 /ml .

**f- Vérification au cisaillement :**

La contrainte de cisaillement dans le béton est donnée par [2] :

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 \times d} \dots \dots \dots (II - 4 - 9)$$

$$\bar{\tau}_u = \min[0.15 \times f_{c28}, 5MPa] \dots \dots \dots (II - 4 - 10)$$

$$\bar{\tau}_u = 5 \text{ MPa}$$

$$\text{Or } \tau_u = \frac{30.61 \times 10^{-3}}{1 \times 0.11} = 0.278 \text{ MPa}$$

$\tau_u < \bar{\tau}_u \Rightarrow$  Le béton seul suffit pour reprendre l'effort tranchant.

#### II-4-2-7 Ferrailage des escaliers :

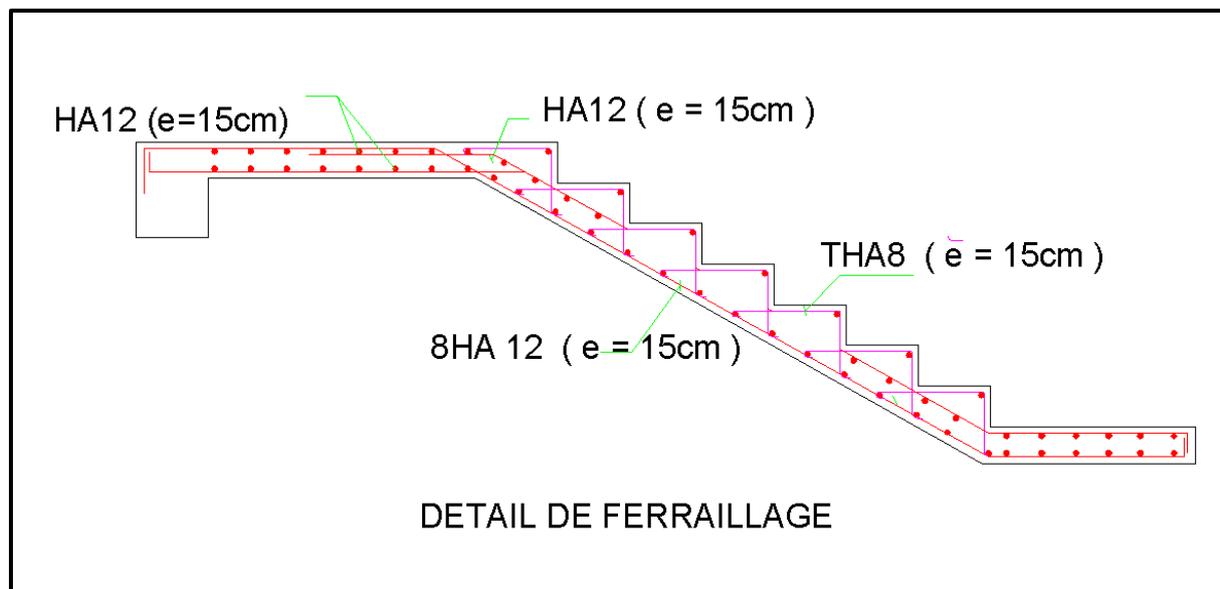


Figure II-4-6 : chemin de ferrailage des escaliers.

### II-4-3 Planchers à corps creux :

#### i. Introduction :

Les planchers ont un rôle très important dans la structure. Ils supportent les charges verticales puis les transmettent aux éléments porteurs et aussi ils isolent les différents étages du point de vue thermique et acoustique.

La structure étudiée comporte des planchers à corps creux. Ce type de plancher est constitué par des éléments porteurs (poutrelle), et par des Éléments de remplissage (corps creux) de dimensions  $(16 \times 20 \times 60)$  cm<sup>3</sup>, avec une dalle de compression de 4 cm d'épaisseur.

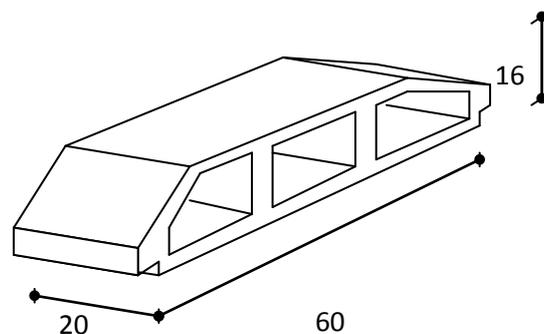


Figure II-4-7 : schéma d'un corps creux

#### ii. Calcul des poutrelles :

Le calcul des poutrelles s'effectue selon deux étapes:

- Etape 1: avant coulage.
- Etape 2: après coulage.

##### a. Avant coulage :

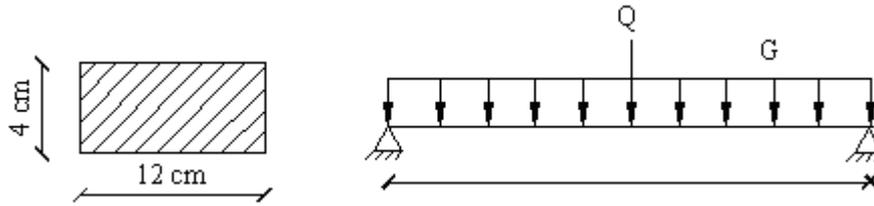
Cette étape consiste à enrober les armatures inférieures par coulage du béton dans la partie inférieure, on aura comme résultat une section rectangulaire de  $(b \times h) = (12 \times 4)$  cm<sup>2</sup>, généralement avec les armatures supérieure de montage, la poutrelle est donc simplement appuyée, supportant son poids propre, le corps creux et la charge due au poids de l'ouvrier.

##### a-1 Evaluation des charges et surcharges:

###### Charge permanente:

- Poids du corps creux:  $G_1 = 0.65 \times 1 = 0.65$  KN/ml.
- Poids de la poutrelle:  $G_2 = 0.12 \times 0.04 \times 25 = 0.12$  KN/ml.

Donc:  $G = G_1 + G_2 = 0.12 + 0.65 = 0.77$  KN/ml.



**Figure II-4-8 :** Schéma statique de la poutrelle

**Charges d'exploitations :**

$Q = \text{Max} [1 \text{ KN (au milieu de la poutrelle)} ; 0.5 \text{ KN/ml de portée}]$

$$Q = \text{Max} [1 \text{ KN} ; 0.5 \times 4] \rightarrow Q = 2 \text{ KN.}$$

**a-2 Sollicitations :**

$$\text{Moment fléchissant : } \begin{cases} M_G = G \times L^2 / 8 = 1.54 \text{ KN.m} \\ M_Q = Q \times L / 4 = 2.00 \text{ KN.m} \end{cases}$$

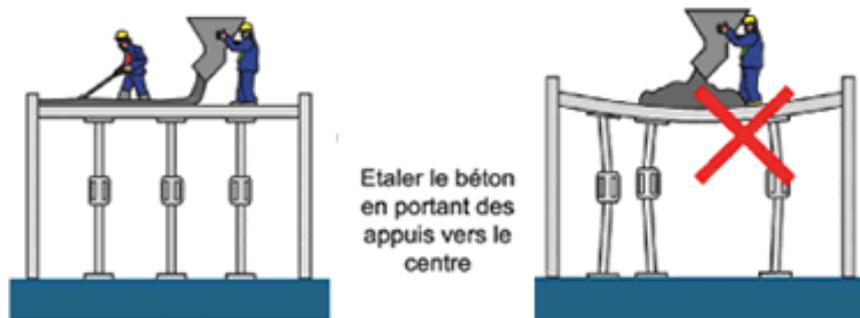
A l'ELU :  $M_u = 1.35 \times M_G + 1.5 \times M_Q = 5.08 \text{ KN.m}$

A l'ELS :  $M_u = M_G + M_Q = 3.54 \text{ KN.m}$

$$\mu = M_u / bd^2 f_{bu} \dots \dots \dots \text{(II - 4 - 11)}$$

$$\mu = 5.08 \times 10^{-3} / (0.12 \times 0.02^2 \times 14.2) = 7.453 \geq \mu_{lim} = 0.39$$

Les armatures comprimées A' sont nécessaires, cependant la section est faible, pour cela on prévoira des étaielements pour aider la poutrelle à supporter les charges qui lui reviennent avant coulage de la table de compression.

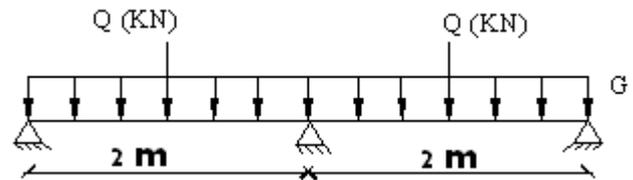


**Figure II-4-9:** choix de disposition des étaielements

**a-3 Calcul des étaielements:**

C'est à partir du calcul du moment qu'on pourra déterminer le nombre d'étaielements, on commence par la disposition d'un seul pied droit au milieu, on détermine alors " $\mu$ " pour la comparer avec " $\mu_{lim}$ ", si ce coefficient est supérieur au premier donc un seul pied droit suffira, sinon on ajoutera un deuxième et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'un coefficient de frottement inférieur au coefficient de frottement limite

- Pour un seul étai au milieu



$$G = 0.77 \text{ KN/ml.}$$

$$Q = \text{Max} [1 \text{ KN} ; 0.5 \times 2] \rightarrow Q = 1 \text{ KN}$$

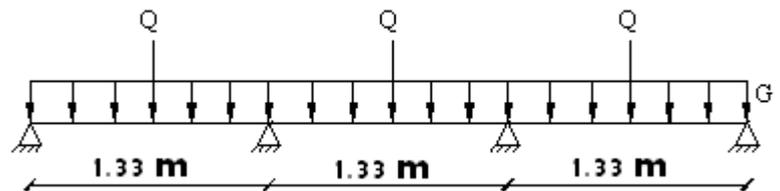
$$\begin{cases} M_G = G \times L^2 / 8 = 0.385 \text{ KN.m} \\ M_Q = Q \times L / 4 = 0.50 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$M_U = 1.27 \text{ KN.m}$$

$$\mu = 1.96 \geq \mu_{lim}$$

Ce n'est pas vérifier  $\rightarrow$  On ajoute un autre étaielement.

- Pour deux étais:



$$G = 0.77 \text{ KN/ml.}$$

$$Q = \text{Max} [1 \text{ KN} ; 0.5 \times 1.33] \rightarrow Q = 1 \text{ KN}$$

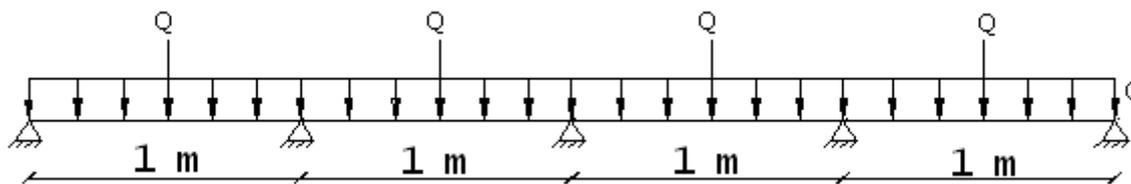
$$\begin{cases} M_G = G \times L^2 / 8 = 0.170 \text{ KN.m} \\ M_Q = Q \times L / 4 = 0.332 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$M_U = 0.727 \text{ KN.m}$$

$$\mu = 1.067 \geq \mu_{lim}$$

Ce n'est pas vérifier  $\rightarrow$  On ajoute un autre étaielement.

- Pour trois étais:



$$G = 0.77 \text{ KN/ml.}$$

$$Q = \text{Max} [1 \text{ KN} ; 0.5 \times 1] \rightarrow Q = 1 \text{ KN}$$

$$\begin{cases} M_G = G \times L^2 / 8 = 0.096 \text{ KN.m} \\ M_Q = Q \times L / 4 = 0.250 \text{ KN.m} \end{cases}$$

$$M_U = 0.505 \text{ KN.m}$$

$$\mu = 0.329 \leq \mu_{\text{lim}}$$

Alors il faut prévoir quatre étaielements le long de la travée espacés de 80 cm pour que la poutrelle supporte les charges avant coulage de la dalle de compression.

**b. Après coulage :**

La poutrelle est considérée comme une poutre continue.

On a Deux types de poutres :

- ♦ 2 travées (4 ; 4)
- ♦ 3 travées (4 ; 4 ; 4)
- ♦ 5 travées (4 ; 4 ; 4 ; 4 ; 4)

**a- Calcul des actions :**

La surface du plancher qui revient à chaque poutrelle est une bande de largeur 0.65 m

Niveau	G (KN/m)	Q (KN/m)	ELU (KN/m)	ELS (KN/m)
Terrasse	4.42	1.95	8.89	6.37
RDC	3.55	2.275	8.205	5.825
lième étage	3.55	1.625	7.23	5.175

**Tableau (II-4-3) :** sollicitation de calcul pour les poutrelles

On va prendre les sollicitations les plus grandes.

**b- Sollicitations de calcul :**

Les sollicitations sont données par le logiciel **RDM 6** comme suit :



b1- Pour les poutrelles à 2 travées (4 ; 4):

sollicitations	Valeurs max	Diagrammes
$M_{ELU \text{ travées}}$	<b>10.00</b>	
$M_{ELU \text{ Appuis}}$	<b>-17.75</b>	
$T_{ELU}$	<b>15.92</b>	
$M_{ELS \text{ travées}}$	<b>7.17</b>	
$M_{ELS \text{ Appuis}}$	<b>-12.74</b>	
$T_{ELS}$	<b>15.92</b>	

Tableau (II-4-4) : résultats des calculs des sollicitations revenant aux poutrelles à 2 travées.



b2- Pour les poutrelles à 3 travées(4 ; 4 ; 4) :

sollicitations	Valeurs max	Diagrammes
$M_{ELU \text{ travées}}$	11.37	
$M_{ELU \text{ Appuis}}$	-14.22	
$T_{ELU}$	21.34	
$M_{ELS \text{ travées}}$	8.15	
$M_{ELS \text{ Appuis}}$	-10.19	
$T_{ELS}$	15.28	

Tableau (II-4-5) : résultats des calculs des sollicitations revenant aux poutrelles à 3 travées.



b3- Pour les poutrelles à 5 travées :

sollicitations	Valeurs max	Diagrammes
$M_{ELU\ travées}$	<b>11.08</b>	
$M_{ELU\ Appuis}$	<b>-14.79</b>	
$T_{ELU}$	<b>21.52</b>	
$M_{ELS\ travées}$	<b>7.94</b>	
$M_{ELS\ Appuis}$	<b>-10.72</b>	
$T_{ELS}$	<b>15.42</b>	

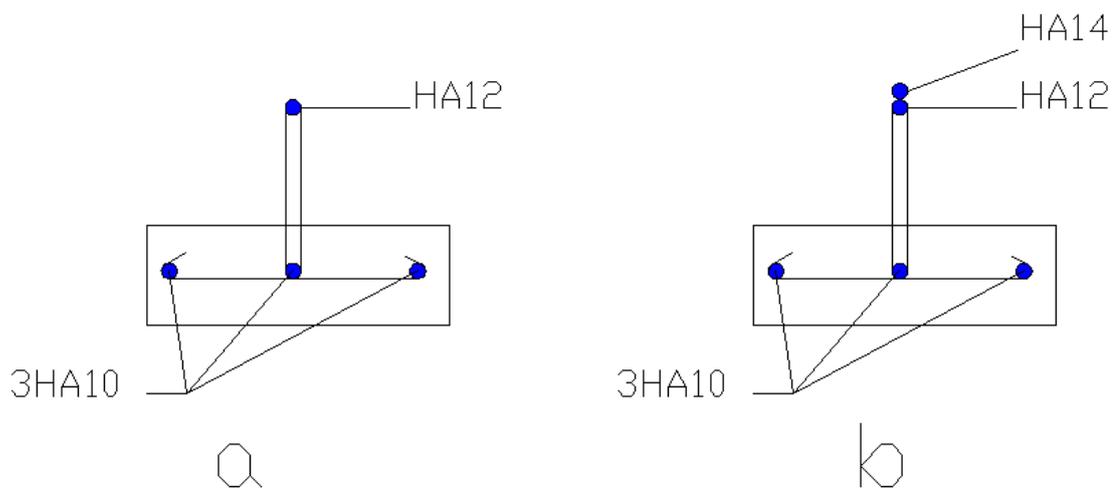
**Tableau (II-4-6) :** résultats des calculs des sollicitations revenant aux poutrelles à 5 travées.



Type	$T_{ELU Max} (KN)$	$\tau_b (MPa)$	$\bar{\tau}_b (MPa)$
2 travées	15.92	<b>2.46</b>	5 MPa
3 travées	21.34	<b>3.29</b>	5 MPa
5 travées	21.52	<b>3.33</b>	5 MPa

**Tableau (II-4-8) :** calcul de la contrainte de cisaillement du béton des poutrelles.

#### 4- Schéma de ferrailage :



**Figure II-4-10 :** Schémas de ferrailage des poutrelles

a- en travée

b- en zone d'appuis



### iii. Table de compression :

La table de compression a une épaisseur de 4 cm avec un espacement de 65 cm entre poutrelles. La section d'armature à prévoir doit satisfaire aux conditions suivantes [2] :

- Espacement pour les armatures perpendiculaires aux nervures au plus égale à 20 cm ;
- Espacement pour les armatures parallèles aux nervures au plus égale à 33 cm ;
- La section d'armatures dans le sens perpendiculaire aux nervures est donnée par :

$$A_s = \frac{4 \times l(cm)}{f_e(MPa)} \dots \dots \dots (II - 4 - 13)$$

$$A_s = \frac{4 \times 65}{240} = 1.08 \text{ cm}^2$$

En conséquence, le treillis soudé qui sera utilisé sera à maillage carré de 25 cm x 25 cm et de nuance FeE240 avec des Ø6.

#### II-4-3 Tableau récapitulatif :

Le tableau suivant résume les résultats de ce chapitre :

		Armature choisit	Espacement (cm)
Acrotère	Armature longitudinale	4Ø8	25
	Armature de répartition	4 Ø6	15
Escalier	Armature longitudinale	8 Ø12	15
	Armature de répartition	5Ø10	20
poutrelles	Appuis	Ø12 + Ø14	--
	Travées	2 Ø10	--
Table de compression		treillis soudé Ø6	25

**Tableau (II-4-9) :** récapitulation pour le ferrailage des éléments non structuraux.



## II-5 Etude dynamique et sismique

### II-5-1 Introduction :

Parmi les catastrophes naturelles qui affectent le nord de l'Algérie, les secousses sismiques sont sans doute celles qui ont le plus d'effets des structures dans les zones urbanisées. Face à ce risque et à l'impossibilité de le prévoir, la plus importante prévention est la construction parasismique. La meilleure façon d'envisager des constructions parasismiques consiste à formuler des critères à la fois économiquement justifiés et techniquement cohérents.

### II-5-2 Objectifs de l'étude dynamique :

L'objectif initial de l'étude dynamique d'une structure est la détermination de ses caractéristiques dynamiques propres. Ceci est obtenu en considérant son comportement en vibration libre non-amortie. Cela nous permet de calculer les efforts et les déplacements maximums lors d'un séisme.

L'étude dynamique d'une structure telle qu'elle se présente réellement, est souvent très complexe et demande un calcul très fastidieux voir impossible. C'est pour cette raison qu'on fait souvent appel à des modélisations qui permettent de simplifier suffisamment le problème pour pouvoir l'analyser.

### II-5-3 Calcul dynamique du bâtiment :

Le calcul des forces sismiques peut être mené suivant trois méthodes :

- La méthode statique équivalente.
- La méthode d'analyse modale spectrale.
- La méthode d'analyse dynamique temporelle par accélérographes.

Pour le choix de la méthode à utiliser, on doit vérifier un certain nombre de conditions suivant les règles en vigueur en Algérie (RPA99/version 2003). Ici les conditions d'application de la méthode statique équivalente ne sont pas toutes remplies. Il faut donc utiliser la méthode dynamique modale spectrale en utilisant le spectre de réponse défini dans le RPA 99 version 2003. Néanmoins, à cause de certaines vérifications nécessaires il est indispensable de passer par la méthode statique équivalente.

### II-5.4 Méthode modale spectrale :

#### i. Hypothèses de calcul :

- Les masses sont supposées concentrées au niveau du plancher.
- Seuls les déplacements horizontaux des nœuds sont pris en compte
- Les planchers et les fondations doivent être rigides dans leurs plans (vis-à-vis des déplacements horizontaux)

#### ii. Analyse de la structure :

Il est à présent clair que l'une des étapes incontournables lors d'une analyse dynamique d'une structure est sa modélisation adéquate.

Notre structure étant implantée en zone sismique III et vu les dégâts énormes que peut engendrer un séisme, une étude sismique s'impose. Ainsi, le calcul d'un bâtiment vis à vis du séisme repose sur l'évaluation des charges susceptibles d'être engendrées dans le système structural lors du séisme. Dans le cadre de notre projet, la détermination de ces efforts est conduite par le logiciel *ETABS* qui utilise une approche dynamique basée sur le principe de la superposition modale.

### iii. Le choix du positionnement des voiles.

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

- Le nombre doit être suffisamment important pour assurer une rigidité suffisante tout en restant dans le domaine économique et facilement réalisable.
- La position de ces voiles doit éviter des efforts de torsion préjudiciable pour la structure.

#### II-5-5 Etude dynamique :

##### I. Etude du 1<sup>er</sup> bloc

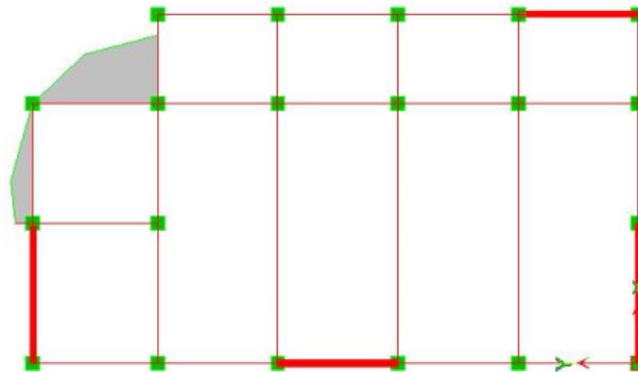


Figure II-5-1 disposition des voiles dans le 1<sup>er</sup> bloc

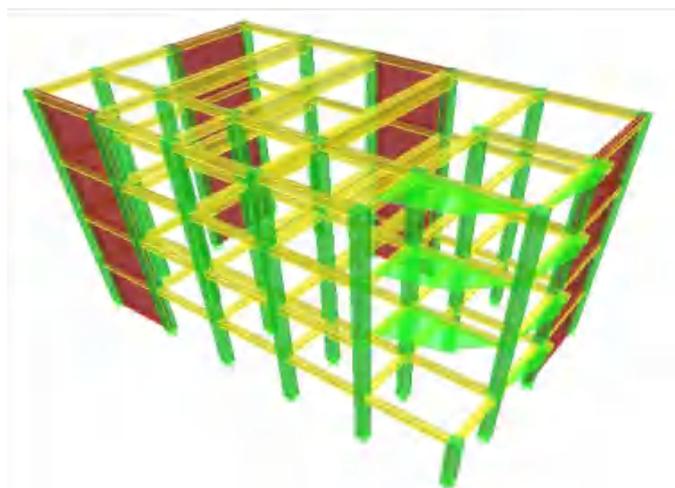


Figure II-5-2 modélisations 3D du 1<sup>er</sup> bloc



**I-1 Caractéristique géométrique de la structure :**

➔ Détermination des centres des masses par étages :

La détermination du centre de masse est basée sur le calcul des centres de masse de chaque élément de la structure (acrotère, poteaux, poutres, plancher, escalier, voiles, balcons, maçonnerie extérieure),

Les coordonnées du centre de masse sont données par :

$$\begin{cases} X_G = \frac{\sum M_i X_i}{\sum M_i} \\ Y_G = \frac{\sum M_i Y_i}{\sum M_i} \end{cases} \dots \dots \dots (II - 5 - 1)$$

Avec :

$M_i$  : la masse de l'élément  $i$ ,

$X_i, Y_i$  : coordonnées du CDG de l'élément  $i$  par rapport au repère global

		Centre de masse(m)		Centre de torsion(m)		Excentricité Théorique(m)	
plancher	W étage (t)	$X_G$	$Y_G$	$X_{CR}$	$Y_{CR}$	$e_x = X_G - X_{CR}$	$e_y = Y_G - Y_{CR}$
3 <sup>ème</sup>	728.788	5.26	8.773	5.829	9.76	-0.569	-0.987
2 <sup>ème</sup>	1037.226	5.25	8.638	5.84	9.764	-0.59	-1.126
1 <sup>ère</sup>	1037.226	5.25	8.638	5.858	9.766	-0.608	-1.128
RDC	837.007	5.653	9.098	5.878	9.694	-0.225	-0.596
Total	<b>3640.248</b>						

**Tableau (II-5-1) : Caractéristiques du 1<sup>er</sup> bloc**

**I-2 Vérifications réglementaires :**

**a) Mode à considérer :**

Le nombre de modes de vibration à considérer doit être tel que [1]:

- La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit au moins égale à 90% de la masse totale de la structure ;
- Ou que tous les modes retenus ont une masse modale effective supérieure à 5% de la masse totale ;
- Le nombre minimum de modes à retenir est de 3 ;

Dans le cas où les conditions citées ci-dessus ne sont pas observées, le nombre de mode à considérer est donné par l'inégalité suivante :

$$K \geq 3 \times \sqrt{N} \text{ et } T_K \leq 0.2 \text{ (s)}$$

Avec :  $N$  : nombre de niveau au dessus du sol ;

$T_K$  : Période du mode  $K$  ;



Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
1	0.18337	0.0014	74.358	0.0014	74.358
2	0.155984	74.721	0.0068	74.7224	74.3648
3	0.115942	0.9044	0.1922	75.6268	74.557
4	0.041233	0.0031	19.7265	75.6299	94.2835
5	0.036824	19.0003	0.0082	94.6302	94.2917

**Tableau (II-5-2) :** Participation de la masse modale effective du 1<sup>er</sup> bloc

**b) La résultante des forces sismiques :**

L'une des vérifications préconisées par le RPA99 est relative à la résultante des forces sismiques. En effet la résultante des forces sismiques à la base  $V_t$  obtenue par la combinaison des valeurs modales ne doit pas être inférieure à 80% de la résultante des forces sismiques déterminées par la méthode statique équivalente  $V$ . Si :

$$V_t \leq 0.8 V \dots \dots \dots (II - 5 - 2),$$

il faudra augmenter tous les paramètres de la réponse (forces, déplacements, moments,...) dont le rapport

$$r = 0.8 \times V / V_t \dots \dots \dots (II - 5 - 3)$$

On doit donc calculer les efforts résultants de l'application de la méthode statique équivalente.

**c) Méthode statique équivalente :**

Dans cette méthode, les actions sismiques réelles qui se développent dans la construction, sont remplacées par un système de forces statiques fictives. Les effets de ces forces sont considérés équivalents à ceux provoqués par mouvement du sol dans une direction quelconque.

L'intensité effective de l'action sismique est donnée sous la forme d'effort tranchant maximum à la base de la structure,

Soit [1]:

$$V = \frac{A \times D \times Q}{R} \times W \dots \dots \dots (II - 5 - 4)$$

**A :** coefficient d'accélération donne par le tableau 4.1 des règles RPA en fonction de la zone sismique et du groupe d'usage.

**R:** facteur de comportement dépendant de type du système de contreventement de la structure,

**D:** facteur d'amplification dynamique, dépendant de la période T et du type de sol d'assise de fondation.

**Q:** facteur de qualité, dépendant de la qualité du système structurel (régularité en plan, en élévation, control de la qualité des matériaux.....etc.).

La formule empirique donnée par la formule suivante [1]:

$$Q = 1 + \sum_{q=1}^6 p_q \dots \dots \dots (II - 5 - 5)$$

Avec :

$P_q$  : la pénalité à retenir selon que le critère de qualité (q) est satisfait ou non



Coefficient d'accélération de zone (A):

Dans notre cas nous avons d'après le RPA : (zone (III), groupe d'usage 2), donc on a **A = 0,25**.

Facteur d'amplification dynamique moyen (D):

$$D = \begin{cases} 2.5 \times \eta & 0 \leq T \leq T_2 \\ 2.5 \times \eta (T_2/T)^{2/3} & T_2 \leq T \leq 3s \\ 2.5 \times \eta \times (T_2/T)^{2/3} \times (3/T)^{5/3} & T \geq 3s \end{cases} \dots \dots \dots (II - 5 - 6)$$

η : Facteur de correction d'amortissement donnée par la formule :

$$\eta = \sqrt{7/(2 + \xi)} \geq 0.7 \dots \dots \dots (II - 5 - 7)$$

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

Nous avons un contreventement mixte voiles -portiques donc on prend, ξ = 8.5 %.

D'où :  $\eta = \sqrt{7/(2 + 8.5)} = 0.8165 \geq 0.7$

Calcul de la période (T) :

$$T = \text{Min} \left\{ C_T \times h_N^{3/4} \left| \frac{0.09 \times h_N}{\sqrt{d}} \right. \right\} \dots \dots \dots (II - 5 - 8)$$

Avec :

**h<sub>N</sub>** : Hauteur mesurée en mètres a partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau N

**h<sub>N</sub> = 14m**

**C<sub>T</sub>** : Coefficient fonction du système de contreventement, du type de remplissage [1]

**C<sub>T</sub> = 0.05**

**d<sub>x</sub>** : La dimension transversale du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

**d<sub>x</sub> = 12m**

**d<sub>y</sub>** : La dimension longitudinale du bâtiment mesurée à sa base dans la direction de calcul considérée.

**d<sub>y</sub> = 20.5m**

$$\begin{cases} T_X = \text{Min} \left\{ 0.05 \times 14^{0.75}; \frac{0.09 \times 14}{\sqrt{12}} \right\} = \text{Min}\{0.3618; 0.3737\} = 0.361s \\ T_Y = \text{Min} \left\{ 0.05 \times 14^{0.75}; \frac{0.09 \times 14}{\sqrt{20.5}} \right\} = \text{Min}\{0.3618; 0.2782\} = 0.278s \end{cases}$$

Calcul de la période caractéristique (T2) :

Le site est de la catégorie S3 donc [1] : T<sub>2</sub> = 0.5 s

(T<sub>X</sub> ; T<sub>Y</sub>) ≤ T<sub>2</sub> Donc D = 2.5 × η

$$\begin{cases} D_X = 2.5 \times 0.8165 = 2.04 \\ D_Y = 2.5 \times 0.8165 = 2.04 \end{cases}$$



Coefficient de comportement (R):

On a pour le système portiques contreventés par des voiles  $R = 5$

Facteur de qualité (Q):

Critère $q$	$P_{qx}$	$P_{qy}$
Condition minimale sur les files de contreventement	0.05	0.05
Redondance en plan	0.05	0
Régularité en plan	0.05	0
Régularité en élévation	0	0
Contrôle de la qualité des matériaux	0.05	0.05
Contrôle de la qualité de l'exécution	0.10	0.10
$\Sigma$	0.3	0.2

**Tableau (II-5-3) :** valeurs des pénalités réservées au 1<sup>er</sup> bloc

$$\text{Donc : } \begin{cases} Q_X = 1.3 \\ Q_Y = 1.2 \end{cases}$$

Coefficient de pondération ( $\beta$ ):

Fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation, donne par le tableau 4.5 du RPA. Dans notre cas  $\beta = 0.20$

Donc :

$$\begin{cases} V_X = \frac{A \times D_X \times Q_X}{R} \times W = \frac{0.25 \times 2.04 \times 1.3}{5} \times 3640.248 = 482.697 \text{ KN} \\ V_Y = \frac{A \times D_Y \times Q_Y}{R} \times W = \frac{0.25 \times 2.04 \times 1.2}{5} \times 3640.248 = 445.566 \text{ KN} \end{cases}$$

**d) Vérification de l'effort sismique a la base.**

Spec	Mode	Dir	F1	F2
EX	1	U1	0.01	-2.61
EX	2	U1	609.76	5.8
EX	3	U1	8.52	-3.93
EX	4	U1	0.04	-3.01
EX	5	U1	234.81	4.88
EX	6	U1	2.75	-1.76



EX	7	U1	0	-0.5
EX	8	U1	49.11	1.03
EX	9	U1	0.04	-0.86
EX	10	U1	12.81	0.37
EX	11	U1	4.9	0.19
EX	12	U1	0.02	-0.02
EX	All	All	<b>659.64</b>	7.3
EY	1	U2	-2.61	606.79
EY	2	U2	5.8	0.06
EY	3	U2	-3.93	1.81
EY	4	U2	-3.01	240.56
EY	5	U2	4.88	0.1
EY	6	U2	-1.76	1.12
EY	7	U2	-0.5	54.21
EY	8	U2	1.03	0.02
EY	9	U2	-0.86	18.66
EY	10	U2	0.37	0.01
EY	11	U2	0.19	0.01
EY	12	U2	-0.02	0.03
EY	All	All	7.3	<b>657.85</b>

**Tableau (II-5-4) :** l'effort sismique total a la base du 1<sup>er</sup> bloc

ETABS donne les valeurs a la base :  $\begin{cases} V_{dx} = 659.64 \text{ KN} \\ V_{dy} = 657.85 \text{ KN} \end{cases}$

La méthode statique équivalente a donnée :  $\begin{cases} V_x = 482.697 \text{ KN} \\ V_y = 445.566 \text{ KN} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 0.8 \times V_x = 386.15 \text{ KN} \\ 0.8 \times V_y = 356.45 \text{ KN} \end{cases}$

$$\begin{cases} V_{dx} > 0.8 \times V_x \\ V_{dy} > 0.8 \times V_y \end{cases} \dots \dots \dots \text{vérifier}$$

**e) Vérification des déplacements inter-étages :**

L'une des vérifications préconisées par le RPA99 version 2003 concerne les déplacements latéraux inter étages. En effet, selon l'article 5.10 du RPA99, l'inégalité ci-dessous doit nécessairement être vérifiée :



$$\begin{cases} \Delta_X^K \leq \bar{\Delta} \\ \text{et} \dots \dots \dots (II - 5 - 9) \\ \Delta_Y^K \leq \bar{\Delta} \end{cases}$$

Avec :

$$\bar{\Delta} = 0.01h_e \quad \text{où} \quad h_e : \text{représente la hauteur de l'étage.}$$

Avec :

$$\Delta_X^K = R \times \Delta_{eX}^K \quad \text{et} \quad \Delta_Y^K = R \times \Delta_{eY}^K \quad \dots \dots \dots (II - 5 - 10)$$

$$\Delta_{eX}^K = \delta_{eX}^K - \delta_{eX}^{K-1} \quad \text{et} \quad \Delta_{eY}^K = \delta_{eY}^K - \delta_{eY}^{K-1} \quad \dots \dots \dots (II - 5 - 11)$$

$\Delta_{eX}^K$  : correspond au déplacement relatif au niveau k par rapport au niveau k-1 dans le sens x (idem dans le sens y,  $\Delta_{eY}^K$ ). Avec :

$\delta_{eX}^K$  : est le déplacement horizontal dû aux forces sismiques au niveau k dans le sens x (idem dans le sens y,  $\delta_{eY}^K$ ).

Pour  $R = 5$  ; le tableau a donne les résultats

	$\Delta_{eX} (mm)$	$\Delta_{eY} (mm)$	$R\Delta_{eX}$	$R\Delta_{eY}$	$\bar{\Delta} (mm)$	
3 <sup>ième</sup> étage	0.7	0.2	3.5	1	35	vérifié
2 <sup>ième</sup> étage	0.7	0.5	3.5	2.5	35	vérifié
1 <sup>er</sup> étage	0.5	0.5	2.5	2.5	35	vérifié
R.D.C	0.3	0.1	1.5	0.5	35	vérifié

**Tableau (II-5-5) :** justification vis-à-vis les déplacements des étages du 1<sup>er</sup> étage

**f) Justification vis à vis de l'effet p-Δ :**

Les effets de 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 [1]:

$$\theta = \frac{P_K \times \Delta_K}{V_K \times h_K} \leq 0.1 \quad \dots \dots \dots (II - 5 - 12)$$

Avec :

$P_K$  : Poids total de la structure et des charges d'exploitation associées au dessus du niveau k calculés suivant le formule ci-après :

$$P_K = \sum_{l=k}^n (W_{Gl} + \beta W_{Ql}) \quad \dots \dots \dots (II - 5 - 13)$$

$V_K$  : Effort tranchant d'étage au niveau k,



$\Delta_K$  : Déplacement relatif du niveau k par rapport au niveau k-1 en considérons la combinaison (G+Q+E)

$h_K$ : Hauteur de l'étage k.

- Suivant x :

NIVEAU	$W_I(t)$	$P_K$	$\Delta_k(m)$	$V_k(t)$	$h_i(m)$	$\theta$
3	728.788	728.788	0.0035	2587	3.50	0.00028
2	1037.226	1766.014	0.0035	4480.6	3.50	0.00039
1	1037.226	2803.274	0.0025	5785	3.50	0.00048
RDC	837.007	3640.281	0.0015	6474.5	3.50	0.00056

Vérifié

**Tableau (II-5-6) :** justification vis-à-vis l'effet p- $\Delta$  suivant X du 1<sup>er</sup> bloc

- Suivant y :

NIVEAU	$W_I(t)$	$P_K$	$\Delta_k(m)$	$V_k(t)$	$h_i(m)$	$\theta$
3	728.788	728.788	0.001	30.2	3.50	0.0069
2	1037.226	1766.014	0.0025	45.4	3.50	0.0283
1	1037.226	2803.274	0.0025	58.2	3.50	0.0344
RDC	837.007	3640.281	0.0005	72.3	3.50	0.0072

Vérifié

**Tableau (II-5-7) :** justification vis-à-vis l'effet p- $\Delta$  suivant Y du 1<sup>er</sup> bloc



II. Etude du 2<sup>ème</sup> bloc

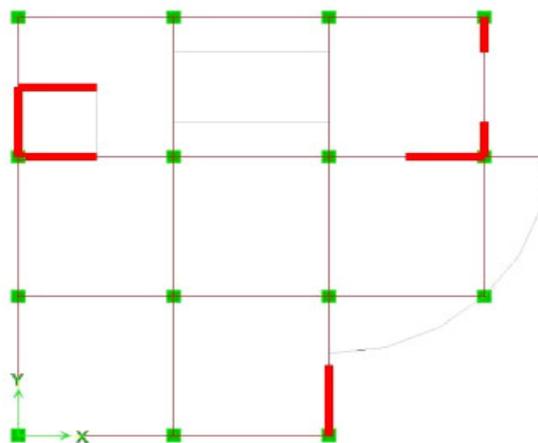


Figure II-5-3 disposition des voiles dans le 2<sup>ème</sup> bloc

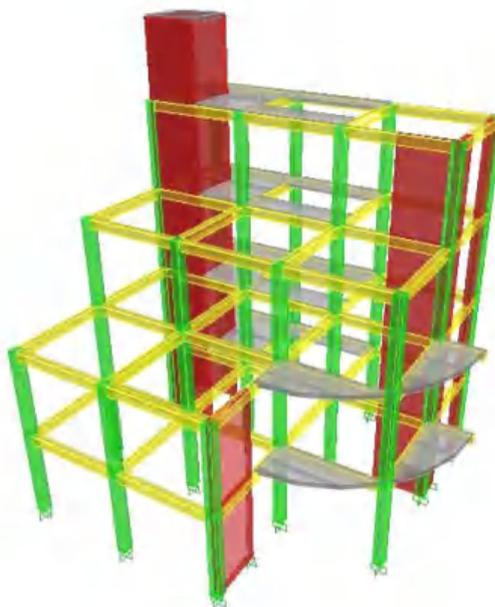


Figure II-5-4 modélisations 3D du 2<sup>ème</sup> bloc

II-1 Caractéristique géométrique de la structure :

plancher	W étage (t)	Centre de masse(m)		Centre de torsion(m)		Excentricité Théorique(m)	
		$X_G$	$Y_G$	$X_{CR}$	$Y_{CR}$	$e_x = X_G - X_{CR}$	$e_y = Y_G - Y_{CR}$
3 <sup>ème</sup>	345.219	4.852	9.535	3.816	7.769	1.036	1.766
2 <sup>ème</sup>	447.922	5.609	8.716	3.703	7.792	1.906	0.924
1 <sup>ère</sup>	537.358	5.54	7.563	3.579	7.904	1.969	-0.341
RDC	562.186	5.534	7.229	4.528	8.206	1.006	-0.675
Total	1892.685						

Tableau (II-5-8) : Caractéristiques du 2<sup>ème</sup> bloc



## II-2 Vérifications réglementaires :

### a) Mode à considérer :

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
1	0.221156	52.1867	6.5041	52.1867	6.5041
2	0.185036	9.2677	58.262	61.4544	64.7661
3	0.156883	5.7329	3.223	67.1873	67.9892
4	0.058679	2.3219	13.1544	69.5092	81.1435
5	0.050026	17.8996	0.2256	87.4088	81.3691
6	0.045006	1.8086	5.8089	89.2174	87.178
7	0.030513	0.1269	4.0593	89.3443	91.2373
8	0.023162	0.0065	2.948	89.3508	94.1853
9	0.021551	7.2928	0.0089	96.6435	94.1942

**Tableau (II-5-9) :** Participation de la masse modale effective du 2<sup>ème</sup> bloc

### b) La résultante des forces sismiques :

- $A = 0,25$ .
- $\eta = 0.8165 \geq 0.7$  [Eq : (II – 5 – 7)]
- $\xi = 8.5 \%$ .
- $h_N = 14\text{m}$
- $C_T = 0.05$
- $d_x = 13.66\text{m}$
- $d_y = 12\text{m}$
- $\begin{cases} T_X = 0.341 \text{ s} \\ T_Y = 0.361 \text{ s} \end{cases}$  [Eq : (II – 5 – 8)]
- $T_2 = 0.5 \text{ s}$
- $\begin{cases} D_X = 2.04 \\ D_Y = 2.04 \end{cases}$  [Eq : (II – 5 – 6)]
- $R = 5$

#### - Facteur de qualité (Q):

Critère q	$P_{qx}$	$P_{qy}$
Condition minimale sur les files de contreventement	0.05	0.05
Redondance en plan	0.05	0.05
Régularité en plan	0.05	0.05
Régularité en élévation	0	0.05



Contrôle de la qualité des matériaux	0.05	0.05
Contrôle de la qualité de l'exécution	0.10	0.10
$\Sigma$	0.3	0.35

**Tableau (II-5-10) :** valeurs des pénalités réservées au 2<sup>ème</sup> bloc

- $\begin{cases} Q_X = 1.3 \\ Q_Y = 1.35 \end{cases}$
- $\beta = 0.20$

Donc :

- $\begin{cases} V_X = 250.993 \text{ KN} \\ V_Y = 260.648 \text{ KN} \end{cases}$  [Eq : (II - 5 - 4)]

**c) Vérification de l'effort sismique a la base.**

Spectre	Mode	Dir	F1	F2
EX	1	U1	211.22	-74.57
EX	2	U1	37.51	94.05
EX	3	U1	23.2	-17.4
EX	4	U1	13.66	-32.51
EX	5	U1	108.49	12.18
EX	6	U1	11.13	19.95
EX	7	U1	0.82	-4.63
EX	8	U1	0.04	-0.91
EX	9	U1	48.36	-1.69
EX	10	U1	1.52	5.02
EX	11	U1	8.42	2.19
EX	12	U1	0.09	1.38
EX	All	All	270.34	98.57
EY	1	U2	-74.57	26.32
EY	2	U2	94.05	235.8
EY	3	U2	-17.4	13.04
EY	4	U2	-32.51	77.37
EY	5	U2	12.18	1.37
EY	6	U2	19.95	35.76
EY	7	U2	-4.63	26.17
EY	8	U2	-0.91	19.45
EY	9	U2	-1.69	0.06
EY	10	U2	5.02	16.53
EY	11	U2	2.19	0.57
EY	12	U2	1.38	21.36
EY	All	All	98.57	276.04

**Tableau (II-5-11) :** l'effort sismique total a la base du 2<sup>ème</sup> bloc



ETABS donne les valeurs a la base :  $\begin{cases} V_{dX} = 270.34 \text{ KN} \\ V_{dY} = 276.04 \text{ KN} \end{cases}$

La méthode statique équivalente a donnée :  $\begin{cases} V_X = 250.993 \text{ KN} \\ V_Y = 260.648 \text{ KN} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 0.8 \times V_X = 200.79 \text{ KN} \\ 0.8 \times V_Y = 208.52 \text{ KN} \end{cases}$

$$\begin{cases} V_{dX} > 0.8 \times V_X \\ V_{dY} > 0.8 \times V_Y \end{cases} \dots \dots \dots \text{vérifier}$$

**d) Vérification des déplacements inter-étages :**

Equations : (II – 5 – 9), (II – 5 – 10), (II – 5 – 11)

	$\Delta_{eX}$	$\Delta_{eY}$	$R \times \Delta_{eX}$	$R \times \Delta_{eY}$	$\bar{\Delta}$	
3 <sup>ème</sup> étage	1.1	0.7	5.5	3.5	35	vérifié
2 <sup>ème</sup> étage	1.1	0.8	5.5	4	35	vérifié
1 <sup>er</sup> étage	0.7	0.6	3.5	3	35	vérifié
R.D.C	0.3	0.3	1.5	1.5	35	vérifié

**Tableau (II-5-12) :** justification vis-à-vis les déplacements des étages du 2<sup>ème</sup> étage

**e) Justification vis à vis de l'effet p-Δ :**

Equations : (II – 5 – 12), (II – 5 – 13)

- Suivant x :

NIVEAU	$W_I(t)$	$P_K$	$\Delta_K(m)$	$V_K(t)$	$h_i(m)$	$\theta$
3	345.219	345.219	0.0055	1428.1	3.50	0.00038
2	447.922	793.141	0.0055	1752.8	3.50	0.00071
1	537.358	1330.499	0.0035	2302.4	3.50	0.00058
RDC	562.186	1892.685	0.0015	2703.4	3.50	0.00035

*Vérifié*

**Tableau (II-5-13) :** justification vis-à-vis l'effet p-Δ suivant X du 2<sup>ème</sup> bloc



- Suivant y :

NIVEAU	$W_I(t)$	$P_K$	$\Delta_K(m)$	$V_K(t)$	$h_i (m)$	$\theta$
3	345.219	345.219	0.0035	1313.7	3.50	0.00026
2	447.922	793.141	0.004	1816.4	3.50	0.0005
1	537.358	1330.499	0.003	2423.3	3.50	0.00047
RDC	562.186	1892.685	0.0015	2760.4	3.50	0.00029

Vérifié

**Tableau (II-5-14) :** justification vis-à-vis l'effet p-Δ suivant Y du 2<sup>ème</sup> bloc

**II-5-6 Justification de la largeur du joint sismique :**

Les deux blocs doivent être séparés par un joint sismique dont la largeur minimale  $d_{min}$  satisfait la condition suivante :

$$d_{min} = 15mm + (\delta_1 + \delta_2)mm \geq 40mm \dots \dots \dots (II - 5 - 14)$$

$\delta_1$  et  $\delta_2$  : déplacements maximaux des deux blocs, au niveau du sommet du bloc le moins élevé incluant les composantes dues a la torsion et, éventuellement celles dues a la rotation des fondations.

$$\begin{cases} \delta_1 = 11mm \\ \delta_2 = 12mm \end{cases} \rightarrow d_{min} = 38mm$$

Donc on choisit un joint de largeur  $d = 50mm$

**II-5-7 Tableau récapitulatif :**

Sur le tableau suivant nous récapitulons les résultats de l'étude dynamique des 2 blocs :

		Bloc 1	Bloc 2
Mode a considéré		5	9
Période (s)		0.18337	0.22115
Déplacement max (mm)	Suivant X	2.2	3.2
	Suivant Y	1.3	2.4

**Tableau (II-5-15) :** récapitulations pour l'étude dynamique



## II-6 : Ferrailage des éléments structuraux

### II-6-1 Introduction

Le ferrailage des éléments résistant s'effectuera selon le règlement BAEL 91 et les règles parasismiques en vigueur en Algérie (RPA 99/ version 2003).

### II-6-2 Ferrailage des poteaux :

Les poteaux sont des éléments structuraux assurant la transmission des efforts des poutres vers les fondations. Un poteau est soumis à un effort normal  $N$  et à un moment de flexion  $M$  dans les deux sens soit dans le sens longitudinal et le sens transversal. Donc les poteaux sont sollicités en flexion composée. Les armatures seront calculées à l'état limite ultime ELU sous l'effet des sollicitations les plus défavorables et ce dans les situations suivantes :

Situation	Béton			Acier (TYPE 1 FeF400)		
	$\gamma_b$	$F_{c28}$ (MPa)	$f_{bu}$ (MPa)	$\gamma_s$	Fe (MPa)	$\sigma_s$ (MPa)
Durable	1,5	25	14,167	1,15	400	348
Accidentelle	1,15	25	21,73	1	400	400

**Tableau (II-6-1) :** les situations accidentelle et durable prise en compte pendant le calcul

#### a) Combinaison des charges :

En fonction du type de sollicitation, on distingue les différentes combinaisons suivantes :

##### ➤ Selen CBA93

ELU .....  $1,35 G + 1,5 Q$

ELS .....  $G + Q$

##### ➤ Selen RPA 99 (situation accidentelle)

$G + Q \pm E$

$0,8G \pm E$

On considérant les sollicitations suivantes :

$N_{max}$  →  $M$  correspondant

$M_{max}$  →  $N$  correspondant

$N_{min}$  →  $M$  correspondant

#### b) Recommandations des règles parasismiques algériennes RPA99

Recommandations de L'RPA99 « version 2003 » :

- Les armatures longitudinales doivent être à haute adhérence droites et sans crochets.
- Leur pourcentage minimal sera de 0.9% (zone III).
- Leur pourcentage maximal sera de 4% en zone courante et de 6% en zone de recouvrement.



- Le diamètre minimum est de 12 mm.
- La longueur minimale de recouvrement est de  $50\Phi$  (zone III).
- La distance entre les barres verticales dans une surface du poteau ne doit pas dépasser 20 cm (zone III).
- Les jonctions par recouvrement doivent être faites si à possible à l'extérieur des zones nodales (zones critiques).

**c) Résultats des sollicitations :**

ETABS a donné les résultats suivants :

- 1<sup>er</sup> Bloc : poteau de section  $45 \times 45 \text{ cm}^2$

**Poteau isolé :**

combinaison	$N_{max}$ (KN)	$M_{corr}$ (KN.m)	$M_{max}$ (KN.m)	$N_{corr}$ (KN)	$N_{min}$ (KN)	$M_{corr}$ (KN.m)	$T_{max}$ (KN)
1,35 G + 1,5 Q	1708.12	11.609	185.752	729.46	14.96	-14.82	114.71
G + Q	1236.27	8.357	132.993	530.98	10.98	-10.844	83.39
G + Q ± E	1239.15	13.676	146.759	542.9	-233.76	-5.149	91.63
0,8G ± E	977.58	10.431	113.89	229.59	-171.28	-4.974	75.82

**Tableau (II-6-2) :** Sollicitation de calcul pour les Poteaux isolés (1<sup>er</sup> bloc).

**Poteau adhérer au voile :**

combinaison	$N_{max}$ (KN)	$M_{corr}$ (KN.m)	$M_{max}$ (KN.m)	$N_{corr}$ (KN)	$N_{min}$ (KN)	$M_{corr}$ (KN.m)	$T_{max}$ (KN)
1,35 G + 1,5 Q	496.97	-13.739	157.508	131.17	14.96	-14.82	100.49
G + Q	362.24	-9.86	132.993	530.98	10.98	-10.844	73.12
G + Q ± E	546.63	1.581	146.759	542.9	-233.76	-5.149	79.73
0,8G ± E	452.46	1.198	89.486	91.24	-171.28	-4.974	66.51

**Tableau (II-6-3) :** Sollicitation de calcul pour les Poteaux adhérer au voile (1<sup>er</sup> bloc).



- 2<sup>ème</sup> Bloc : poteau de section 35 × 35 cm<sup>2</sup>

**Poteau isolé :**

combinaison	$N_{max}$ (KN)	$M_{corr}$ (KN.m)	$M_{max}$ (KN.m)	$N_{corr}$ (KN)	$N_{min}$ (KN)	$M_{corr}$ (KN.m)	$T_{max}$ (KN)
1,35 G + 1,5 Q	481.82	0.306	32.552	84.68	11.25	-3.988	18.47
G + Q	346.08	0.249	25.216	63.08	8.33	-3.057	14.21
G + Q ± E	218.83	3.778	18.975	52.21	-139.25	-1.424	2.8
0,8G ± E	239.4	5.002	29.486	67.32	-119.77	-3.678	3.77

**Tableau (II-6-4) :** Sollicitation de calcul pour les Poteaux isolés (2<sup>ème</sup> bloc).

**Poteau adhérer au voile :**

combinaison	$N_{max}$ (KN)	$M_{corr}$ (KN.m)	$M_{max}$ (KN.m)	$N_{corr}$ (KN)	$N_{min}$ (KN)	$M_{corr}$ (KN.m)	$T_{max}$ (KN)
1,35 G + 1,5 Q	148.36	-4.665	16.56	41.85	70.9	-3.483	11.58
G + Q	115.1	-3.831	13.171	31.3	19.12	-0.353	9.01
G + Q ± E	202.49	3.438	-10.834	-27.56	-139.25	-2.654	7.41
0,8G ± E	246.32	2.711	-18.363	22.85	-103.16	--5.432	12.33

**Tableau (II-6-5) :** Sollicitation de calcul pour les Poteaux adhérer au voile (2<sup>ème</sup> bloc).

**d) Ferrailage des poteaux :**

- poteaux solidaire des voiles

	$A_S$	$A_{SC}$	$A_{S min}$	$A_S adopté$	Choix des barres
<b>Bloc1 : 45×45</b>	6.93	0	18.22	18.22	4HA16+4HA 20 20.61cm <sup>2</sup>
<b>Bloc2 : 35×35</b>	2.37	0	11.02	11.02	8HA14 12.32 cm <sup>2</sup>

**Tableau (II-6-6) :** Ferrailage des Poteaux adhérer au voile



- Poteaux isolés :

	$A_S$	$A_{SC}$	$A_{S\ min}$	$A_{S\ adopté}$	Choix des barres
<b>Bloc1 :</b> <b>45×45</b>	10.37	0	18.22	18.22	4HA16+4HA 20 20.61 cm <sup>2</sup>
<b>Bloc2 :</b> <b>35×35</b>	4.07	0	11.02	11.02	8HA14 12.32 cm <sup>2</sup>

Tableau (II-6-7) : Ferrailage des Poteaux isolés

e) Vérification de la condition de non fragilité.

$$A_{smin} > \frac{0,23\ bdf_{t28}}{f_e} \dots \dots \dots (II - 6 - 1)$$

$A_{smin} = 2.22\ cm^2$  , condition vérifiée

f) Armatures transversales

➤ 1<sup>er</sup> bloc :

i. Vérification des poteaux à l'effort tranchant.

On prend l'effort tranchant maximum et on généralise les nervures d'armatures pour tous les poteaux.

$V_{max} = 114.71\ KN$

ii. Vérification de la contrainte de cisaillement [1]:

$$\tau = \frac{V}{bd} \dots \dots \dots (II - 6 - 2)$$

$$\tau = \frac{0,114}{0,45 \times 0,41} = 0.61\ Mpa$$

$$\tau_{bu} = \rho_d f_{c28} \dots \dots \dots (II - 6 - 3)$$

$$\begin{cases} \rho_d = 0.075\ si\ \lambda > 5 \\ \rho_d = 0.040\ si\ \lambda < 5 \end{cases} \dots \dots \dots (II - 6 - 4)$$

$$\lambda_g = \frac{l_f}{i} = \frac{0,7l}{b/\sqrt{12}} \dots \dots \dots (II - 6 - 5)$$

$$\lambda_g = \frac{0,7 \times 3,5}{0,45/\sqrt{12}} = 18.86 > 5$$

$\tau_{bu} = 0.075 \times 25 = 1,8775\ Mpa$

$\bar{\tau} = \min\{0.13f_{c28}, 4\ Mpa\} = 3,25\ Mpa$



$$\begin{cases} \tau < \tau_{bu} \\ \tau < \bar{\tau} \end{cases} \text{ Conditions vérifiées}$$

**iii. Calcul des armatures transversales :**

Selon RPA99/version 2003 les armatures transversales des poteaux sont calculées à l'aide de la formule suivante :

$$\frac{A_t}{S_t} = \frac{\rho_a \times V_u}{h_1 \times f_e} \dots \dots \dots \text{(II - 6 - 6)}$$

$V_u$  : Effort tranchant de calcul.

$h_1$  : Hauteur totale de la section brute.

$\rho_a$  : Est un coefficient correcteur qui tient compte de mode fragile de la rupture par effort tranchant

**Calcul d'espacement :**

- Dans la zone nodale :

$$t \leq 10 \text{ cm.} \quad \text{En zone III}$$

- Dans la zone courante :

$$t' \leq \text{Min} \left( \frac{b_1}{2}, \frac{h_1}{2}, 10 \phi_l \right) \quad \text{En zone III} \quad \dots \dots \dots \text{(II - 6 - 7)}$$

Où  $\phi_l$  est le diamètre minimal des armatures longitudinales du poteau

On opte un espacement de :  $\begin{cases} 10 \text{ cm en zone nodale} \\ 15 \text{ cm en zone courante} \end{cases}$

**Donc :**

- Dans la Zone courante.

$$\rho_a = 2,5$$

$$A_{st} = \frac{\rho_a \times V_u \times S_t}{h_1 \times f_e} \dots \dots \dots \text{(II - 6 - 8)}$$

$$A_{st} = \frac{2,5 \times 0.114 \times 0,15}{0,45 \times 400} = 2.375$$

Choix des barres :  $A_{st} = 4HA8 = 2,01\text{cm}^2$  (2 cadre de HA8)

La quantité d'armatures transversales minimale ( $\frac{A_t}{S_t \times b}$ ) en % est donnée comme suit [1]

$$\lambda_g > 5 \rightarrow \frac{A_t}{S_t \times b} > 0,3\% \dots \dots \dots \text{(II - 6 - 9)}$$



$$\frac{2,1}{15 \times 45} = 0,0031 > 0,003, \text{ c'est vérifier}$$

Les cadres doivent être fermés par des crochets à 135°, ayant une longueur de  $10\phi_t = 8 \text{ cm}$ .

- Dans la Zone nodale.

Les mêmes résultats que la zone courante.

➤ **2ième Bloc :**

**i- Vérification des poteaux à l'effort tranchant.**

On prend l'effort tranchant maximum et on généralise les nervures d'armatures pour tous les poteaux.

$$V_{max} = 11,08 \text{ KN}$$

**ii- Vérification de la contrainte de cisaillement :**

D'après l'équation (II – 6 – 2)

$$\tau = 0,1 \text{ Mpa}$$

Et l'équation (II – 6 – 3); (II – 6 – 4)

$$\lambda_g = \frac{0,7 \times 3,5}{0,35 / \sqrt{12}} = 24,25 > 5$$

$$\tau_{bu} = 0,075 \times 25 = 1,8775 \text{ Mpa}$$

$$\bar{\tau} = \min\{0,13f_{c28}, 4 \text{ Mpa}\} = 3,25 \text{ Mpa}$$

$$\begin{cases} \tau < \tau_{bu} \\ \tau < \bar{\tau} \end{cases} \text{ Conditions vérifiées}$$

**iii- Calcul des armatures transversales :**

**Condition d'espacement :**

On prend un espacement de :  $\begin{cases} 10 \text{ cm en zone nodale} \\ 15 \text{ cm en zone courante} \end{cases}$

**Zone courante.**

$$\rho_a = 2,5$$

Equation (II – 6 – 8) donne

$$A_{st} = \frac{2,5 \times 0,011 \times 0,15}{0,35 \times 400} = 0,29 \text{ cm}^2$$

Choix des barres :  $A_{st} = 4HA8 = 2,01 \text{ cm}^2$  (2 cadre de HA8)

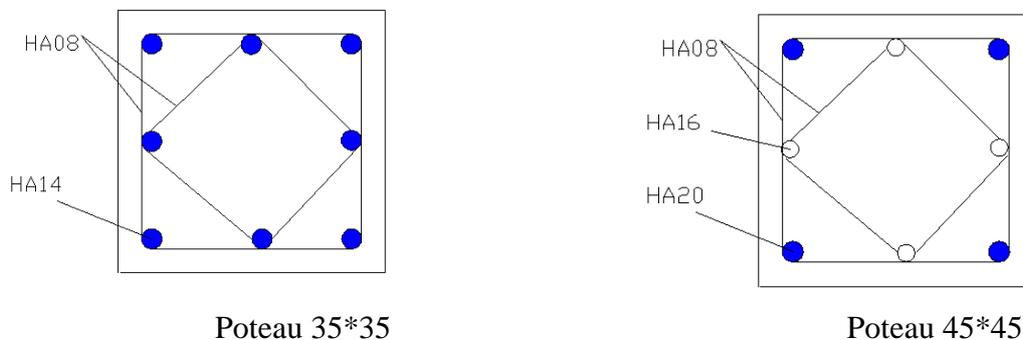
$$\frac{2,1}{15 \times 35} = 0,004 > 0,003, \text{ c'est vérifier (Equation(II - 6 - 9))}$$

Les cadres doivent être fermés par des crochés à 135°, ayant une longueur de  $10\phi_t = 8 \text{ cm}$ .

### Zone nodale.

Les mêmes résultats que la zone courante.

#### iv- Chemin de ferrailage.



**Figure II-6-1** : chemin de ferrailages des poteaux

### II-6-3 Ferrailage des poutres :

Les poutres sont des éléments structuraux qui transmettent les efforts de plancher vers les poteaux. Elles sont sollicitées à la flexion simple. Le ferrailage est calculé à l'état limite ultime sous l'effet du moment le plus défavorable suivant les recommandations de le RPA 99/version 2003.

#### a- Prescriptions données par RPA99/version 2003 :

##### Armatures longitudinales :

- Le pourcentage minimal des aciers longitudinaux sur toute la largeur de la poutre doit être de 0.5% de toute section.
- Le pourcentage maximal est de 4% en zone courante, et 6% en zone de recouvrement.
- La longueur minimale de recouvrement est de  $40 \phi$  (zone II).
- Les cadres des nœuds, disposés comme armatures transversales des poteaux, sont constitués de 2 U superposés formant un carré ou un rectangle.

##### Armatures transversales :

- La quantité des armatures transversales est de :  $A_t = 0.003.S.b$  ;
- L'espacement maximal entre les armatures transversales est déterminé comme suit :
  - Dans la zone nodale et en travée, si les armatures comprimées sont nécessaires, le RPA exige un minimum de «  $h/4, 12\phi$  » ;
  - En dehors de la zone nodale l'espacement doit être de «  $s \leq h/2$  ».



**b- Combinaison des charges :**

En fonction du type de sollicitation, on distingue les différentes combinaisons suivantes :

➤ *Selen CBA93*

E L U .....  $1,35 G + 1,5 Q$

➤ *Selen RPA 99* (situation accidentelle)

$G + Q \pm E$

$0,8G \pm E$

**c- s sollicitations de calcul :**

		$1,35 G + 1,5 Q$			$G + Q \pm E$			$0,8G \pm E$		
		$M_{travee}$ (KN.m)	$M_{appui}$ (KN.m)	$T$ (KN)	$M_{travee}$ (KN.m)	$M_{appui}$ (KN.m)	$T$ (KN)	$M_{travee}$ (KN.m)	$M_{appui}$ (KN.m)	$T$ (KN)
<b>Bloc 1</b>	<b>Poutre 80x45(cm<sup>2</sup>)</b>	398.591	350.485	319.62	293.694	279.541	235.41	273.21	206.368	190.12
	<b>Poutre 40x30(cm<sup>2</sup>)</b>	61.367	93.42	142.35	44.287	67.759	127.66	37.967	54.389	103.46
<b>Bloc 2</b>	<b>Poutre 40x30(cm<sup>2</sup>)</b>	38.772	54.723	98.82	43.857	29.332	49.16	55.231	49.001	81.47

**Tableau (II-6-8) :** Sollicitation de calcul pour les poutres

**d- Résultats du ferrailage.**

	<b>Bloc 1</b>				<b>Bloc 2</b>	
	<b>Poutre 80x45(cm<sup>2</sup>)</b>		<b>Poutre 40x30 (cm<sup>2</sup>)</b>		<b>Poutre 40x30(cm<sup>2</sup>)</b>	
	$M_{travee}$ (KN.m)	$M_{appui}$ (KN.m)	$M_{travee}$ (KN.m)	$M_{appui}$ (KN.m)	$M_{travee}$ (KN.m)	$M_{appui}$ (KN.m)
<b>Sollicitations MAX</b>	398.591	350.485	61.367	93.42	55.231	49.001
<b>Ferrailage (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>16.27</b>	<b>14.19</b>	<b>2.37</b>	<b>3.63</b>	<b>2.13</b>	<b>2.07</b>
<b>Ferrailage MIN (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>
<b>Diamètres adopte</b>	<b>10HA16</b>	<b>10HA16</b>	<b>6HA12</b>	<b>6HA12</b>	<b>6HA12</b>	<b>6HA12</b>

**Tableau (II-6-9) :** Ferrailage des poutres



**e- Vérifications nécessaires pour les poutres.**

**i- La condition de non fragilité.**

$$A_{min} > 0.23 \times b \times d \times \frac{ft28}{fe} \dots \dots \dots (II - 6 - 10)$$

$$A_{min} > 0.23 \times 35 \times 50 \times \frac{2.1}{400} = 2.10 \text{ cm}^2.$$

$A_{min} = 2.10 \text{ cm}^2$ . (Condition vérifiée)

**ii- Pourcentage d'acier exigé par RPA99/version 2003.**

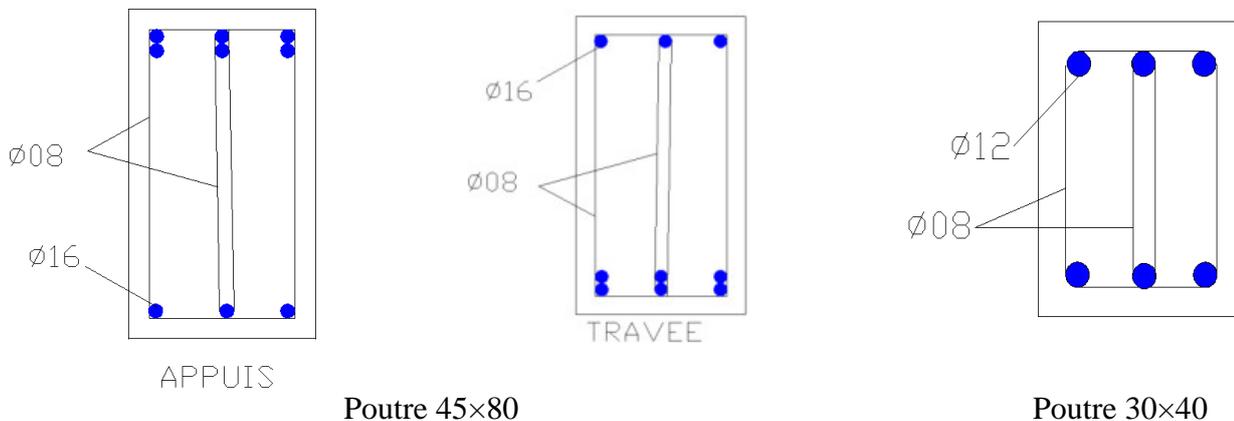
Le pourcentage total minimum des aciers longitudinaux sur toute la longueur de la poutre est de 0.5% en toute section :

$$A_{min} > 0.5\% \cdot b \cdot h \dots \dots \dots (II - 6 - 11)$$

$$A_{min} > 0.5\% \cdot 30 \cdot 40 = 6 \text{ cm}^2.$$

Condition non vérifiée pour l'ELU alors la section d'aciers à retenir est :  $A_{min} = 6 \text{ cm}^2$ .

**f- Schéma de ferrailage.**



**Figure II-6-2 : Schéma de ferrailage des poutres**

**II-6-4 Ferrailage des voiles :**

**a- Stabilité des constructions vis-à-vis les charges latérales.**

Du point de vue de la stabilité sous charges horizontales (vent, séisme), on distingue différents types des structures en béton armé :

- Structures auto stables
- Structure contreventée par voiles.

Dans notre projet, la structure est contreventée par des voiles et portiques, dont le but est d'assurer la stabilité (et la rigidité) de l'ouvrage vis à vis des charges horizontales.

**b- Rôle de contreventement.**

Le contreventement a donc principalement pour objet :



- ✓ Assurer la stabilité des constructions non auto stable vis à vis des charges horizontales et de les transmettre jusqu'au sol.
- ✓ De raidir les constructions, car les déformations excessives de la structure sont source de dommages aux éléments non structuraux et à l'équipement.

#### c- Ferrailage des voiles.

Les voiles seront calculés en flexion composée sous l'effet des sollicitations qui les engendrent, le moment fléchissant et l'effort normal sont déterminés selon les combinaisons comprenant la charge permanente, d'exploitation ainsi que les charges sismiques.

#### d- Combinaisons de charges.

Selon le règlement parasismique Algérienne (RPA 99) les combinaisons à considérer dans notre cas (voiles) sont les suivantes :

$$G + Q \mp E$$

$$0.8G \mp E$$

#### e- Prescriptions imposées par RPA99

##### e-1) Aciers verticaux

Le ferrailage vertical sera disposé de telle sorte qu'il puisse reprendre les contraintes induites par la flexion composée, en tenant compte des prescriptions composées par le **RPA 99** et décrites ci-dessous :

- a) L'effort de traction engendré dans une partie du voile doit être repris en totalité par les armatures dont le pourcentage minimal est de 0.20%, de section horizontale du béton tendu.
- b) Les barres verticales des zones extrêmes devraient être ligaturées avec des cadres horizontaux dont l'espacement ne doit pas être supérieur à l'épaisseur des voiles.
- c) A chaque extrémité de voile, l'espacement des barres doit être réduit du dixième de la longueur de voile ( $L/10$ ), cet espacement doit être inférieur ou égal à 15 cm ( $s_t \leq 15\text{cm}$ ).

Si des efforts importants de compression agissent sur l'extrémité, les barres verticales doivent respecter les conditions imposées aux poteaux. Les barres du dernier niveau doivent être munies de crochets à la partie supérieure. Toutes les autres barres n'ont pas de crochets (jonction par recouvrement).

##### e-2) Aciers horizontaux

Comme dans le cas des aciers verticaux, les aciers horizontaux doivent respecter certaines prescriptions présentées ci après :

Les armatures horizontales parallèles aux faces du mur doivent être disposées sur chacune des faces entre les armatures verticales et la paroi du coffrage et doivent être munie de crochets à ( $135^\circ$ ) ayant une longueur de  $10\Phi$ .

##### e-3) Règles générales

Les armatures transversales doivent respecter les dispositions suivantes [1]:

- a) L'espacement des barres verticales et horizontales doit être inférieur à la plus petite valeur de deux valeurs suivantes.

$$S \leq \min(1.5 e ; 30 \text{ cm})$$

e : épaisseur du voile

- b) Les deux nappes d'armatures doivent être reliées avec au moins quatre épingles au mètre carré. Dans chaque nappe, les barres horizontales doivent être disposées vers l'extérieure.

c) Le diamètre des barres verticales et horizontales des voiles (à l'exception des zone d'about) ne devrait pas dépasser  $\frac{1}{10}$  de la l'épaisseur du voile.

d) Les longueur de recouvrement doivent être égales à :

✓  $40\Phi$  pour les barres situées dans les zones ou le renversement du signe des efforts sont possibles.

✓  $20\Phi$  pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les combinaisons des charges possibles.

f- Calcul des voiles du 1<sup>er</sup> bloc :

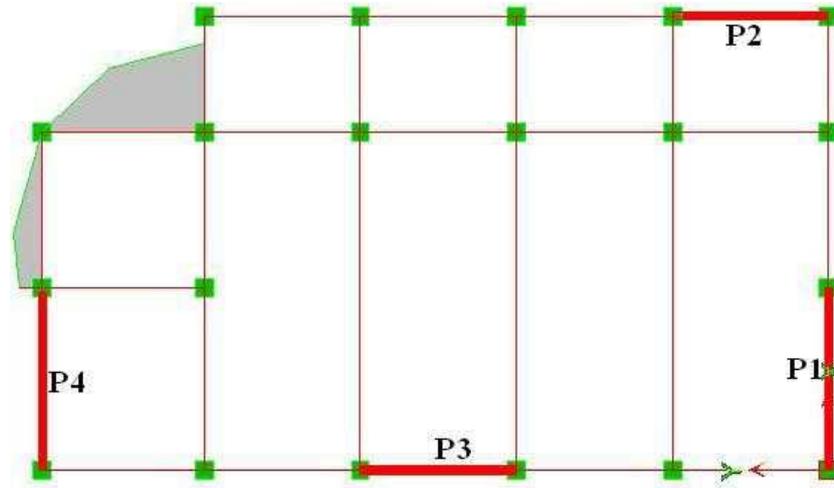


Figure II.6.3 : Voiles du 1<sup>er</sup> bloc.

1- Voile P1 et P4 :

- ✓ Caractéristiques géométriques du voile sont
  - Longueur :  $L = 4.7m$
  - Epaisseur :  $e = 0.2 m$
  - Hauteur d'étage :  $h_e = 3.5 m$
- ✓ Sollicitations appliquées pour la détermination du ferrailage du voile
  - $M = 2008.12 KN.m$
  - $N = 544.13 KN$
  - $T = 386.14 KN$

f-1) *Armatures verticales :*

Le calcul des aciers verticaux se fera pour une bande verticale de largeur  $d$  [2].

$$\text{Avec : } d \leq \min\left(\frac{h}{2}, \frac{2l'}{3}\right) \dots \dots \dots \text{(II - 6 - 12)}$$

$l'$  : La longueur de la zone comprimée.

$h$  : La hauteur entre nus de planchers du trumeau considéré.



f-2) **Détermination des contraintes :**

$$\begin{cases} \sigma_1 = N/\Omega + M \times V/I \\ \sigma_2 = N/\Omega - M \times V/I \end{cases} \dots \dots \dots (II - 6 - 13)$$

Avec :  $I$  : Moment d'inertie du voile

$\Omega$  : Section du voile

A.N :  $M = 2008.12 \text{ KN.m}$

$N = -544.13 \text{ KN}$

$I = 1.73 \text{ m}^4$

$\Omega = 0.94 \text{ m}^2$

$V = L/2 = 2.35 \text{ m}$

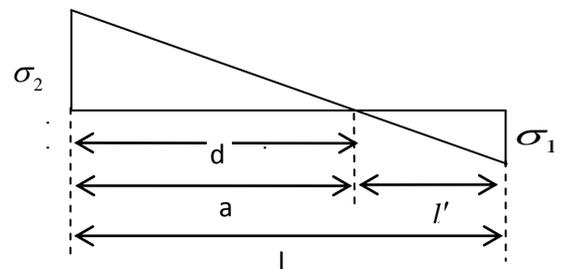
$$\begin{cases} \sigma_1 = 3.30 \text{ MPa} \\ \sigma_2 = -2.14 \text{ MPa} \end{cases}$$

f-3) **Détermination de la bande verticale  $d$  :**

$$\frac{\sigma_2}{a} = \frac{\sigma_1}{l-a} \Rightarrow a = \frac{l \times \sigma_2}{\sigma_2 + \sigma_1} = 1.84 \text{ m}$$

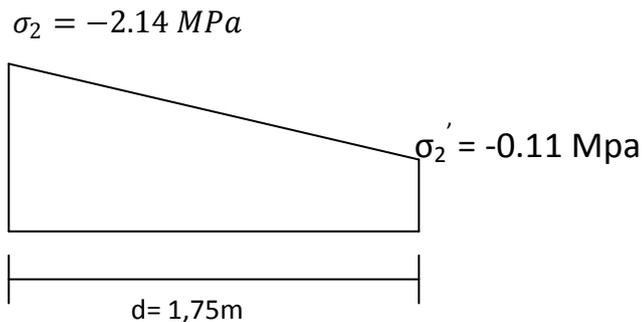
$$\Rightarrow l' = 4.7 - 1.84 = 2.85 \text{ m}$$

$$\Rightarrow d = \min\left(\frac{3.5}{2}, \frac{2 \times 2.85}{3}\right) = 1.75 \text{ m}$$



**Figure II.6.4.** Diagramme des contraintes

f-4) **Calcul des sollicitations de la bande :**



**Figure II.6.5 :** contraintes exercée sur la partie tendue

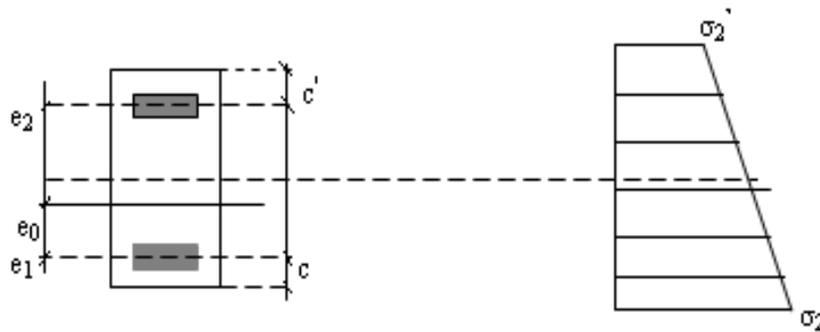


$$\begin{cases} \sigma'_1 = \sigma_2 = N_1/\Omega_1 + M_1 \times V_1/I_1 \\ \sigma'_2 = \sigma = N_1/\Omega_1 - M_1 \times V_1/I_1 \end{cases} \quad \text{Avec : } \begin{cases} V_1 = d/2 = 0.875 \text{ m} \\ \Omega_1 = 0.35 \text{ m}^2 \\ I_1 = 0.09 \text{ m}^4 \end{cases}$$

Donc les sollicitations dans la bande sont :

$$M_1 = -104.41 \text{ KN.m}$$

$$N_1 = -393.75 \text{ KN}$$



**Figure II.6.6 :** schéma descriptif pour le calcul de l'excentricité

$$e = M_1/N_1 = 0.26 < d/6 \text{ et } N \text{ effort de traction}$$

Donc on a une section entièrement comprimée

$$c = \overset{\cdot}{c} = 5 \text{ cm}$$

$$e_1 = d/2 - e_0 - c = 0,565 \text{ m}$$

$$e_2 = h/2 + e_0 - \overset{\cdot}{c} = 1,99 \text{ m}$$

$$\begin{cases} A_1 = \frac{N_1 \times e_2}{(e_1 + e_2)f_e} \\ A_2 = \frac{N_1 \times e_1}{(e_1 + e_2)f_e} \end{cases} \dots \dots \dots \text{(II - 6 - 14)}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} A_1 = 7.66 \text{ cm}^2 \\ A_2 = 2.18 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$A_s/ml/face = 2.81 \text{ cm}^2$$

**f-5) Armatures minimales de RPA 99:**

$$A_{RPA} = 0.2\% \times 20 \times 184 = 7.36 \text{ cm}^2$$

$$A_{RPA}/ml/face = 2.10 \text{ cm}^2$$

**f-6) Le pourcentage minimal :**

$$A_{Min} = 0.15\% \times 20 \times 470 = 14.1 \text{ cm}^2$$

$$A_{Min}/ml/face = 3 \text{ cm}^2$$

Diamètre choisit 4TH10



*f-7) espacement :*

En zone courante :  $\leq \min(1.5e, 30)$ .

$$S_t = 25 \text{ cm}$$

En zone d'about :  $= S_t/2$

$$S_{ta} = 10 \text{ cm}$$

*f-8) Armatures horizontales :*

Vérification au cisaillement [2]:

Il faut vérifier que

$$\tau_b \leq \bar{\tau}_b = 0.2 \times f_{c28} = 5 \text{ MPa} \quad \text{avec } f_{c28} = 25 \text{ MPa}$$

On a :

$$\tau_b = \frac{\bar{V}}{b_0 \times z} \dots \dots \dots (\text{II} - 6 - 15)$$

$$\text{avec } \begin{cases} z : \text{hauteur utile} = 0.9 \times h \\ b_0 : \text{épaisseur du voile} \\ \bar{V} = 1.4 \times T \end{cases}$$

$$\text{D'où : } \begin{cases} z = 0.9 \times 4.7 = 4.23 \text{ m} \\ b_0 = 20 \text{ cm} \end{cases}$$

$$\tau_b = 0.456 \leq \bar{\tau}_b$$

Donc les armatures horizontales ne sont pas nécessaires on prend le minimum du RPA.

$$A_{\min RPA} = 0.15\% \times b_0 \times h \quad \text{avec}$$

$$A_{\min RPA} = 14.1 \text{ cm}^2$$

$$A_{Min} / \text{ml} / \text{face} = 1.5 \text{ cm}^2$$

Armatures adopte 4TH8

L'espacement

On doit avoir [1]  $S_t \leq S_{t \text{ Max}}$

$$S_{t \text{ Max}} = \min(1,5 e ; 30 \text{ cm}) = 30 \text{ cm}$$

e : épaisseur du voile

$$\text{et } S_t = 25 \text{ cm} \quad \mathbf{C.V}$$

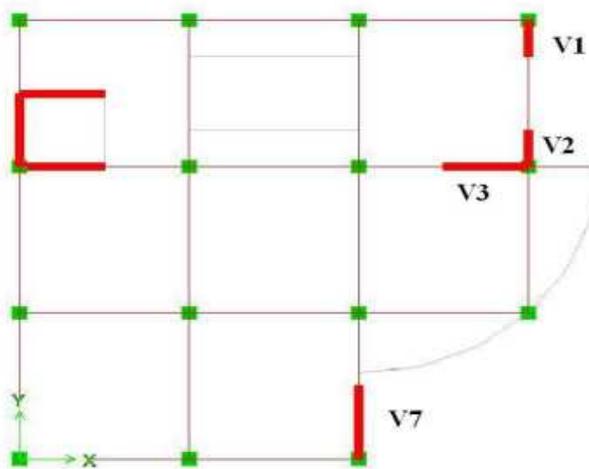
De même façon on calcule les voiles P2 et P3

	Voile P1 et P4	Voile P2 et P3
<b>I</b> (m <sup>4</sup> )	1.73	1.067
<b>Ω</b> (m <sup>2</sup> )	0.94	0.8
<b>N</b> (KN)	544.13	624.11
<b>Section RPA</b> (cm <sup>2</sup> )	2.81	2.92
<b>Section Min</b> (cm <sup>2</sup> )	3	1.5
<b>Ferrailage</b>	4HA10	4HA10
<b>Espacement</b> (cm)	25	25
<b>Armature transversal</b>	4HA8	4HA8
<b>Espacement</b> (cm)	25	25

**Tableau (II-6-10) :** tableau récapitulatif pour le Ferrailage des voiles du 1<sup>er</sup> bloc

Le ferrailage est donné en ( /ml/face ) et en cm<sup>2</sup>

**g- L'étude du 2ième bloc :**

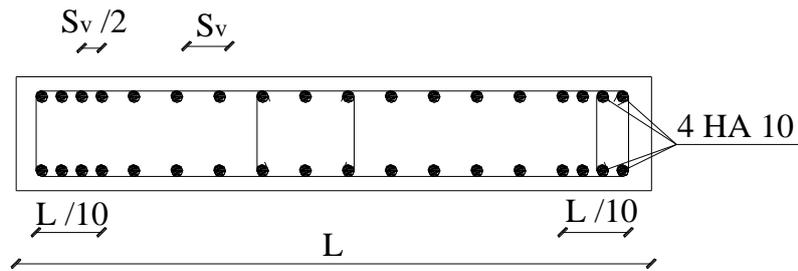


**Figure II.6.7 :** Voiles du 2<sup>ième</sup> bloc.

	Voile V1 et V2	Voile V7	Voile V3	Ascenseur
<b>I</b> (m <sup>4</sup> )	0.017	0.13	0.13	0.13
<b>Ω</b> (m <sup>2</sup> )	0.2	0.4	0.4	0.4
<b>N</b> (KN)	157.89	245.38	130.27	203.48
<b>Section RPA</b> (cm <sup>2</sup> )	2.54	2.58	2.81	2.92
<b>Section Min</b> (cm <sup>2</sup> )	1.5	1.5	3	1.5
<b>Ferrailage</b>	5TH8	5TH8	4TH10	4TH10
<b>Espacement</b> (cm)	20	25	25	25
<b>Armature transversal</b>	4TH8	4TH8	4TH8	4TH8
<b>Espacement</b> (cm)	25	25	25	25

**Tableau (II-6-10) :** tableau récapitulatif pour le Ferrailage des voiles du 2<sup>ième</sup> bloc

**h- Ferrailage des voiles :**



**Figure II.6.8 :** Schéma descriptif pour la disposition du ferrailage dans les voiles

**I-6-5 Tableaux récapitulatifs:**

**Poteaux.**

		Bloc 1 (45×45)	Bloc 2 (35×35)
Armatures longitudinale		4HA16+4HA20	8HA14
Armatures transversale		4HA8	4HA8
espacement	Zone nodale (cm)	10	10
	Zone courante (cm)	15	15

**Tableau (II-6-11):** tableau récapitulatif du ferrailage des poteaux

**Poutres.**

		Poutre (80×45)	Poutre (40×30)
Armatures longitudinale		10HA16	6HA12
Armatures transversale		4HA8	4HA8
espacement	Zone nodale (cm)	10	10
	Zone courante (cm)	20	20

**Tableau (II-6-12):** tableau récapitulatif du ferrailage des poutres.



## II-7 : Fondations

### II-7-1 Introduction

Les fondations sont des éléments qui sont directement en contact avec le sol, elles assurent ainsi la transmission des charges de la superstructure à ce dernier. Cette transmission peut être directe (cas des semelles reposant sur le sol ou cas des radiers) ou être assurée par l'intermédiaire d'autres organes (cas des semelles sur pieux).

Le choix du type de fondation est en fonction de plusieurs paramètres qui sont :

- Le type et l'importance de la structure.
- Les caractéristiques du sol.
- La facilité de réalisation

### II-7-2 Calcul Des Fondations

#### i. Combinaisons de charges.

Pour le dimensionnement et le ferrailage des différents types de fondations citées au part avant, on prend les sollicitations les plus défavorables pour les deux états limites (ultime, service) et on doit vérifier la capacité portant pour [1].

$$G + Q \mp E$$

$$0.8G \mp E$$

#### ii. Choix du type de fondations.

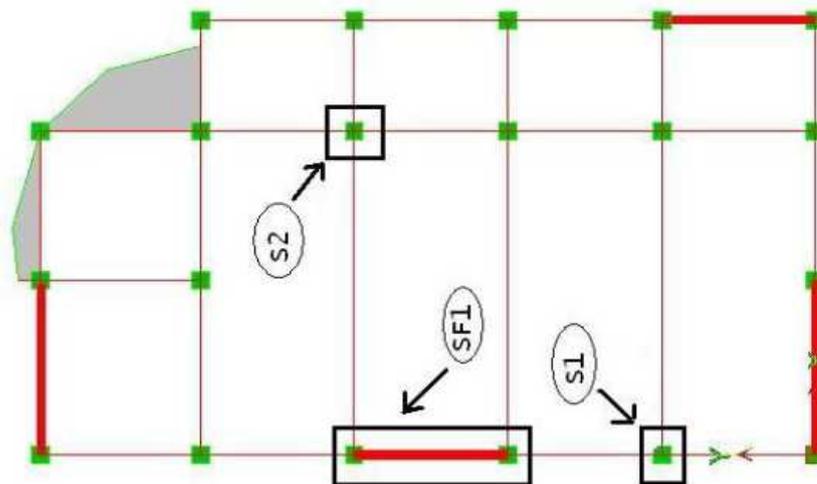
Le sol d'assise a une bonne capacité portante à **1.8m** de profondeur, on va donc choisir des fondations superficielles, sachant que notre structure est en voiles porteurs on aura donc les possibilités suivantes :

- ✓ Semelle filantes.
- ✓ Radier général.

Pour choisir le type de fondation appropriée on doit vérifier la surface totale nécessaire pour la semelle, on doit donc calculer l'effort transmis au sol.



**II-7-3 Etude des fondations du 1<sup>er</sup> bloc**



**Figure II-7-1** semelle étudié dans le 1<sup>er</sup> bloc

Combinaison	N [kN]	M <sub>x</sub> [kN.m]	M <sub>y</sub> [kN.m]
ELU	18107.04	442.951	377.69
ELS	13165.01	441.63	361.603

**Tableau (II-7-1) :** sollicitation total a la base du 1<sup>er</sup> bloc

La surface totale nécessaire pour la semelle est

$$S_n = \frac{N}{\sigma_{sol}} = \frac{18107.04}{2 \times 200} = 90.53 \text{ m}^2 \dots \dots \dots (II - 7 - 1).$$

La surface totale du bloc 1 est :  $S_{b1} = 20.5 \times 12 = 246 \text{ m}^2$

$$\frac{S_n}{S_{b1}} = \frac{90.53}{246} = 0.368 < 0.5 \dots \dots \dots (II - 7 - 2)$$

Le types de fondations choisi est :

- ✓ Semelles isolées sous poteau
- ✓ Semelles filantes sous voiles

**I. Calcul des semelles isolées :**

**I-1 Semelle de rive :**

On choisit la semelle la plus sollicitée et on généralise les résultats

**Données :**

N : Effort normal max

$\sigma_{sol}$  ☒ Contrainte admissible du sol



$a$  : côté du Poteau

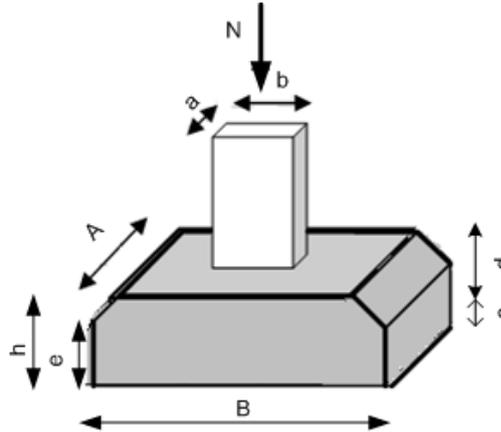


Figure II-7-2 semelle isolée sous poteau

$c$  : l'enrobage de la semelle =5cm

$$\sigma = \frac{N}{A^2} \leq \sigma_{sol} \quad \rightarrow \quad A \geq \sqrt{\frac{N}{\sigma_{sol}}} \dots \dots \dots (II - 7 - 3)$$

Avec

$A$  : coté de la semelle carrée

$$h \geq \frac{A - a}{4} \dots \dots \dots (II - 7 - 4)$$

$$e \geq \frac{h}{2} \text{ à } \frac{h}{3} \dots \dots \dots (II - 7 - 5)$$

**a. Sollicitation de calcul**

	$N$ (KN)	$M$ (KN/m)
ELU	1215.89	15.642
ELS	883.91	11.22

Tableau (II-7-2) : sollicitation transmit au semelle s1

**b. Prédimensionnement :**

Semelle	$N$ (KN)	$a$ (m)	$\sigma_{sol}$ (KN/m <sup>2</sup> )	$A_{min}$ (m)	$A_{adop}$ (m)	$h$ (m)	$e$ (m)
S1	1215.89	0.45	200	2.46	2.5	0.5	0.25

Tableau (II-7-3) Prédimensionnement de la semelle isolée S1



c. Vérification des contraintes:

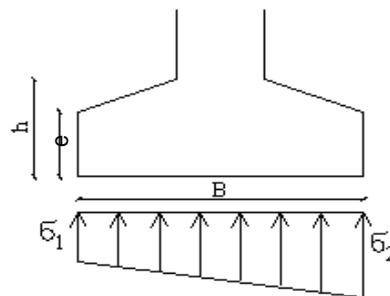


Figure II-7-3 diagramme des contraintes

La contrainte admissible du sol égale  $\sigma_{sol} = 200[\text{KN}/\text{m}^2]$

L'excentricité de la résultante des efforts est:

$$e_0 = \frac{M}{N} \dots \dots \dots (II - 7 - 6)$$

$$e_0 = \frac{15.642}{1215.89} = 0.012 \text{ m}$$

$$e_0 \leq \frac{A}{6} = 0.41\text{m}$$

Dans ce cas, la contrainte au sol est totalement en compression et son diagramme est un diagramme trapézoïdal

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{max} = \frac{N}{A^2} \left( 1 + \frac{6e_0}{A} \right) \\ \text{et} \\ \sigma_{min} = \frac{N}{A^2} \left( 1 - \frac{6e_0}{A} \right) \end{array} \right. \dots \dots \dots (II - 7 - 7)$$

$$\sigma_{moy} = \frac{\sigma_{min} + \sigma_{max}}{2} \dots \dots \dots (II - 7 - 8)$$

A.N:  $\sigma_{max} = 200.14\text{KN}/\text{m}^2$  ;  $\sigma_{min} = 188.94\text{KN}/\text{m}^2$  ;  $\sigma_{moy} = 194.54\text{KN}/\text{m}^2$

Et on doit vérifier que :

$$\sigma_{moy} \leq 1.33 \times \sigma_{sol} \dots \dots \dots (II - 7 - 9)$$

Semelle	N [KN]	M [KN.m]	A [m]	$e_0$ [m]	A/6 [m]	Diag	$\sigma_M$ [KN/m <sup>2</sup> ]	1.33 $\sigma_{sol}$ [KN/m <sup>2</sup> ]	Observ
S1	1215.89	15.642	2.5	0.012	0.41	Trap	194.54	266	vérifié

Tableau (II-7-4) Vérification des contraintes



**d. Vérification de la capacité portante :**

Il faut vérifier

$$\sigma_m = \frac{N}{A^2} \left(1 + \frac{3e_0}{A}\right) \leq 1.5\sigma_{sol} \dots \dots \dots (II - 7 - 10)$$

Combinaisons	N (KN)	M (KN/m)	e <sub>0</sub> (m)	σ <sub>m</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	1.5σ <sub>sol</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	Vérification
G + Q + E	903.64	6.81	0.007	145.8	300	c.v
G + Q - E	891.97	8.612	0.009	144.36	300	c.v
0.8G + E	606.31	1.181	0.002	97.23	300	c.v
0.8G - E	578.48	8.547	0.015	94.97	300	c.v

**Tableau (II-7-5) :** vérification de la capacité portante pour la semelle S1

**e. Ferrailage :**

On a

$$e_0 = \frac{15.642}{1215.89} = 0.012 \text{ m} \leq \frac{A}{24} = 0.104\text{m}$$

On utilise la méthode des bielles en remplaçant la charge N par une charge fictive N<sub>1</sub>

$$N_1 = N \left(1 + \frac{3e_0}{A}\right) \dots \dots \dots (II - 7 - 11)$$

$$N_1 = 1233.4 \text{ KN}$$

$$A_s = \frac{N_1(A - a)}{8 \times d \times \sigma_s} \dots \dots \dots (II - 7 - 12)$$

$$A_s = 20.18 \text{ cm}^2$$

Le ferrailage adopté : 10HA16

**f. Vérification à l'E.L.S:**

La fissuration est considérée préjudiciable.

$$\bar{\sigma}_s = 202 \text{ MPa}$$

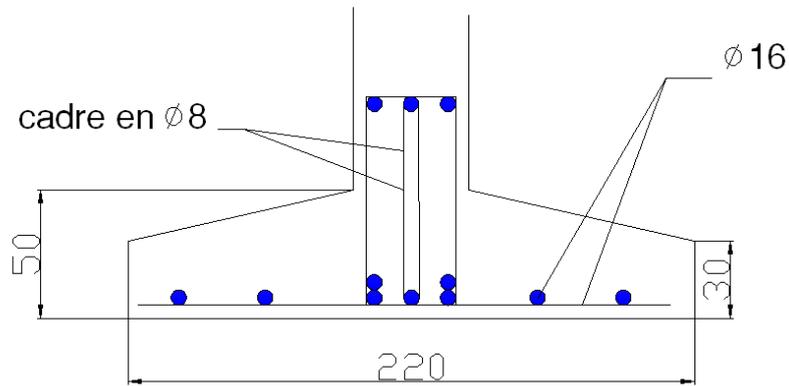
$$A_{ser} = \frac{N_{ser}(A - a)}{8 \times d \times \bar{\sigma}_s} \dots \dots \dots (II - 7 - 13)$$

$$A_{ser} = 24.91 \text{ cm}^2$$

Donc on adoptera le ferrailage de l'E.L.S, A<sub>ser</sub> = 24.91 cm<sup>2</sup>



Le ferrailage adopté : **12HA16** avec un espacement de **20cm**



**Figure II-7-4** Ferrailage de S1

**g. Vérification du Poinçonnement:**

Si la contrainte du sol est inférieure ou égale à 2 bars on doit vérifier que :

$$h - c \geq 1.44 \sqrt{\frac{N}{\sigma_b}} \dots \dots \dots (II - 7 - 14)$$

Avec :

$N$  : Effort normal.

$h$  : Hauteur de la semelle.

$d$  : Hauteur utile de la semelle.

$\sigma_b$  : Résistance admissible à la compression du béton.

A.N :

$$0.5 - 0.05 \geq 1.44 \sqrt{\frac{1215.89 \times 10^{-3}}{14.2}} \Rightarrow 0.45 \geq 0.42 \quad \text{verifié}$$

**I-2 Semelle centrale :**

**a. Sollicitation de calcul**

	$N$ (KN)	$M$ (KN/m)
<i>ELU</i>	1506.38	10.68
<i>ELS</i>	1091.99	7.69

**Tableau (II-7-6) :** sollicitation transmise à la semelle s2



**b. Dimension de la semelle :**

Semelle	N (KN)	a (m)	$\sigma_{sol}$ (KN/m <sup>2</sup> )	$A_{min}$ (m)	$A_{adop}$ (m)	h(m)	e(m)
S2	1506.38	0.45	200	2.78	2.8	0.65	0.3

**Tableau (II-7-7)** dimensionnement de la semelle isolée S2

**c. Vérification des contraintes:**

Semelle	N [KN]	M [KN.m]	A [m]	$e_0$ [m]	A/6 [m]	Diag	$\sigma_M$ [KN/m <sup>2</sup> ]	$1.33 \sigma_{sol}$ [KN/m <sup>2</sup> ]	Observ
S2	1506.38	10.68	2.8	0.007	0.46	Trap	194.2	266	vérifiée

**Tableau (II-7-8) :** Vérification des contraintes de la semelle isolée S2

**d. Vérification de la capacité portante :**

Combinaisons	N (KN)	M (KN/m)	$e_0$ (m)	$\sigma_m$ (KN/m <sup>2</sup> )	$1.5\sigma_{sol}$ (KN/m <sup>2</sup> )	Vérification
$G + Q + E$	1093.88	12.575	0.007	141.3	300	<b>c.v</b>
$G + Q - E$	1086.68	7.187	0.009	140.51	300	<b>c.v</b>
$0.8G + E$	707.24	7.958	0.002	91.29	300	<b>c.v</b>
$0.8G - E$	696.61	7.354	0.015	90.17	300	<b>c.v</b>

**Tableau (II-7-9) :** Vérification de la capacité portante de la semelle isolée S2

**e. Ferrailage :**

$$A_s = 28.34 \text{ cm}^2$$

Le ferrailage adopté : **15TH16** avec un espacement de **20 cm**

**f. Vérification à l'E.L.S:**

$$A_{ser} = 26.44 \text{ cm}^2 \leq A_{su}$$

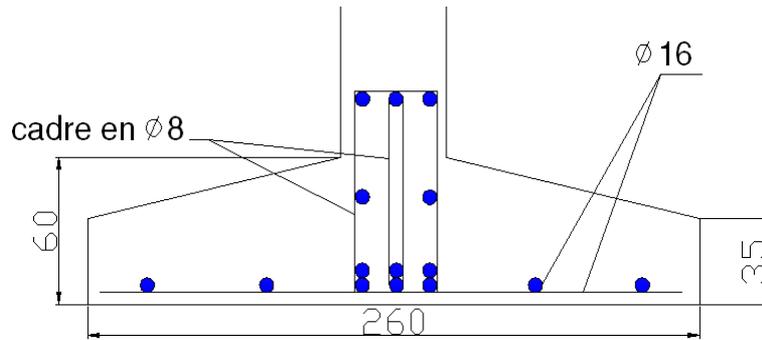


Figure II-7-5 Ferrailage de S2

**g. Vérification du Poinçonnement:**

D' après l'équation (II – 7 – 14)

$$h - c \geq 1.44 \sqrt{\frac{N}{\sigma_b}} \Rightarrow 0.65 - 0.05 \geq 1.44 \sqrt{\frac{1506.38 \times 10^{-3}}{14.2}} \Rightarrow 0.6 \geq 0.469 \text{ verifier}$$

**II. Calcul des semelles filantes :**

**a. Sollicitation de calcul**

	ELU		ELS	
	N (KN)	M (KN.m)	N (KN)	M (KN.m)
Poteau 11	1474.62	20.16	1103.61	14.034
Poteau 12	1514.28	19.556	1074.08	14.47

Tableau (II-7-10) : sollicitation transmise à la semelle sf1

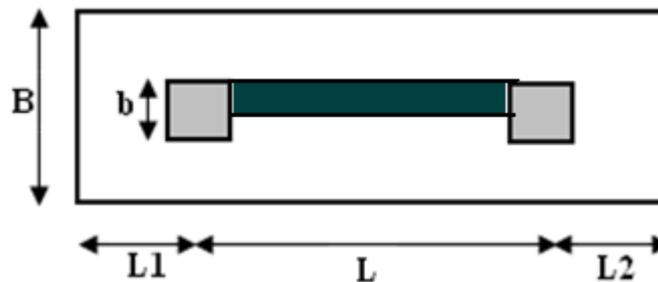


Figure II-7-6 semelle filante sous 2 poteaux et 1 mur

**b. Dimensionnement [6]:**

$$B \geq \frac{\sum N_i}{\sigma_{sol} \times (L + L_1 + L_2)} \dots \dots \dots (II - 7 - 15)$$



On a :  $L = 4m$

$$L_1 = L_2 = 0.6m$$

$$B \geq 2.37 m$$

On prend  $B = 2.4m$  et  $h = 0.55 m$

**c. Vérification de la capacité portante [6]:**

Il faut vérifier

$$\sigma_m = \frac{N}{B \times (L + L_1 + L_2)} \left(1 + \frac{3e_0}{B}\right) \leq 1.5\sigma_{sol} \dots \dots \dots (II - 7 - 16)$$

Combinaisons	$\sum N$ (KN)	$\sum M$ (KN/m)	$e_0$ (m)	$\sigma_m$ (KN/m <sup>2</sup> )	$1.5\sigma_{sol}$ (KN/m <sup>2</sup> )	Vérification
$G + Q + E$	3594.61	161.64	0.04	289.78	300	c.v
$G + Q - E$	2042.76	158.289	0.07	170.33	300	c.v
$0.8G + E$	2897.63	161.342	0.05	236.27	300	c.v
$0.8G - E$	1345.77	158.389	0.11	117.2	300	c.v

**Tableau (II-7-11) : Vérification de la capacité portante de la semelle sf1**

**d. Ferrailage [6]:**

$$\begin{cases} e_0 \leq \frac{B}{6} \Rightarrow 0.013 \leq 0.41 \dots \dots \dots C.V \\ e_0 \leq \frac{B}{18} \Rightarrow 0.013 \leq 0.13 \dots \dots \dots C.V \end{cases} \Rightarrow \text{Méthode des bielles applicable}$$

$$N_1 = \frac{\sum N_i}{(L + L_1 + L_2)} \left(1 + \frac{3e_0}{B}\right) \times 1 = 583.77 KN$$

$$A_s = \frac{N_1(B - b)}{8 \times d \times \sigma_s} = 8.59 cm^2$$

**e. Vérification à l'E.L.S [6]:**

La fissuration est considérée préjudiciable.

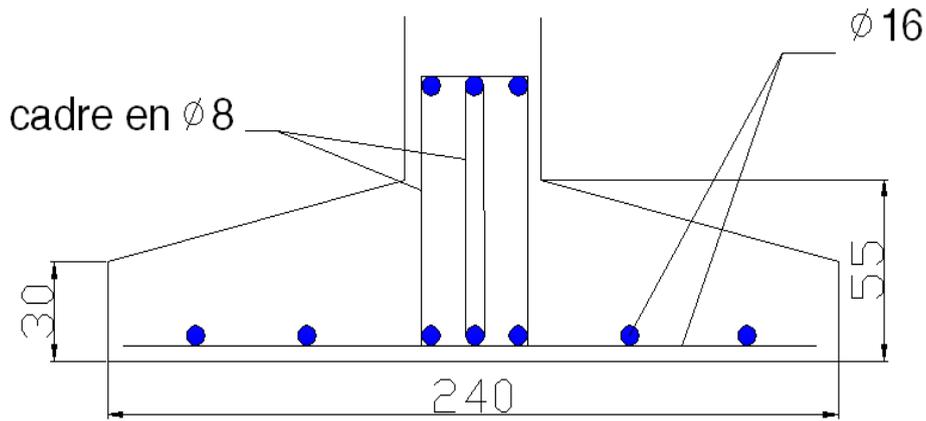
$$\bar{\sigma}_s = 202 MPa$$

$$A_{ser} = \frac{\sum N_{ser} (B - b)}{(L + L_1 + L_2) \times 8 \times d \times \bar{\sigma}_s} \dots \dots \dots (II - 7 - 17)$$

$$A_{ser} = 10.63 cm^2$$

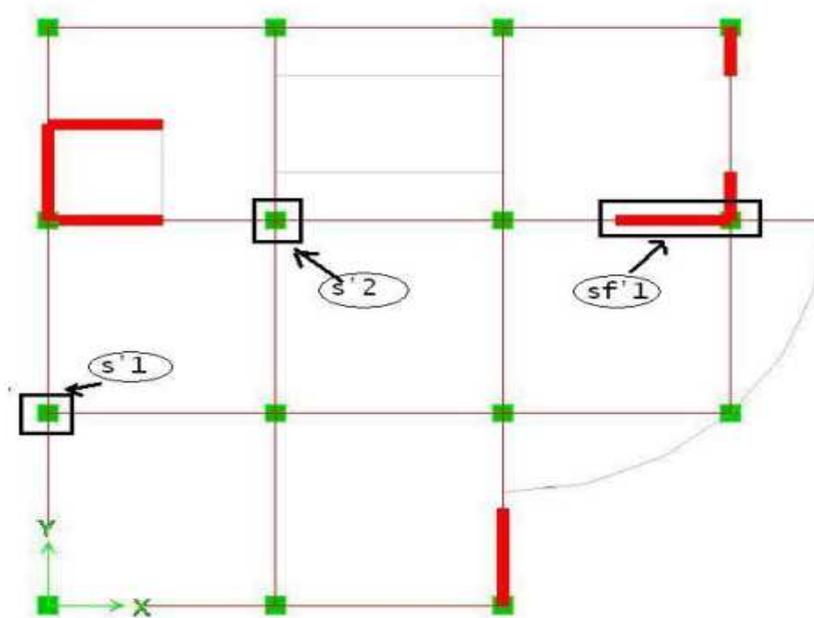
Donc on adoptera le ferrailage de l'E.L.S,  $A_{ser} = 10.63 cm^2$

Le ferrailage adopté : **10HA12** avec un espacement de **25cm**



**Figure II-7-7** Ferrailage de sf1

**II-7-4 Etude des fondations du 2<sup>ème</sup> bloc**



**Figure II-7-8** semelle étudié dans le 2<sup>ème</sup> bloc

- I. Semelle isolée**
- I-1 Semelle de rive:**
  - a. Sollicitation de calcul**

	<i>N (KN)</i>	<i>M (KN/m)</i>
<i>ELU</i>	286.27	3.176
<i>ELS</i>	225.91	3.255

**Tableau (II-7-12) :** sollicitation transmise à la semelle s'1



**b. Dimension de la semelle :**

Semelle	N (KN)	a (m)	$\sigma_{sol}$ (KN/m <sup>2</sup> )	$A_{min}$ (m)	$A_{adop}$ (m)	h(m)	e(m)
S'1	286.27	0.35	200	1.19	1.2	0.35	0.2

**Tableau (II-7-13) :** Prédimensionnement de la semelle s'1

**c. Vérification des contraintes:**

Semelle	N [KN]	M [KN.m]	A [m]	$e_0$ [m]	A/6 [m]	Diag	$\sigma_M$ [KN/m <sup>2</sup> ]	$1.33 \sigma_{sol}$ [KN/m <sup>2</sup> ]	Observ
S'1	286.27	3.176	1.2	0.01	0.2	Trap	204.35	266	vérifiée

**Tableau (II-7-14) :** Vérification des contraintes de la semelle s'1

**d. Vérification de la capacité portante :**

Combinaisons	N (KN)	M (KN/m)	$e_0$ (m)	$\sigma_m$ (KN/m <sup>2</sup> )	$1.5\sigma_{sol}$ (KN/m <sup>2</sup> )	Vérification
G + Q + E	147.69	3.608	0.021	108.82	300	c.v
G + Q - E	128.26	4.125	0.032	96.23	300	c.v
0.8G + E	236.79	6.607	0.027	175.76	300	c.v
0.8G - E	216.19	4.277	0.019	157.55	300	c.v

**Tableau (II-7-15) :** Vérification de la capacité portante de la semelle s'1

**e. Ferrailage :**

$$A_s = 2.57 \text{ cm}^2$$

**f. Vérification à l'E.L.S:**

$$A_{ser} = \frac{N_{ser}(A - a)}{8 \times d \times \bar{\sigma}_s} = 4.75 \text{ cm}^2$$

Le ferrailage adopté : **6HA10** avec un espacement de **20 cm**

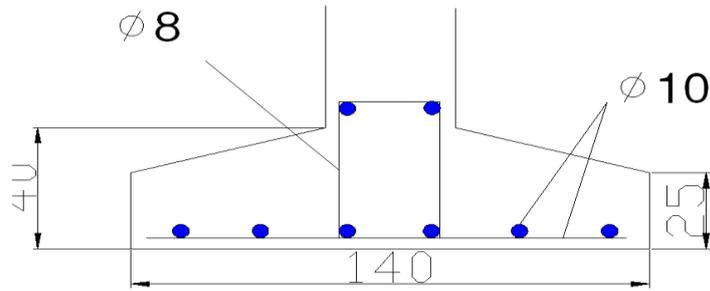


Figure II-7-9 Ferrailage de s'1

**I-2 Semelle centrale :**

**a. Sollicitation de calcul**

	$N$ (KN)	$M$ (KN/m)
ELU	462.6	3.89
ELS	367.97	3.059

Tableau (II-7-16) : Sollicitation de calcul de la semelle s'2

**a. Dimension de la semelle :**

Semelle	$N$ (KN)	$a$ (m)	$\sigma_{sol}$ (KN/m <sup>2</sup> )	$A_{min}$ (m)	$A_{adop}$ (m)	$h$ (m)	$e$ (m)
S'2	462.6	0.35	200	1.32	1.4	0.4	0.25

Tableau (II-7-17) : Dimension de la semelle s'2

**b. Vérification des contraintes:**

Semelle	$N$ [KN]	$M$ [KN.m]	$A$ [m]	$e_0$ [m]	$A/6$ [m]	Diag	$\sigma_M$ [KN/m <sup>2</sup> ]	$1.33 \sigma_{sol}$ [KN/m <sup>2</sup> ]	Observ
S'2	462.6	3.89	1.2	0.008	0.23	Trap	243.33	266	vérifiée

Tableau (II-7-18) : Vérification des contraintes de la semelle s'2

**c. Vérification de la capacité portante :**

Combinaisons	$N$ (KN)	$M$ (KN/m)	$e_0$ (m)	$\sigma_m$ (KN/m <sup>2</sup> )	$1.5\sigma_{sol}$ (KN/m <sup>2</sup> )	Vérification
$G + Q + E$	246.65	4.514	0.021	130.78	300	c.v
$G + Q - E$	185.97	5.172	0.033	100.54	300	c.v



0.8G + E	434.98	4.032	0.01	226.34	300	c.v
0.8G - E	337.63	8.814	0.03	181.9	300	c.v

**Tableau (II-7-19) :** Vérification de la capacité portante de la semelle s'2

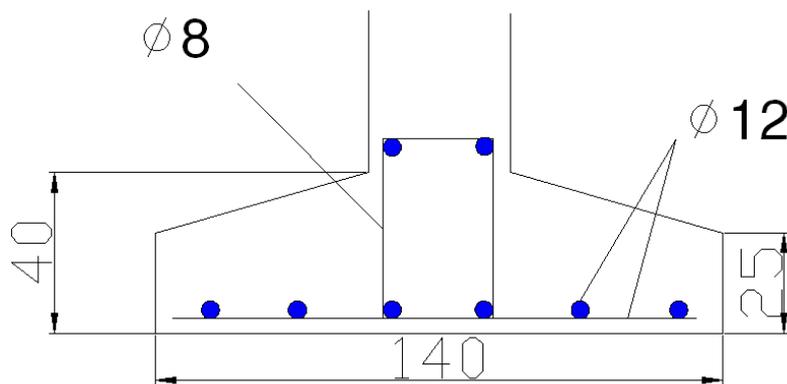
**d. Ferrailage :**

$$A_s = 5.07 \text{ cm}^2$$

**e. Vérification à l'E.L.S:**

$$A_{ser} = \frac{N_{ser}(A - a)}{8 \times d \times \bar{\sigma}_s} = 7.97 \text{ cm}^2$$

Le ferrailage adopté : **8TH12** avec un espacement de **20 cm**



**Figure II-7-10** Ferrailage de s'2

**II. Calcul des semelles filantes :( sf'1)**

**a. Sollicitation de calcul**

	ELU		ELS	
	N (KN)	M (KN.m)	N (KN)	M (KN.m)
Poteau 22	580.94	0.39	404.36	0.311
Poteau 124	273.81	0.921	214.66	0.593

**Tableau (II-7-20) :** Sollicitation de calcul de la semelle sf'1

$$B \geq \frac{\sum N_i}{\sigma_{sol} \times (L + L_1 + L_2)} \dots \dots \dots (II - 7 - 18)$$

On :  $L = 2m$



$$L1 = L2 = 0.4m$$

$$B \geq 1.48m$$

On prend  $B = 1.5m$  et  $h = 0.4 m$

**a. Vérification de la capacité portante :**

Il faut vérifier

$$\sigma_m = \frac{\sum N_i}{B \times (L + L_1 + L_2)} \left(1 + \frac{3e_0}{B}\right) \leq 1.5\sigma_{sol}$$

Combinaisons	$\sum N$ (KN)	$\sum M$ (KN/m)	$e_0$ (m)	$\sigma_m$ (KN/m <sup>2</sup> )	$1.5\sigma_{sol}$ (KN/m <sup>2</sup> )	Vérification
$G + Q + E$	567.2	46.02	0.08	156.65	300	c.v
$G + Q - E$	523.7	38.65	0.07	143.13	300	c.v
$0.8G + E$	1186.52	47.53	0.04	258.63	300	c.v
$0.8G - E$	941.19	17.63	0.02	239.28	300	c.v

**Tableau (II-7-21) :** Vérification de la capacité portante de la semelle sf'1

**b. Ferrailage :**

$$\left\{ \begin{array}{l} e_0 = \frac{\sum N_i}{\sum M_i} \leq \frac{B}{6} \Rightarrow 0.015 \leq 0.25 \dots \dots \dots C.V \\ e_0 \leq \frac{B}{18} \Rightarrow 0.015 \leq 0.083 \dots \dots \dots C.V \end{array} \right. \Rightarrow \text{Méthode des bielles applicable}$$

$$N_1 = \frac{\sum N_i}{(L + L_1 + L_2)} \left(1 + \frac{3e_0}{B}\right) \times 1 = 314.47 \text{ KN}$$

$$A_s = \frac{N_1(B - b)}{8 \times d \times \sigma_s} = 4.32 \text{ cm}^2$$

**c. Vérification à l'E.L.S:**

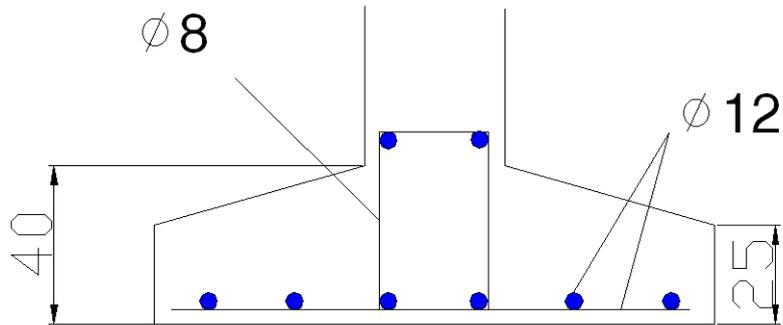
La fissuration est considérée préjudiciable.

$$\bar{\sigma}_s = 202 \text{ MPa}$$

$$A_{ser} = \frac{\sum N_{ser} (B - b)}{(L + L_1 + L_2) \times 8 \times d \times \bar{\sigma}_s} = 5.24 \text{ cm}^2$$

Donc on adoptera le ferrailage de l'E.L.S,  $A_{ser} = 5.24 \text{ cm}^2$

Le ferrailage adopté : **8HA10** avec un espacement de **25cm**



**Figure II-7-11** Ferrailage de sf 1

**II-7-5 Tableau récapitulatif :**

Sur le tableau suivant nous récapitulons les résultats du ferrailage des semelles des 2 blocs :

		Bloc 1		Bloc 2	
		Dimension( $m^2$ )	ferrailage	Dimension( $m^2$ )	ferrailage
Semelle isolée	De rive	2.5 × 2.5	12 HA16	1.2 × 1.2	6 HA10
	centrale	2.8 × 2.8	15HA16	1.4 × 1.4	8HA12
Semelle filante		2.4 × 1ml	10HA12	1.5 × 1ml	8HA10

**Tableau (II-7-22) :** récapitulons les résultats du ferrailage des semelles des 2 blocs.

*Chapitre III :*

*Etude thermique et  
comparaison des  
variantes de murs*



### III.1. Introduction.

L'augmentation des prix de l'énergie depuis 1985 a nécessité de rationaliser la consommation de cette dernière dans l'habitat, et ceci fait appel à une sérieuse intervention pour dire stop au gaspillage d'énergie, on fait appliquer des différentes méthodes de calcul, certaines concernent le calcul des pertes de combustible utilisé pour le chauffage des constructions, d'autre pour le calcul des déperditions calorifiques à travers les parois (comme dans notre cas) par l'application de la réglementation thermique (D.T.R.C.3-2).

### III.2. Objectifs de l'isolation thermique [12].

Ils s'expriment principalement à travers :

- Le confort des occupants en toute saison, c'est -à-dire une ambiance adaptée aux usages prévues dans le bâtiment et permettant de satisfaire le confort d'hiver comme d'été.
- L'hygiène et la santé des occupants (par rapport aux besoins en oxygène, à l'élimination des odeurs, fumées et gaz nocifs divers)
- La pérennité du bâtiment et des équipements (par rapport aux problèmes de condensation, de mise hors gel,...)
- L'économie liée aux consommations énergétiques (le poste <<chauffage>>représente en moyenne 44% dans les bâtiments autre que d'habitation)
- La préservation de l'environnement, par rapport à l'utilisation de ressources non renouvelables et aux émissions de polluants dans l'atmosphère.

### III.3. Notions élémentaires appliquées au bâtiment [12].

Les éléments à considérer pour agir sur les paramètres du confort hygrothermique sont principalement :

- **Les conditions climatiques**, à travers :
  - L'ensoleillement (diagramme solaire, durée moyenne d'ensoleillement,...),
  - L'hygrométrie (et sa variation mensuelle)
  - La température de l'air (et ses variations quotidiennes et mensuelles),
  - L'orientation et la fréquence des vents dominants,
  - Les degrés-jours (somme des écarts positifs entre une température  $T_0$  conventionnelle, et la température  $T_0$  extérieure moyenne journalière)
- **Les dispositions constructives**, à travers l'orientation, les masques, les matériaux, les isolants, la volumétrie.
- **Les équipements techniques** : système de production et de distribution de chaleur et de froid, la régulation, le système de ventilation.
- **Les apports internes**, chaleur produite par les occupants et par les équipements divers.

#### Remarque :

- Les équipements présents dans certains bureaux peuvent apporter jusqu'à 40% des besoins thermiques d'hiver, et introduisent des besoins de rafraîchissement en été.
- Ordre de grandeur de chaleur produite par un ordinateur : 200 W.



### III.4. L'isolation thermique et le développement durable [12].

La définition des exigences de confort hygrothermique et la recherche de dispositions techniques adaptées ne doivent pas perdre de vue la dimension de développement durable, en veillant à :

- Réduire au maximum le recours à des systèmes actifs (c'est-à-dire nécessitent un apport d'énergie),
- Choisir des équipements économes,
- Optimiser les puissances installées,
- Privilégier les ressources locales, dont les énergies renouvelables.
- Considérer dans une analyse multicritère l'impact global écologique pour le choix des produits et systèmes.

Parallèlement, pour assurer une qualité d'air satisfaisante aux occupants, conserver le bâti et permettre le fonctionnement des appareils à combustion en toute sécurité, les locaux doivent être ventilés suivant le principe du <<balayage>>, consistant à introduire de l'air neuf (air provenant de l'extérieur) dans les locaux les moins pollués et à faire circuler ce flux d'air jusqu'aux locaux les plus pollués, ou l'air vicié est extrait vers l'extérieur.

### III.5. L'équilibre thermique d'un local.

Chauffer un local c'est lui fournir une quantité de chaleur qui compense ses pertes vers l'extérieur de manière à amener sa température à un niveau déterminé.

Les pertes du local se produisent à travers les parois et par l'air qui s'échappe par les ouvertures ou leurs interstices. Elles sont d'autant plus importantes que l'écart est élevé entre les températures internes et externes. Elle dépend aussi de l'étanchéité du local à ces déperditions qu'on appelle l'isolation.

### III.6. Généralités et définitions des lois d'échanges thermiques.

L'énergie thermique a la propriété de se déplacer dans l'espace. Lorsque le trajet de ce déplacement traverse une surface déterminée on dit qu'il y a flux de chaleur à travers cette surface.

Le transport de la chaleur peut s'effectuer de proche en proche dans un matériau solide sans que les particules de celui-ci soient elles même déplacées. Il peut aussi se produire d'un corps à un autre sans aucun contact ni support matériel. Enfin, il peut accompagner le déplacement des particules d'un fluide qui transportent avec elles l'énergie qu'elles ont reçue.

Ces trois modes de transmission de l'énergie correspondent à trois phénomènes physiques parfaitement distincts qu'on appelle la conduction, le rayonnement et la convection.

#### a) Par rayonnement.

Tous les corps solides et liquides émettent, par leur surface de l'énergie sous forme d'ondes électromagnétiques. Si cette énergie rencontre un corps absorbant ses longueurs d'ondes, elle se transforme en chaleur.



**b) Par convection.**

Ce mode d'échange thermique est propre aux fluides, les molécules directement au contact d'une surface solide absorbent ou cèdent de la chaleur suivant les températures respectives de la surface et des fluides.

**c) Par conduction.**

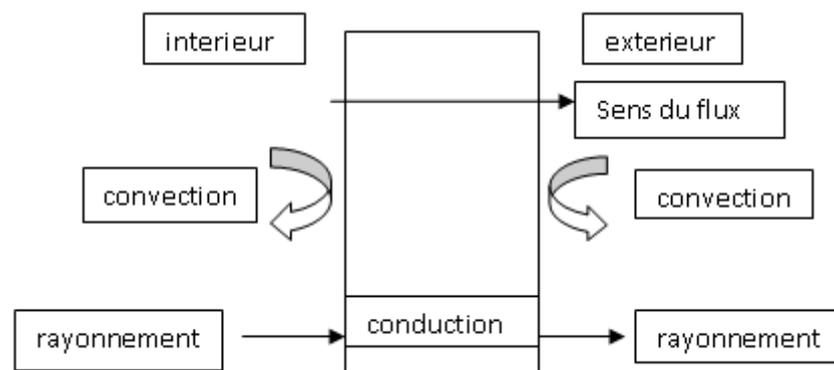
La conduction traduit l'échange de chaleur s'effectuent par propagation à l'intérieur d'un solide.

**III.6.1. Echange de chaleur entre deux ambiances séparées par une paroi.**

Le phénomène de l'échange de chaleur entre deux ambiances (extérieure et intérieure) de température différente ( $T_i > T_e$ ), séparées par une paroi, s'effectue par la façon suivante :

La chaleur issue du milieu intérieur est transmise par rayonnement et convection. Elle traverse la paroi par conduction, puis elle est restituée au milieu extérieur par rayonnement et convection.

A l'intérieur de la paroi la température n'est pas uniforme.



**Figure (III-1) : L'échange de la chaleur**

**Flux de chaleur.**

Le flux de chaleur (symbole  $\Phi$ ) est la quantité de chaleur ( $Q$ ) échangée par unité de temps ( $t$ ) :

$$\Phi = Q / t \quad [W] \dots \dots \dots (III - 1)$$

Il exprime une énergie par unité de temps, c'est-à-dire une puissance, et se mesure en watts.

Il est commode, pour le calcul des déperditions de chaleur dans le bâtiment, de rapporter le flux à unité de surface  $A$ . Ce rapport s'appelle densité de flux (symbole  $\varphi$ ) :

$$\varphi = \Phi / A \quad [W/m^2] \dots \dots \dots (III - 2)$$

Elle se mesure en watts par mètre carré :  $[W/m^2]$



### III.6.2. Coefficient de conductivité.

La conductivité thermique d'un corps (symbole  $\lambda$ ) est, par définition, la densité de flux le traversant pour une différence de  $1^\circ\text{C}$  entre les deux faces séparés par un mètre d'épaisseur.

Elle s'exprime en :  $[W/m^2 \cdot ^\circ\text{C}]$

### III.6.3. Résistance thermique.

Dans les calculs à effectuer en isolation thermique, en à besoin de connaître la résistance d'un corps d'épaisseur donné au flux de chaleur. Cette résistance thermique, notée «  $R$  » est proportionnelle à sa conductivité :

$$R = e/\lambda \quad m^2 \cdot ^\circ\text{C}/W \dots \dots \dots (III - 3)$$

Avec :  $e$  (épaisseur du matériau) est exprimée en mètre.

### III.6.4. Coefficient de transmission surfacique $K$ .

Dans le cas d'un mur séparant deux ambiances internes le coefficient  $K$  est donné par la formule :

$$\frac{1}{K} = \sum R + \frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i} \quad m^2 \cdot ^\circ\text{C}/W \dots \dots \dots (III - 4)$$

Où :

- $\sum R$  (en  $m^2 \cdot ^\circ\text{C}/W$ ) représente la somme des résistances thermiques des différents couches des matériaux constituant la paroi ;

-La somme  $\frac{1}{h_e} + \frac{1}{h_i}$  (en  $m^2 \cdot ^\circ\text{C}/W$ ) représente la somme des coefficients d'échanges superficielle, prise conformément aux conventions adoptés (Tableau(III-1)) [13]



$\frac{l}{h}$ en $m^2 \cdot ^\circ C/W$	Paroi en contact avec :			Paroi en contact avec :		
	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$	$1/h_i$	$1/h_e$	$1/h_i + 1/h_e$
 Latéral (Mur) $\alpha > 60^\circ$	0,11	0,06	0,17	0,11	0,11	0,22
 Ascendant (toiture) $\alpha < 60^\circ$	0,09	0,05	0,14	0,09	0,09	0,18
 Descendant (plancher) $\alpha < 60^\circ$	0,17	0,05	0,22	0,17	0,17	0,34

Tableau (III-1) : Les résistances d'échanges superficiels.

### III.7. La réglementation Algérienne.

Depuis mars 1998, par arrêté du Ministre de l'Habitat, il est fait obligation aux constructions neuves d'être conformes au [DTR C 3-2] relatif aux règles de calcul des déperditions calorifiques.

Ce DTR oblige les constructions à usage d'habitation à avoir une enveloppe suffisamment isolante pour que les déperditions totales de chaque logement restent inférieures à un niveau de référence fixé réglementairement.

Le calcul des déperditions tant pour vérifier cette conformité, que pour dimensionner les systèmes de chauffage doit être mené suivant la méthode proposée par ce même DTR.

#### III.7.1. Bases de calcul et exigences [13].

##### III.7.1.1. Principes généraux.

###### a. Définition.

- Un volume thermique est un volume d'air supposé homogène en température, susceptible d'être chauffé par un corps de chauffe dimensionné à cet effet.

##### III.7.1.2. Expression générale des déperditions.

#### I. Déperditions totales d'un logement.

Les déperditions totales  $D$  pour un logement, contenant plusieurs volumes thermiques, sont données par :

$$D = \sum D_i \quad [W/^\circ C] \dots \dots \dots (III - 5)$$

Où :  $D_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions totales du volume  $i$ .



## II. Déperditions totales d'un volume.

Les déperditions totales  $D_i$  d'un volume  $i$  sont données par :

$$D_i = (D_T)_i + (D_R)_i \quad [W/^\circ C] \dots \dots \dots (III - 6)$$

ou :

- $(D_T)_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions par transmission du volume  $i$ ,
- $(D_R)_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions par renouvellement d'air du volume  $i$ .

## III. Déperditions par transmission d'un volume.

Les déperditions par transmission  $(D_T)_i$  d'un volume  $i$  sont données par :

$$(D_T)_i = (D_s)_i + (D_{li})_i + (D_{sol})_i + (D_{lnc})_i \quad [W/^\circ C] \dots \dots \dots (III - 7)$$

Où :

- $(D_s)_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions surfaciques à travers les parties courantes des parois en contact avec l'extérieur;
- $(D_{li})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions à travers les liaisons;
- $(D_{sol})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions à travers les parois en contact avec le sol ;
- $(D_{lnc})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions à travers les parois en contact avec les locaux non chauffés.

## IV. Déperditions par renouvellement d'air d'un volume.

Les déperditions par renouvellement d'air d'un volume  $i$   $(D_R)_i$ , sont données par :

$$(D_R)_i = (D_{Rv})_i + (D_{Rs})_i \quad [W/^\circ C] \dots \dots \dots (III - 8)$$

Où :

- $(D_{Rv})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions dues au fonctionnement normal des dispositifs de ventilation.
- $(D_{Rs})_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions supplémentaires dues au vent.

## V. Relation entre les déperditions du logement et les déperditions des volumes.

- Les déperditions par transmission  $D_T$  (en  $W/^\circ C$ ) du logement sont égales à la somme des déperditions par transmission des différents volumes  $i$ , soit :

$$D_T = \sum (D_T)_i \quad [W/^\circ C] \quad \dots \dots \dots (III - 9)$$

- Les déperditions par renouvellement d'air  $D_R$  (en  $W/^\circ C$ ) du logement sont égales à la somme des déperditions par renouvellement d'air des différents volumes  $i$ , soit :

$$D_R = \sum (D_R)_i \quad [W/^\circ C] \quad \dots \dots \dots (III - 10)$$

### III.7.1.3. Calcul des déperditions de base.

#### I. Exigence réglementaire.

Le calcul de la puissance de chauffage d'un logement doit comporter le calcul des déperditions de base selon la méthode décrite dans le DTR. Pour cela, on doit prendre en



compte un écart de température entre les ambiances intérieure et extérieure, dit écart de température de base.

## II. Déperditions de base totales.

Les déperditions de base totales pour un local  $D_B$ , contenant plusieurs volumes thermiques, ont pour expression :

$$D_B = \sum(D_B)_i \quad [W] \dots \dots \dots (III - 11)$$

Où  $(D_B)_i$  (en  $W$ ) représente les déperditions de base de chaque volume thermique

## III. Déperditions de base pour un volume.

Les déperditions de base pour un volume thermique  $(D_B)_i$  ont pour expression :

$$(D_B)_i = D_i \times (t_{bi} - t_{be}) \quad [W] \dots \dots \dots (III - 12 - a)$$

Où

- $D_i$  (en  $W/^\circ C$ ) représente les déperditions totales du volume thermique  $i$  ;
- $t_{bi}$  (en  $^\circ C$ ) est la température intérieure de base du volume considéré;
- $t_{be}$  (en  $^\circ C$ ) est la température extérieure de base du lieu d'implantation de la construction.

## IV. Température intérieure de base.

- La température intérieure de base est la température de l'air que l'on désire obtenir au centre de la pièce en absence de tout apport de chaleur autre que celui fourni par l'installation de chauffage.
- Sauf spécifications particulières, on prendra les valeurs suivantes de la température intérieure de base :

– Immeuble d'habitation, maison individuelle

Pièce principale, pièce de service  $21^\circ C$

Cage d'escalier chauffée, circulation chauffée en continu  $18^\circ C$

– Bureau chauffé en continu  $21^\circ C$

– Magasin chauffé en continu  $21^\circ C$

– Local artisanal chauffé en continu  $21^\circ C$

- Dans le cas où des locaux ne sont pas chauffés en continu, ils doivent être considérés comme des locaux non chauffés.

## V. Température extérieure de base.

- a) La température extérieure de base est une température telle que les températures minimales quotidiennes ne lui sont inférieures que cinq jours par an.
- b) La température extérieure de base est fonction de l'altitude et de la zone climatique où est implanté le projet.
- c) L'annexe I donne la zone climatique à considérer pour le projet.
- d) Le tableau suivant fixe les valeurs de la température extérieure de base



ZONE	Altitude (m)	$t_{be}$ (en °C)	ZONE	Altitude (m)	$t_{be}$ (en °C)
A	< 300	6	C	500 à 1000	- 2
	300 à 500	3		≥ 1000	- 4
	500 à 1000	1			
	≥ 1000	-1			
B	< 500	2	D	< 1000	5
	500 à 1000	1		≥ 1000	4
	≥ 1000	-1			
B'	<500	0	D'	< 1000	5
	≥ 500	voir Zone B			

**Tableau (III-2) :** Les valeurs de la température extérieure de base

Dans notre cas on a :  $\begin{cases} t_{bi} = 21^{\circ}C \\ t_{be} = 6^{\circ}C \end{cases} \rightarrow (D_B)_i = 15 \times D_i \quad [W] \dots \dots \dots (III - 12 - b)$

**III.7.1.4. Puissance de chauffage à installer.**

**I. Calcul de la puissance de chauffage.**

a) La puissance de chauffage  $Q$  nécessaire pour un logement est donnée par :

$$Q = [t_{bi} - t_{be}] \times [[1 + \text{Max}(c_r; c_{in})]D_T] + [(1 + c_r)D_R] \quad [W] \dots \dots \dots (III - 13 - a)$$

Où

- $t_{bi}$  (en °C) représente la température intérieure de base,
- $t_{be}$  (en °C) représente la température extérieure de base,
- $D_T$  (en  $W/^{\circ}C$ ) représente les déperditions par transmission du logement,
- $D_R$  (en  $W/^{\circ}C$ ) représente les déperditions par renouvellement d'air du logement,
- $c_r$  (sans dimension) est un ratio estimé des pertes calorifiques dues au réseau de tuyauteries éventuel.
- $c_{in}$  (sans dimension) représente un coefficient de surpuissance.

Le coefficient  $c_{in}$  est appliqué aux seules déperditions par transmission. Il est introduit pour diminuer le temps nécessaire à l'obtention de la température désirée lors d'une mise en route ou d'une relance.

Pour un immeuble pourvu d'un chauffage commun, la puissance  $Q$  est calculée en effectuant la somme des puissances à fournir pour chaque logement.

La puissance de chauffage  $Q_i$  nécessaire pour un volume thermique s'obtient en utilisant la formule (III - 13 - a) et en remplaçant les termes  $D_T$  par  $(D_T)_i$  et  $D_R$  par  $(D_R)_i$ .

b) Le coefficient  $c_{in}$  prend les valeurs suivantes :

- 0,10 en cas de chauffage continu,



- 0,15 en cas de chauffage discontinu, et dans le cas d'une construction dont la classe d'inertie est "faible" ou "moyenne",
  - 0,20 en cas de chauffage discontinu, et dans le cas d'une construction dont la classe d'inertie est "forte".
- c) Le coefficient  $c_r$  prend les valeurs suivantes :
- 0 pour les installations de type "chauffages individuel",
  - 0,05 pour les installations de type "chauffage central" dans lesquelles toutes les tuyauteries sont calorifugées,
  - 0,10 pour les installations de type "chauffage central" dans lesquelles les tuyauteries sont calorifugées seulement dans les zones non chauffées,
  - 0,20 pour les installations de pipe "chauffage central" dont le réseau de tuyauteries n'est pas calorifugé.

Dans notre cas  $\begin{cases} c_{in} = 0.10 \\ c_r = 0.10 \end{cases} \rightarrow Q = 1.5 \times D_T + 1.10 \times D_R \quad [W] \dots \dots \dots (III - 13 - b)$

### III.8. Calcul réglementaire des déperditions.

#### III.8.1. Définition des volumes thermiques.

On considère que tout le bâtiment soit chauffé à la même température sauf :

- Les chambres techniques.
- L'annexe de l'amphi.
- Le stock de cafeteria.

La hauteur d'étage est de 3.5m.

La retombée de la poutre est de 20cm.

La porte est de  $2.7 \times 2 \text{ m}^2$ .

Les fenêtres  $1.4 \times 1.2 \text{ m}^2$

#### III.8.2. Calcul de la conductance K pour les ouvrants.

- Porte opaque en bois donnant vers l'extérieur  $K = 4.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$
- Porte opaque de bois donnant vers un local non chauffé:  $K = 2 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$
- Pour une fenêtre  $\frac{1}{K_f} = \frac{1}{K_{vn}} + R_v + R_{rid} + R_{occ} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{°C/W}] \dots \dots \dots (III - 14)$

$$\rightarrow K_f = 1.94 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$$

Avec :

- $K_{vn} = 5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$  : Le coefficient K du vitrage nu.
- $R_{occ} = 0.17 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$  : La résistance supplémentaire des occultations.
- $R_{rid} = 0.030 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$  : La résistance supplémentaire des rideaux éventuels.
- $R_v = 0.025 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W}$  : La résistance supplémentaire des voilages éventuels.

#### III.8.3. Calcul de la conductance K pour les planchers.

##### III.8.3.1. Plancher corps creux.

##### a. Plancher local chauffé vers local non chauffé. (Descendant)



Eléments constitutifs	Epaisseur $e[m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m.^{\circ}C]$	Résistance thermique $R [m^2.^{\circ}C/W]$
Plancher corps creux	0.2	-	0.140
Revêtement carrelage	0.05	1.00	0.050
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.340

**Tableau (III-3) :** Calcul de la résistance R d'un plancher LC vers LNC

$$R = 0.587 [m^2.^{\circ}C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 1.704 [W/m^2.^{\circ}C]$$

**b. Plancher local chauffé vers local non chauffé. (Ascendant)**

$$R = 0.427 [m^2.^{\circ}C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.342 [W/m^2.^{\circ}C]$$

**c. Plancher étage vers l'extérieur.**

Eléments constitutifs	Epaisseur $e[m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m.^{\circ}C]$	Résistance thermique $R [m^2.^{\circ}C/W]$
Plancher corps creux	0.2	-	0.140
Etanchéité	0.02	0.23	0.087
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Isolation thermique	0.03	0.043	0.698
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.140

**Tableau (III-4) :** Calcul de la résistance R d'un plancher étage vers l'extérieur

$$R = 1.162 [m^2.^{\circ}C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 0.861 [W/m^2.^{\circ}C]$$

**III.8.3.2. Plancher dalle plane.**

**a. Plancher étage vers l'extérieur.**

Eléments constitutifs	Epaisseur $e[m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m.^{\circ}C]$	Résistance thermique $R [m^2.^{\circ}C/W]$
Dalle plane	0.13	1.75	0.074
Etanchéité	0.02	0.23	0.087
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Isolation thermique	0.03	0.043	0.698
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.140

**Tableau (III-5) :** Calcul de la résistance R d'un plancher étage vers l'extérieur

$$R = 1.056 [m^2.^{\circ}C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 0.947 [W/m^2.^{\circ}C]$$

**III.8.4. Calcul des déperditions par renouvellement d'air.**

Les déperditions par renouvellement d'air sont données par la formule suivant:

$$D_R = 0.34 \times (Q_v + Q_s) \quad (W/^{\circ}C) \dots \dots \dots (III - 15)$$



Avec

0.34 :  $[W \cdot h/m^3 \cdot ^\circ C]$  La chaleur volumique de l'air.

$Q_v$  :  $[m^3/h]$  Le débit spécifique de ventilation.

$Q_s$  :  $[m^3/h]$  Le débit supplémentaire par infiltrations dues au vent.

- Le débit spécifique de ventilation  $Q_v$  est donné par la formule suivante:

$$Q_v = \text{Max}[0.6 \times V_h; Q_{vréf}] \quad (m^3/h) \dots \dots \dots (III - 16)$$

Avec

$V_h$ :  $[m^3]$  désigne le volume habitable.

$Q_{vréf}$ :  $[m^3/h]$  Le débit extrait de référence.

$$V_h = 3487.5 \text{ m}^3 \quad \rightarrow \quad 0.6 \times V_h = 2092.5 \text{ m}^3$$

$$Q_{vréf} = (5 \times Q_{vmin} + Q_{vmax})/6 \quad (m^3/h) \dots \dots \dots (III - 17)$$

$$Q_{vmin} = 240 \text{ m}^3/h \text{ (Nombre des pièces principales=18 pièces)}$$

$$Q_{vmax} = 120 \text{ m}^3/h$$

$$\rightarrow \quad Q_{vréf} = 220 \text{ m}^3/h$$

$$Q_v = \text{Max}[0.6 \times V_h; Q_{vréf}] = 2092.5 \quad (m^3/h)$$

- Le débit spécifique supplémentaire par infiltrations dues au vent  $Q_s$  est donné par la formule suivante:

$$Q_s = \sum (P_{pi} \times e_{vi}) \quad (m^3/h) \dots \dots \dots (III - 18)$$

$P_{pi}$ :  $[m^3/h \text{ sous } : \Delta P = 1 \text{ Pa}]$  est la perméabilité à l'air de la paroi i;

$e_{vi}$ : [sans dimension] est le coefficient d'exposition au vent affecté à la paroi i;

- ❖ La perméabilité à l'air  $P_{pi}$  est donnée par la formule :

$$P_{pi} = \sum (P_{oj} \times A_j) \quad [m^3/h \text{ sous } : \Delta P = 1 \text{ Pa}] \dots \dots \dots (III - 19)$$

$P_{oj}$ :  $[m/h \text{ sous } : \Delta P = 1 \text{ Pa}]$  est la perméabilité surfacique de l'ouvrant j;

$A_j$ :  $[m^2]$  surface de l'ouvrant j;

On définit aussi :

$H_i$ :  $[m]$  La distance entre la mi-hauteur de l'ouverture et la surface libre du sol.

Les ouvertures vers l'extérieur ou un L.N.C:



parois	$A_j [m^2]$	$H_i [m]$	Classe de rugosité	$e_{vi}$	$P_{oj} [m/h]$	$P_{pi} [m^3/h]$	$Q_{si} [m^3/h]$
Porte vers l'ext	5.4	1.35	IV	1.47	6.0	32.4	47.628
Porte vers LNC	3.96	1.1	IV	1.47	6.0	23.76	34.927
Porte vers LNC	1.98	4.6	IV	2.30	6.0	11.88	27.324
Porte vers LNC	1.98	12.7	IV	3.87	6.0	11.88	44.906
Fenêtre	6.72	2	IV	1.47	2.4	16.128	23.708
Fenêtre	1.68	5.5	IV	2.30	2.4	4.032	9.274
Fenêtre	10.08	9	IV	3.00	2.4	24.192	72.576
Fenêtre	5.04	12.5	IV	3.87	2.4	12.096	46.812

**Tableau (III-6) :** Calcul de débit spécifique supplémentaire par infiltrations dues au vent

$$\sum Q_{si} = Q_s = 307.155 [m^3/h]$$

$$\text{Donc } D_r = 0.34 \times (2092.5 + 307.155)$$

$$D_r = 815.88 \text{ (W/}^\circ\text{C)}$$

### III.8.5. Calcul de la puissance de chauffage pour chaque variante.

#### III.8.5.1. 1<sup>er</sup> variante.

##### I. Calcul de la conductance K.

###### a. Partie courante du mur de façade.

Eléments constitutifs	Epaisseur $e [m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m.^\circ C]$	Résistance thermique $R [m^2.^\circ C/W]$
Bloc en terre comprimée	0.12	1.05	0.114
Lame d'air	0.05	-	0.160
Bloc en terre comprimée	0.12	1.05	0.114
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170

**Tableau (III-7) :** Calcul de la résistance R de mur de façade

$$R = 0.615 [m^2.^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 1.626 [W/m^2.^\circ C]$$

###### b. Au niveau des retombées des poutres des murs de façade.

Eléments constitutifs	Epaisseur $e [m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m.^\circ C]$	Résistance thermique $R [m^2.^\circ C/W]$
Béton armé	0.30	1.75	0.171
Enduit plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170

**Tableau (III-8) :** Calcul de la résistance R des retombées des poutres

$$R = 0.398 [m^2.^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.513 [W/m^2.^\circ C]$$



**c. Au niveau des poteaux des murs de façade.**

Eléments constitutifs	Epaisseur $e[m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m.^{\circ}C]$	Résistance thermique $R [m^2.^{\circ}C/W]$
Béton armé	0.45	1.75	0.257
Enduit plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170

**Tableau (III-9) :** Calcul de la résistance R des poteaux

$$R = 0.484 [m^2.^{\circ}C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.066 [W/m^2.^{\circ}C]$$

**d. Au niveau des retombées des poutres des murs de séparation.**

$$R = 0.448 [m^2.^{\circ}C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.232 [W/m^2.^{\circ}C]$$

**e. Partie courante de mur de séparation.**

$$R = 0.608 [m^2.^{\circ}C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 1.645 [W/m^2.^{\circ}C]$$

**f. Mur de façade vitré.**

Eléments constitutifs	Epaisseur $e[m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m.^{\circ}C]$	Résistance thermique $R [m^2.^{\circ}C/W]$
Verre	0.004	1.10	0.004
Lame d'air	0.016	-	0.160
Verre	0.004	1.10	0.004
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170

**Tableau (III-10) :** Calcul de la résistance R d'un mur vitré

$$R = 0.338 [m^2.^{\circ}C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.958 [W/m^2.^{\circ}C]$$

**g. Mur de façade en voile.**

Eléments constitutifs	Epaisseur $e[m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m.^{\circ}C]$	Résistance thermique $R [m^2.^{\circ}C/W]$
Voile	0.2	1.75	0.114
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Resistance d'échange superficielle	-	-	0.170

**Tableau (III-11) :** Calcul de la résistance R d'un mur en voile

$$R = 0.341 [m^2.^{\circ}C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.933 [W/m^2.^{\circ}C]$$



## II. Déperditions a travers les parois en contact avec l'extérieur (Surfacique $D_s$ ).

parois	Surface $A_i [m^2]$	Conductance $K_i [W/m^2 \cdot ^\circ C]$	$K_i \cdot A_i [W/^\circ C]$
Les murs courant	383.13	1.626	622.969
Les murs vitrés	152.52	2.958	451.154
Les voiles	234.205	2.933	686.923
Les fenêtres	25.38	1.94	49.237
Les portes	5.4	3.5	18.9
Les poteaux	13.95	2.066	28.821
Les retombées	53.26	2.513	133.84
Les planchers (C.C)	230.625	1.162	267.986
Les planchers (D.P)	24	1.056	25.344

**Tableau (III-12) :** Calcul des déperditions surfaciques  $D_s$

$$D_s = 2290.574 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

## III. Déperditions a travers les liaisons ( $D_{li}$ ).

liaison	Longueur $L_i [m]$	Conductance $K_{li} [W/m \cdot ^\circ C]$	$K_{li} \cdot A_i [W/^\circ C]$
Menuiserie en bois	83.4	0.106	8.840
Angle (deux murs extérieur)	110.8	0.09	9.972
Angle (mur ext –mur int)	143	0.229	32.747

**Tableau (III-13) :** Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques  $D_{li}$

$$D_{li} = 51.559 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

## IV. Déperditions à travers les parois en contact avec le sol ( $D_{sol}$ ).

Dans notre cas on a un plancher sur terre plane, d'après le D.T.R. C3-2:

$$D_{sol} = K_s \times P$$

Avec:

$P$ : [m] est le périmètre intérieur du plancher ;  $P = 84.8 \text{ m}$

$K_s$ : [W/m . °C] est le coefficient de transmission linéique du plancher bas;

$Z = 0 \rightarrow K_s = 1.75 [W/m \cdot ^\circ C]$  , tableau (5.2 Page 41 D.T.R. C3-2)

Alors:

$$D_{sol} = 148.4 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

## V. Déperditions a travers les parois en contact avec les locaux non chauffés ( $D_{Inc}$ ).

### a. Surfaiques.

parois	Tau	Surface $A_i [m^2]$	Conductance $K_i [W/m^2 \cdot ^\circ C]$	$K_i \cdot A_i [W/^\circ C]$
Plancher (ascendant)	0.36	56	2.342	47.215
Plancher (descendant)	0.36	36	1.704	22.084
Murs de séparation	0.36	120.9	1.645	71.597
Retombés	0.36	9.4	2.232	7.553
Portes	0.36	7.92	2	5.702

**Tableau (III-14):** Calcul des déperditions surfaciques d'une paroi en contact avec un LNC



### b. Linéiques.

liaison	Tau	Longueur $L_i [m]$	Conductance $K_{li} [W/m \cdot ^\circ C]$	$K_{li} \cdot A_i [W/^\circ C]$
Angle (mur-plancher)	0.36	36	0.229	2.968
Angle (mur-mur)	0.36	23.1	0.03	0.249

**Tableau (III-15) :** Calcul des déperditions linéiques d'une paroi en contact avec un LNC

$$D_{lnc} = 164.496 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

$$\rightarrow D_T = 2655.029 \text{ W}/^\circ\text{C}$$

## VI. Calcul de la puissance de chauffage.

La puissance de chauffage est donnée par la formule suivante :

$$Q = 1.5 \times D_T + 1.10 \times D_R \quad [W]$$

$$\begin{cases} D_T = 2655.029 \text{ W}/^\circ\text{C} \\ D_R = 815.880 \text{ W}/^\circ\text{C} \end{cases} \rightarrow Q = 4879.044 \text{ W}$$

### III.8.5.2. 2<sup>ième</sup> variante.

#### I. Calcul de la conductance K.

##### a. Partie courante du mur de façade.

Eléments constitutifs	Epaisseur $e [m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m \cdot ^\circ C]$	Résistance thermique $R [m^2 \cdot ^\circ C/W]$
Enduit de ciment	0.02	1.15	0.017
Parpaing	0.10	1.05	0.095
Lame d'air	0.05	-	0.160
Brique	0.10	0.48	0.208
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170

**Tableau (III-16) :** Calcul de la résistance R de mur de façade

$$R = 0.707 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \rightarrow K = 1/R = 1.414 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### b. Au niveau des retombées des poutres des murs de façade.

Eléments constitutifs	Epaisseur $e [m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m \cdot ^\circ C]$	Résistance thermique $R [m^2 \cdot ^\circ C/W]$
Enduit de ciment	0.02	1.15	0.017
Béton armé	0.30	1.75	0.171
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170

**Tableau (III-17) :** Calcul de la résistance R des retombées des poutres

$$R = 0.415 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \rightarrow K = 1/R = 2.409 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$



**c. Au niveau des poteaux des murs de façade.**

Eléments constitutifs	Epaisseur $e[m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m \cdot ^\circ C]$	Résistance thermique $R [m^2 \cdot ^\circ C/W]$
Enduit de ciment	0.02	1.15	0.017
Béton armé	0.45	1.75	0.257
Enduit plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170

**Tableau (III-18) :** Calcul de la résistance R des poteaux

$$R = 0.501 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 1.996 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

**d. Au niveau des retombées des poutres des murs de séparation.**

$$R = 0.465 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.151 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

**e. Partie courante de mur de séparation.**

$$R = 0.757 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 1.321 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

**f. Mur de façade vitré.**

$$R = 0.338 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.958 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

**g. Mur de façade en voile.**

Eléments constitutifs	Epaisseur $e[m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m \cdot ^\circ C]$	Résistance thermique $R [m^2 \cdot ^\circ C/W]$
Enduit de ciment	0.02	1.15	0.017
Béton armé	0.2	1.75	0.114
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Resistance d'échange superficielle	-	-	0.170

**Tableau (III-19) :** Calcul de la résistance R d'un mur en voile

$$R = 0.358 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.793 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

**II. Déperditions a travers les parois en contact avec l'extérieur (Surfacique  $D_s$ ).**

parois	Surface $A_i [m^2]$	Conductance $K_i [W/m^2 \cdot ^\circ C]$	$K_i \cdot A_i [W/^\circ C]$
Les murs courant	383.13	1.414	541.746
Les murs vitrés	152.52	2.958	451.154
Les voiles	234.205	2.793	654.135
Les fenêtres	25.38	1.94	49.237
Les portes	5.4	3.5	18.9
Les poteaux	13.95	1.996	27.844
Les retombées	53.26	2.409	128.303
Les planchers (C.C)	230.625	1.162	267.986
Les planchers (D.P)	24	1.056	25.344

**Tableau (III-20) :** Calcul des déperditions surfaciques  $D_s$

$$D_s = 2170.049 W/^\circ C$$



### III. Déperditions a travers les liaisons ( $D_{li}$ ).

liaison	Longueur $L_i [m]$	Conductance $K_{li} [W/m \cdot ^\circ C]$	$K_{li} \cdot A_i [W/^\circ C]$
Menuiserie en bois	83.4	0.125	10.425
Angle (deux murs extérieur)	110.8	0.09	9.972
Angle (mur ext –mur int)	143	0.229	32.747

**Tableau (III-21)** : Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques  $D_{li}$

$$D_{li} = 53.144 \text{ W}/^\circ C$$

### IV. Déperditions à travers les parois en contact avec le sol ( $D_{sol}$ ).

$$D_{sol} = 148.4 \text{ W}/^\circ C$$

### V. Déperditions a travers les parois en contact avec les locaux non chauffés ( $D_{inc}$ ). Surfaciques.

parois	Tau	Surface $A_i [m^2]$	Conductance $K_i [W/m^2 \cdot ^\circ C]$	$K_i \cdot A_i [W/^\circ C]$
Plancher (ascendant)	0.36	56	2.342	47.215
Plancher (descendant)	0.36	36	1.704	22.084
Murs de séparation	0.36	120.9	1.321	57.495
Retombés	0.36	9.4	2.151	7.279
Portes	0.36	7.92	2	5.702

**Tableau (III-22)** : Calcul des déperditions surfaciques d'une paroi en contact avec un LNC

#### Linéiques.

liaison	Tau	Longueur $L_i [m]$	Conductance $K_{li} [W/m \cdot ^\circ C]$	$K_{li} \cdot A_i [W/^\circ C]$
Angle (mur-plancher)	0.36	36	0.229	2.968
Angle (mur-mur)	0.36	23.1	0.03	0.249

**Tableau (III-23)** : Calcul des déperditions linéiques d'une paroi en contact avec un LNC

$$D_{inc} = 150.12 \text{ W}/^\circ C$$

$$\rightarrow D_T = 2521.713 \text{ W}/^\circ C$$

### VI. Calcul de la puissance de chauffage.

La puissance de chauffage est donnée par la formule suivante :

$$Q = 1.5 \times D_T + 1.10 \times D_R \quad [W]$$

$$\begin{cases} D_T = 2521.713 \text{ W}/^\circ C \\ D_R = 815.880 \text{ W}/^\circ C \end{cases} \rightarrow Q = 4680.038 \text{ W}$$



### III.8.5.3. 3<sup>ème</sup> variante.

#### I. Calcul de la conductance K.

##### a. Partie courante du mur de façade.

Eléments constitutifs	Epaisseur $e[m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m \cdot ^\circ C]$	Résistance thermique $R [m^2 \cdot ^\circ C/W]$
Enduit de ciment	0.02	1.15	0.017
Brique	0.10	0.48	0.208
Lame d'air	0.05	-	0.160
Brique	0.10	0.48	0.208
Enduit de plâtre	0.02	0.35	0.057
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170

Tableau (III-24) : Calcul de la résistance R de mur de façade

$$R = 0.82 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 1.22 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### b. Au niveau des retombées des poutres des murs de façade.

$$R = 0.415 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.409 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### c. Au niveau des poteaux des murs de façade.

$$R = 0.501 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 1.996 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### d. Au niveau des retombées des poutres des murs de séparation.

$$R = 0.465 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.151 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### e. Partie courante de mur de séparation.

$$R = 0.869 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 1.15 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### f. Mur de façade vitré.

$$R = 0.338 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.958 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### g. Mur de façade en voile.

$$R = 0.358 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.793 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

#### II. Déperditions a travers les parois en contact avec l'extérieur (Surfacique $D_s$ ).

parois	Surface $A_i [m^2]$	Conductance $K_i [W/m^2 \cdot ^\circ C]$	$K_i \cdot A_i [W/^\circ C]$
Les murs courant	383.13	1.22	467.419
Les murs vitrés	152.52	2.958	451.154
Les voiles	234.205	2.793	654.135
Les fenêtres	25.38	1.94	49.237
Les portes	5.4	3.5	18.9
Les poteaux	13.95	1.996	27.844
Les retombées	53.26	2.409	128.303
Les planchers (C.C)	230.625	1.162	267.986
Les planchers (D.P)	24	1.056	25.344

Tableau (III-25) : Calcul des déperditions surfaciques  $D_s$

$$D_s = 2095.722 W/^\circ C$$



### III. Déperditions a travers les liaisons ( $D_{li}$ ).

liaison	Longueur $L_i [m]$	Conductance $K_{li} [W/m \cdot ^\circ C]$	$K_{li} \cdot A_i [W/^\circ C]$
Menuiserie en bois	83.4	0.12	10.01
Angle (deux murs extérieur)	110.8	0.09	9.972
Angle (mur ext –mur int)	143	0.229	32.747

**Tableau (III-26)** : Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques  $D_{li}$

$$D_{li} = 52.729 \text{ W/}^\circ C$$

### IV. Déperditions à travers les parois en contact avec le sol ( $D_{sol}$ ).

$$D_{sol} = 148.4 \text{ W/}^\circ C$$

### V. Déperditions a travers les parois en contact avec les locaux non chauffés ( $D_{lnc}$ ). Surfaciques.

parois	Tau	Surface $A_i [m^2]$	Conductance $K_i [W/m^2 \cdot ^\circ C]$	$K_i \cdot A_i [W/^\circ C]$
Plancher (ascendant)	0.36	56	2.342	47.215
Plancher (descendant)	0.36	36	1.704	22.084
Murs de séparation	0.36	120.9	1.15	50.053
Retombés	0.36	9.4	2.151	7.279
Portes	0.36	7.92	2	12.830

**Tableau (III-27)** : Calcul des déperditions surfaciques d'une paroi en contact avec un LNC

#### Linéiques.

liaison	Tau	Longueur $L_i [m]$	Conductance $K_{li} [W/m \cdot ^\circ C]$	$K_{li} \cdot A_i [W/^\circ C]$
Angle (mur-plancher)	0.36	36	0.229	2.968
Angle (mur-mur)	0.36	23.1	0.03	0.249

**Tableau (III-28)** : Calcul des déperditions linéiques d'une paroi en contact avec un LNC

$$D_{lnc} = 142.678 \text{ W/}^\circ C$$

$$\rightarrow D_T = 2439.529 \text{ W/}^\circ C$$

### VI. Calcul de la puissance de chauffage.

La puissance de chauffage est donnée par la formule suivante :

$$Q = 1.5 \times D_T + 1.10 \times D_R \quad [W]$$

$$\begin{cases} D_T = 2439.529 \text{ W/}^\circ C \\ D_R = 815.880 \text{ W/}^\circ C \end{cases} \rightarrow Q = 4556.762 \text{ W}$$



### III.8.5.4. 4<sup>ème</sup> variante.

#### I. Calcul de la conductance K.

##### a. Partie courante du mur de façade.

Eléments constitutifs	Epaisseur $e[m]$	Conductivité thermique $\lambda [W/m \cdot ^\circ C]$	Résistance thermique $R [m^2 \cdot ^\circ C/W]$
Bloc en terre comprimée	0.20	1.05	0.190
Lame d'air	0.05	-	0.160
Plaque ou plâtre	0.018	0.35	0.051
Résistance d'échange superficiel	-	-	0.170

**Tableau (III-29) :** Calcul de la résistance R de mur de façade

$$R = 0.571 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 1.75 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### b. Au niveau des retombées des poutres des murs de façade.

$$R = 0.398 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.513 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### c. Au niveau des poteaux des murs de façade.

$$R = 0.484 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.066 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### d. Au niveau des retombées des poutres des murs de séparation.

$$R = 0.448 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.232 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### e. Partie courante de mur de séparation.

$$R = 0.621 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 1.609 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### f. Mur de façade vitré.

$$R = 0.338 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.958 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

##### g. Mur de façade en voile.

$$R = 0.341 [m^2 \cdot ^\circ C/W] \quad \rightarrow \quad K = 1/R = 2.933 [W/m^2 \cdot ^\circ C]$$

#### II. Déperditions a travers les parois en contact avec l'extérieur (Surfacique $D_s$ ).

parois	Surface $A_i [m^2]$	Conductance $K_i [W/m^2 \cdot ^\circ C]$	$K_i \cdot A_i [W/^\circ C]$
Les murs courant	383.13	1.75	670.478
Les murs vitrés	152.52	2.958	451.154
Les voiles	234.205	2.933	686.923
Les fenêtres	25.38	1.94	49.237
Les portes	5.4	3.5	18.9
Les poteaux	13.95	2.066	28.821
Les retombées	53.26	2.513	133.84
Les planchers (C.C)	230.625	1.162	267.986
Les planchers (D.P)	24	1.056	25.344

**Tableau (III-30) :** Calcul des déperditions surfaciques  $D_s$

$$D_s = 2338.083 \text{ W/}^\circ C$$



### III. Déperditions a travers les liaisons ( $D_{li}$ ).

liaison	Longueur $L_i$ [m]	Conductance $K_{ji}$ [W/m. °C]	$K_{li} \cdot A_i$ [W/°C]
Menuiserie en bois	83.4	0.106	8.840
Angle (deux murs extérieur)	110.8	0.135	14.958
Angle (mur ext –mur int)	143	0.229	32.747

**Tableau (III-31)** : Calcul des déperditions à travers les ponts thermiques  $D_{li}$

$$D_{li} = 556.545 \text{ W/°C}$$

### IV. Déperditions à travers les parois en contact avec le sol ( $D_{sol}$ ).

$$D_{sol} = 148.4 \text{ W/°C}$$

### V. Déperditions a travers les parois en contact avec les locaux non chauffés ( $D_{lnc}$ ).

#### Surfaciques.

parois	Tau	Surface $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Conductance $K_i$ [W/m <sup>2</sup> . °C]	$K_i \cdot A_i$ [W/°C]
Plancher (ascendant)	0.36	56	2.342	47.215
Plancher (descendant)	0.36	36	1.704	22.084
Murs de séparation	0.36	120.9	1.609	70.03
Retombés	0.36	9.4	2.232	7.553
Portes	0.36	7.92	2	5.702

**Tableau (III-32)** : Calcul des déperditions surfaciques d'une paroi en contact avec un LNC

#### Linéiques.

liaison	Tau	Longueur $L_i$ [m]	Conductance $K_{ji}$ [W/m. °C]	$K_{li} \cdot A_i$ [W/°C]
Angle (mur-plancher)	0.36	36	0.229	2.968
Angle (mur-mur)	0.36	23.1	0.08	0.665

**Tableau (III-33)** : Calcul des déperditions linéiques d'une paroi en contact avec un LNC

$$D_{lnc} = 163.346 \text{ W/°C}$$

$$\rightarrow D_T = 3206.374 \text{ W/°C}$$

### VI. Calcul de la puissance de chauffage.

La puissance de chauffage est donnée par la formule suivante :

$$Q = 1.5 \times D_T + 1.10 \times D_R \quad [W]$$

$$\begin{cases} D_T = 3206.374 \text{ W/°C} \\ D_R = 815.880 \text{ W/°C} \end{cases} \rightarrow Q = 5707.029 \text{ W}$$



## VII. Conclusion.

Le tableau suivant récapitule les résultats trouvés dans ce chapitre:

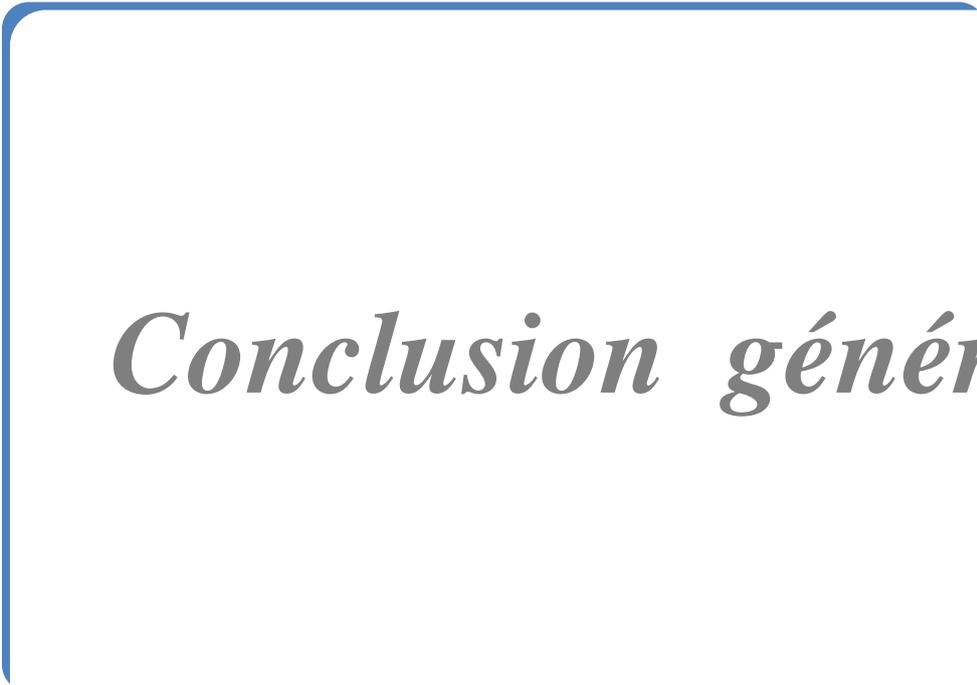
variante	$D_T$ [W/°C]	$D_R$ [W/°C]	$Q$ [W]
1	2655.029	815.88	4879.044
2	2521.713	815.88	4680.038
3	2439.529	815.88	4556.762
4	3206.374	815.88	5707.029

**Tableau (III-34) :** tableau récapitulatif

La quatrième variante a donné une grande puissance de chauffage due à la moyenne conductivité du bloc en terre comprimé.

Malgré que le brique creuse a donné (3<sup>ème</sup> variante) la plus faible puissance de chauffage mais on va adopter les blocs en terre (1<sup>er</sup> variante) pour les raisons suivantes :

- La brique creuse à une grande énergie grise par rapport au bloc en terre.
- La terre stabilisée représente des avantages environnementaux et économiques très intéressant, elle est à base de terre (de plus de 90% )



# *Conclusion générale*



## CONCLUSION GENERALE.

A travers cette étude nous avons pu réaliser un calcul détaillé d'un projet de bâtiment reprenant quelques principes de développement durable .ceci malgré l'utilisation de béton armé en structure porteuse.

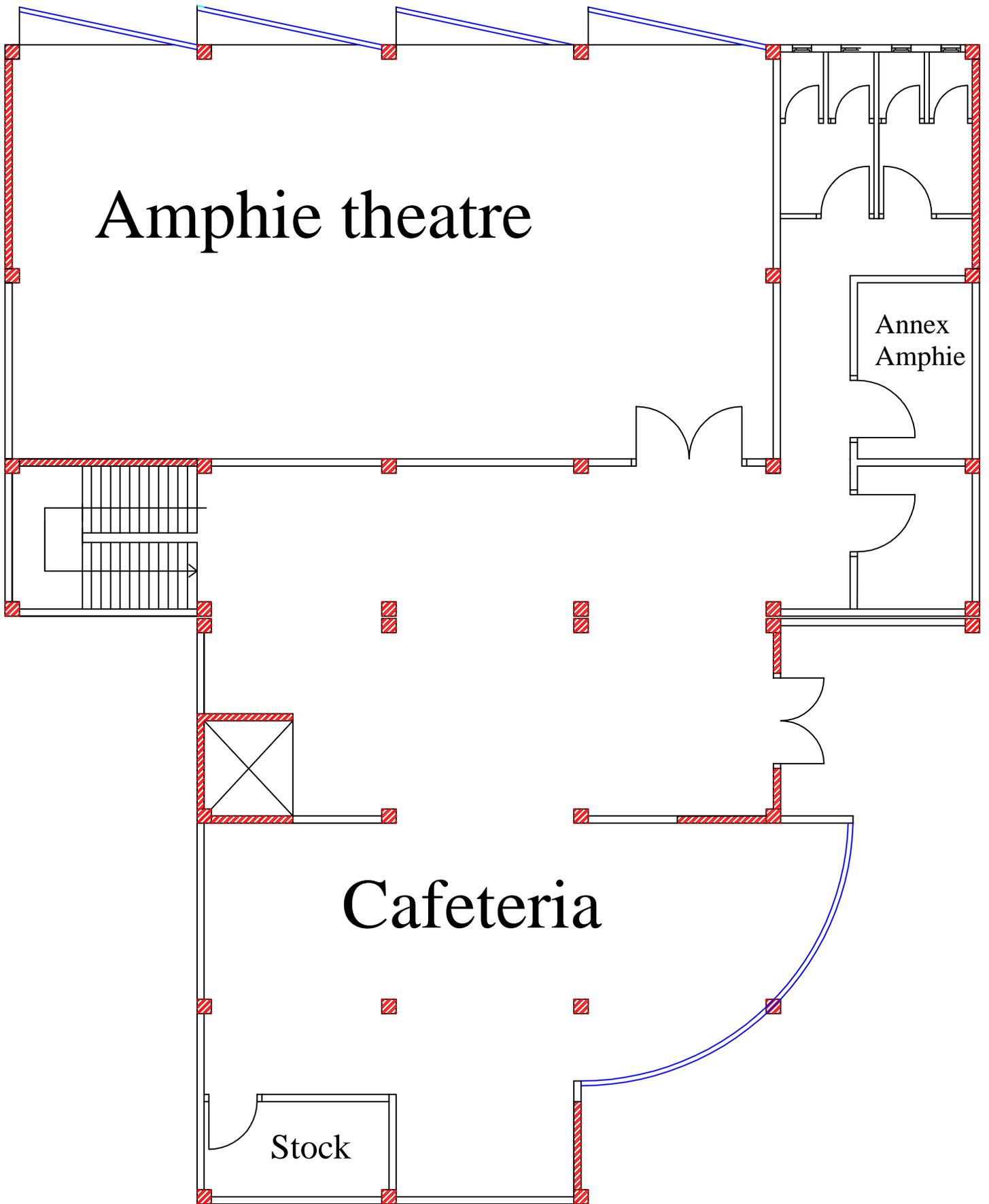
Nous avons pu montrer l'intérêt du point de vue des besoins d'énergie de chauffage, de choisir des murs extérieures de bon résistance thermique, sans ignoré d'autre facteurs qui contrôle le chois comme le cout, la disponibilité, l'aspect environnementale et la facilite d'exécution. Toutefois il reste à étudier les systèmes de chauffage et de climatisation. Ce travail futur devra aussi intégrer l'implantation de panneaux solaires pour la production d'eau chaude ou de chauffage

## Bibliographie :

- [1] CGS : « RPA 99. Révisées 2003 »
- [2] CGS : « CBA 93 ».
- [3] Mr. BOUTEMEUR : « Cours de Béton Armé et Béton Précontraint de 4<sup>ième</sup> Année »
- [4] J.PERCHAT ; J.ROUX : « Pratique du BAEL ».Ed. EYROLLES.1998 ;
- [5] Mm. A.CHIKH : « Cours de Bâtiment de 3<sup>ième</sup> Année ».
- [6] M.BELAZOUGUI : « Calcul des ouvrages en béton arme ».OPU
- [7] [http// :www.arer.org](http://www.arer.org)
- [8] Jean-Bernard GAY : « Le développement durable, matière à construction » Privat-  
Docent à l'EPFL
- [9] [http// :www.chq.gouv.qc.ca](http://www.chq.gouv.qc.ca)
- [10] [http// :www.arer.org/pj/articles/154\\_le-guide-immeuble-dd-jb-michel.pdf](http://www.arer.org/pj/articles/154_le-guide-immeuble-dd-jb-michel.pdf)
- [11] [http// :www.habitat-ecologique.org](http://www.habitat-ecologique.org)

*Annexe A :*

***PLANS***

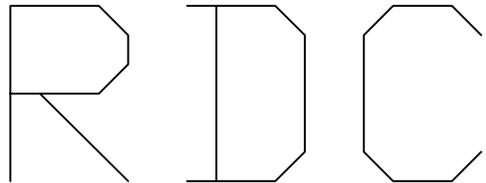


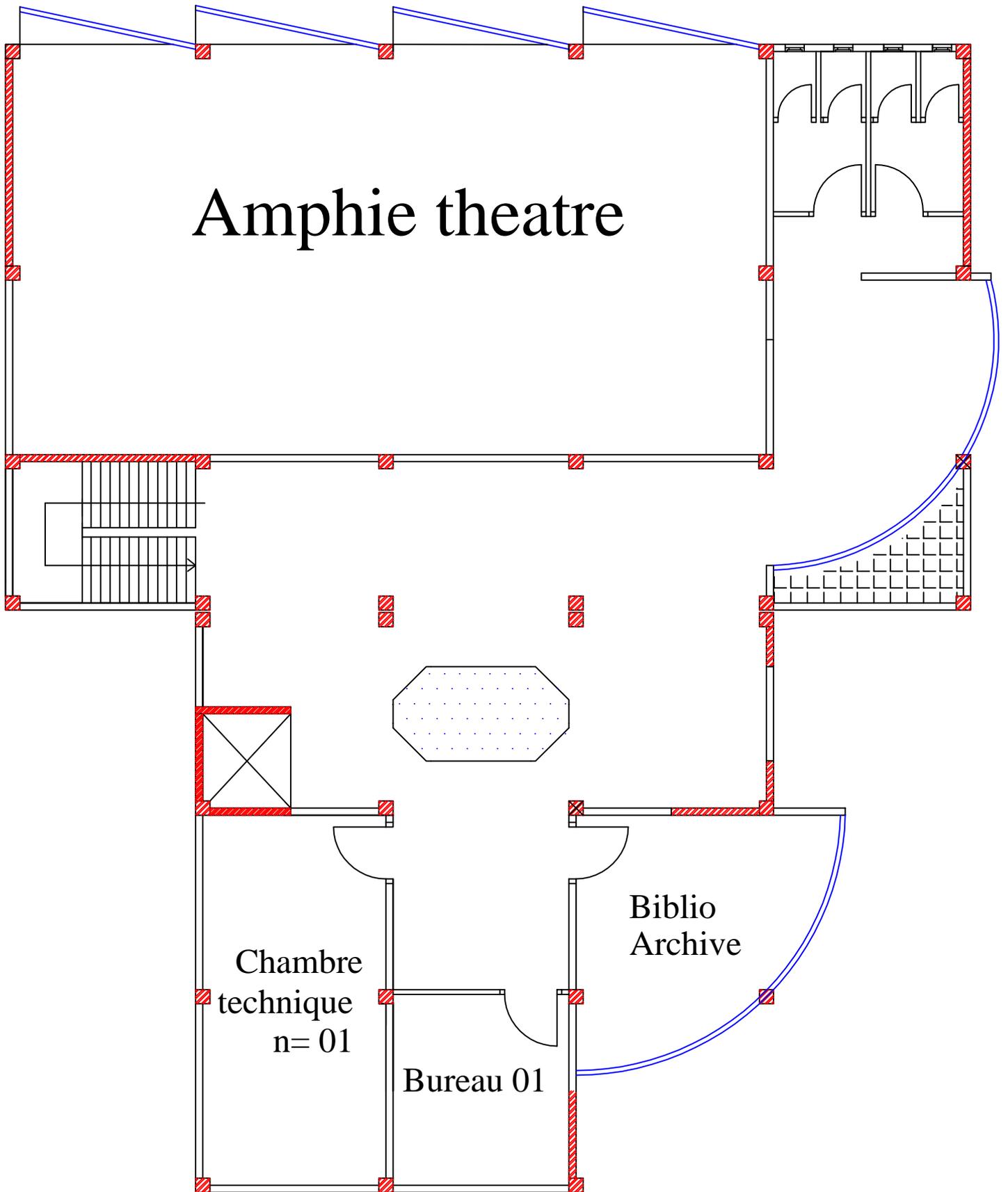
Amphie theatre

Annex  
Amphie

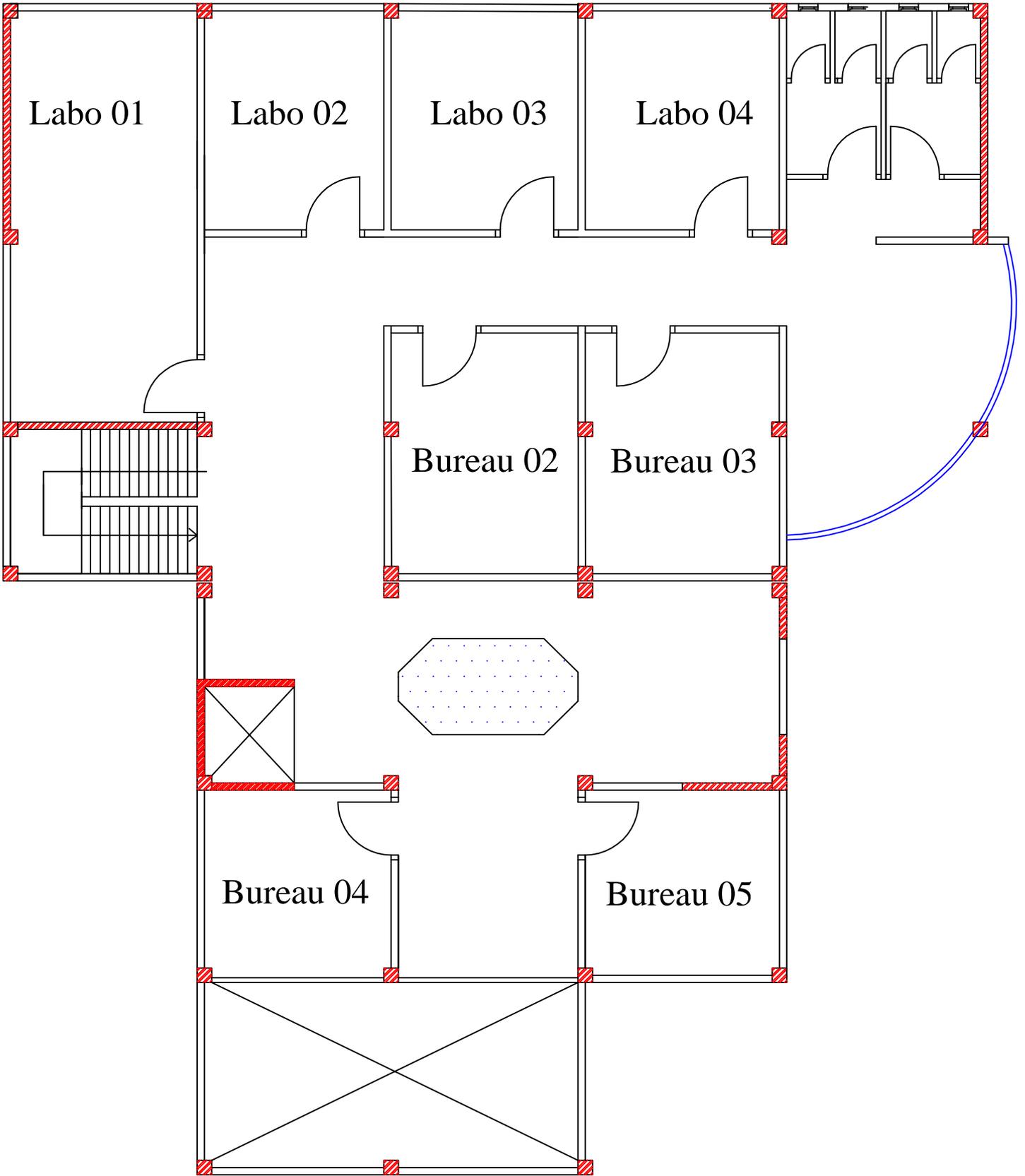
Cafeteria

Stock

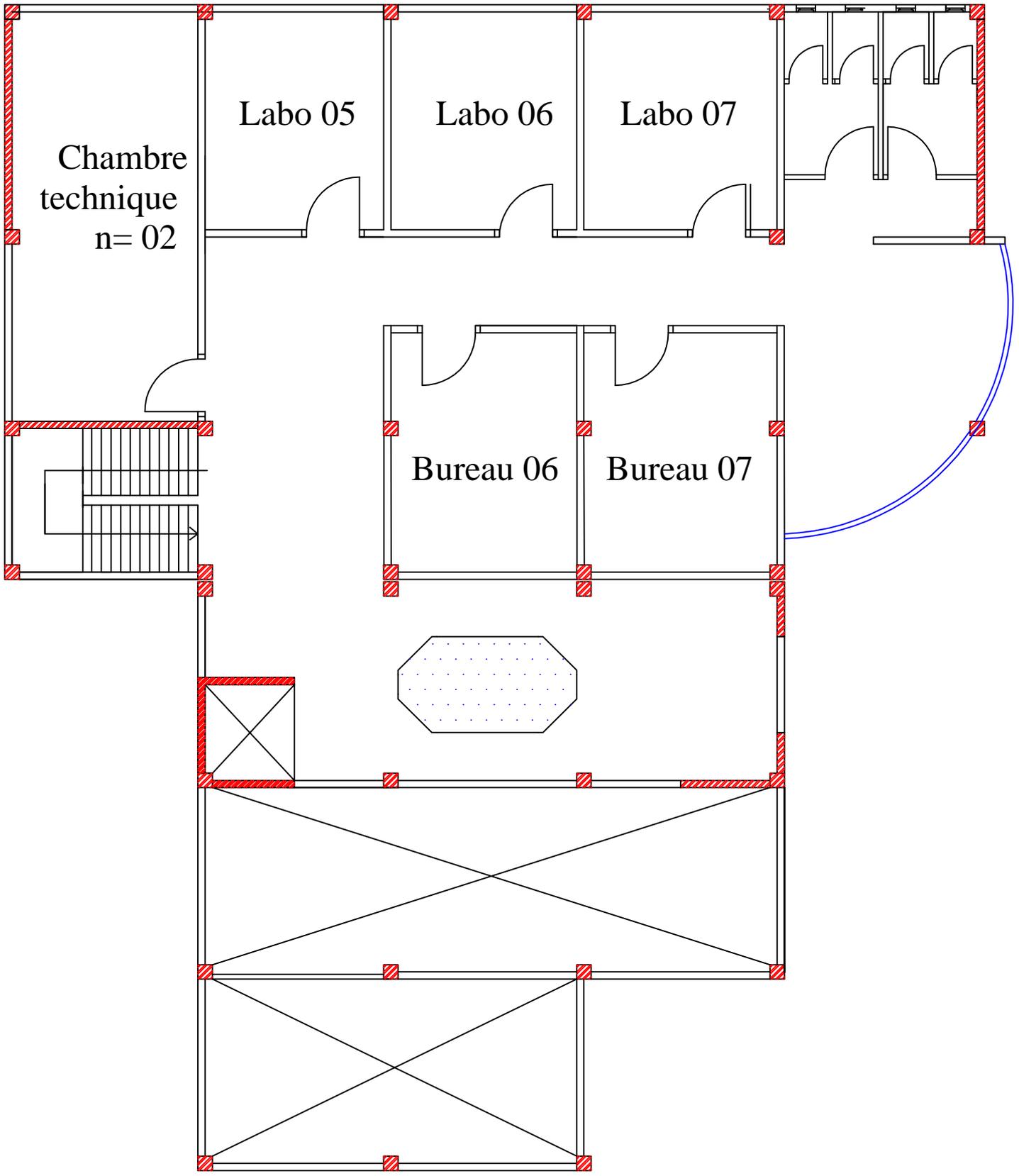




1 e r E



2 | e m E



3 i e m E

*Annexe B :*

***ETABS***



## B.1. Introduction.

Pour le calcul des sollicitations, nous avons utilisé ETABS qui a été élaboré par Computers and Structures Inc, Berkeley, California. ETABS est l'abréviation de Extended Three dimensional Analysis of Building Systems. C'est un programme d'analyses dynamique et statique des structures basées sur une formulation en éléments finis avec des fonctions destinées à la conception de bâtiments.

Le concept de base est de créer un modèle comportant la structure du bâtiment et les niveaux (planchers) et les escaliers, et tous les autres éléments sont représentés comme des chargements.

La méthode d'analyse contient une large variété d'options de l'étude statique et dynamique. Les méthodes numériques utilisées permettent un transfert automatique des charges de niveaux aux éléments porteurs.

Parmi les problèmes spéciaux pris en considération dans l'étude : la localisation du centre de rigidité, les effets des déplacements libres dans les extrémités des éléments de la structure (degré d'encastrement), tout cela en utilisant des techniques numériques rapides avec un minimum d'efforts.

## B.2. Type d'éléments.

La discrétisation est faite en éléments non conformes pour avoir une convergence rapide sans passer à des éléments d'ordre supérieur [6]. Les déplacements sont exprimés par la relation [6] :

$$u = \sum_i N_i u_i + \sum_1^3 \overline{N}_i \alpha_i \quad (\text{B- 1})$$

Les fonctions de forme utilisées sont en coordonnées naturelles normalisées [6]:

$$N_i(\xi_i, \eta_i, \zeta_i) = g(\xi_i, \xi) g(\eta_i, \eta) g(\zeta_i, \zeta) \quad (\text{B- 2})$$

$$\begin{cases} g_i = g(\xi_i, \xi) = \frac{1}{2}(1 + \xi_i \xi) \rightarrow \text{if } \xi_i = \pm 1 \\ g_i = g(\xi_i, \xi) = \frac{1}{2}(1 + \xi^2) \rightarrow \text{if } \xi_i = 0 \end{cases} \quad (\text{B- 3})$$

Les termes des déplacements incompatibles  $\overline{N}_i$  sont [6] :

$$\begin{cases} \overline{N}_1 = 1 - \xi^2 \\ \overline{N}_2 = 1 - \eta^2 \\ \overline{N}_3 = 1 - \zeta^2 \end{cases} \quad (\text{B- 4})$$



### B.3. L'intégration numérique.

Dans le développement de la matrice de rigidité pour la méthode des éléments finis ; qui est basé sur des fonctions de déplacement approximatives qui ne satisfont pas l'équilibre, il a été prouvé que l'intégration avec des méthodes numériques approximatives peut donner un meilleur résultat, et converge plus rapidement qu'une intégration numérique.

L'intégration numérique se fait par la règle de Gauss qui s'écrit dans le cas unidimensionnel [6]

$$I = \int_{-1}^1 f(s).ds = \sum_{i=1}^n W_i . f(s_i) \quad (\text{B- 5})$$

L'intégrale est évaluée aux points de Gauss  $s_i$  avec leurs poids de Gauss correspondants  $W_i$

Cette règle peut être étendue aux cas bidimensionnel ou tridimensionnel.

### B.4. L'inversion des matrices.

L'inverse d'une matrice s'obtient par la résolution du système suivant pour une matrice X de même taille que A en mettant B égale à l'identité :

$$A.x=B \text{ avec } A.A^{-1} = I \quad (\text{B-6})$$

La résolution se fait par la méthode d'élimination modifiée de Gauss [6]. Pour une équation typique :

$$\sum_{j=1}^{Neq} a_{ij}.x_j = b_i \text{ pour } i = 1 \dots N \quad (\text{B-7})$$

cette dernière peut se mettre sous la forme :

$$-\sum_{j=1}^{n-1} \overline{a_{nj}}.x_j + \frac{b_n}{a_{nn}} - \sum_{j=n+1}^N \overline{a_{nj}}.x_j = x_n \quad (\text{B-8})$$

Maintenant  $x_n$  peut être éliminé de toutes les équations avant et après l'équation n.

Par la suite,  $x_n$  va être déplacé vers la gauche de l'équation et  $b_n$  vers la droite, d'où :

$$\sum_{j=1}^{n-1} (a_{nj} - \overline{a_{nj}})x_j - \frac{a_{jn}b_n}{a_{nn}} + \sum_{j=n+1}^N (a_{nj} - \overline{a_{nj}})x_j = b_i \text{ pour } i = 1 \dots n, n+1 \dots N \quad (\text{B- 9})$$



Après n transformations, la nouvelle forme du système d'équations peut s'écrire sous la forme matricielle suivante :

$$A^{(n)} \cdot x^{(n)} = b^{(n)} \quad (\text{B- 10})$$

Après N transformations :

$$A^{(N)} = A^{-1}, x^{(N)} = -b \text{ et } b^{(N)} = -x \quad (\text{B- 11})$$

### B.5. La résolution des systèmes d'équations.

En vue de réduire la taille des matrices à stoker et donc le volume de calculs à faire, la résolution passe d'abord par certaines procédures de condensation des matrices.

Si pour un degré de liberté le déplacement n'est pas empêché (force associée nulle), une diminution de la matrice de rigidité et du vecteur force sera obtenue avec les changements suivants [6] :

$$\begin{cases} \overline{k}_{ij} = k_{ij} - k_{in} \frac{k_{nj}}{k_{nn}} \\ \overline{f}_j = f_j - f_n \frac{k_{nj}}{k_{nn}} \end{cases} \quad (\text{B-12})$$

Cette opération se répète pour tous les déplacements libres, et après l'obtention des autres déplacements associés à l'élément, ils peuvent être calculés dans l'ordre inverse de leur élimination par la relation [6]:

$$u_n = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{k_{nj}}{k_{nn}} u_j + \sum_{j=n+1}^{12} \frac{k_{nj}}{k_{nn}} u_j + f_n \quad (\text{B- 13})$$

Cette opération est appelée condensation statique ou élimination partielle de Gauss.

La matrice obtenue passe ensuite par l'opération d'élimination de Gauss (pour obtenir une matrice triangulaire supérieure).

En retournant à l'ordre original des inconnues nous obtenons une matrice bande symétrique [6]. Ainsi, seuls les termes non nuls seront à stoker et la résolution pourra être faite.

La méthode la plus appropriée pour la résolution d'un système d'équations symétriques est la décomposition  $LDL^T$ . La méthode consiste à décomposer la matrice rigidité en un produit de trois matrices : une diagonale, une triangulaire inférieure et sa transposée

$$A = LU = LDL^T$$



La décomposition se fait suivant un ordre précis (une ligne de U puis une colonne de L) par [6] :

$$U_{ij} = A_{ij} - \sum_{k=1}^{i-1} L_{ik} U_{kj} \quad (\text{B- 14})$$

$$L_{kj} = \frac{U_{kj}}{U_{kk}} \quad (\text{B- 15})$$

Le système s'écrit donc :

$$Ax = LDL^T x = LDy = b \quad (\text{B-16})$$