

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID TLEMCEEN  
FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



Projet de fin d'études  
Pour l'obtention du diplôme de Master en Génie Civil  
Option : Structure

**Thème :**

**Etude Architecture et Béton Armé d'un Lycée de 800 places  
à Boujlida**

**Présenté en 24 Juin 2018 par :**

**SLIMANI ILYAS  
MADANI HICHAM**

**Devant le jury :**

**Président: Pr.MEGNOUNIF A.  
Encadrant: M<sup>r</sup>. MAACHOU O.  
Encadrante : M<sup>me</sup>. KORSO FECIANE F.  
Examinatrice : M<sup>lle</sup>. Boudalia N.  
Examineur : Dr.DERFOUF M.**

**Année Universitaire 2017-2018**

## REMERCIEMENT :

Nous tiendrons tous d'abord à remercier Allah de nous avoir donné la force, la patience et le courage pour arriver à accomplir ce travail.

Nous exprimons nos remerciements les plus sincères à notre encadreur **Mr.MAACHOU OMAR**, pour sa patience, sa confiance, ses remarques et ses conseils, et surtout pour sa disponibilité et sa bienveillance.

Nous remercions également **Mme KORSO FEDIA** notre Co-encadreur pour son encouragement et ses dirigés grâce à sa grande connaissance et son expérience dans le domaine d'architecture.

Nous remercions le président de jury **Mr MEGNOUNIF.A** ainsi que l'examinatrice **M<sup>lle</sup> BOUDALIA.N.** et **Mr DERFOUF.M** d'avoir acceptée de lire et d'examiner ce modeste travail et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme de ce projet.

A tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation, et qui nous ont initiés aux valeurs authentiques, en signe d'un profond respect et d'un profond amour.

A toute personne qui a contribué de loin ou de près à la réalisation et la réussite de ce travail.

Merci à vous tous.

## **DEDICACE :**

Je remercie **DIEU** le tout puissant de m'avoir donnée la force et le courage de finir ce modeste travail

Je dédie ce mémoire :

A **ma mère** qui m'a encouragée à aller de l'avant et qui m'a donnée tout son amour pour finir mes études.

« Tu m'a donnée la vie, la tendresse et le courage pour réussir. Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la reconnaissance que je te porte. »

A **mon père** « L'épaule solide, l'œil attentif compréhensif et la personne la plus digne de mon estime et de mon respect. Aucune dédicace ne saurait exprimer mes sentiments, que dieu te préserve et te procure santé et langue vie »

A mes chers frères : **Abd El Kader, Abd El Hakim, Mohammed**

A mes chères belles sœurs : **Soumia, Asma**

A mes chers neveux : **Yassine, Islam, Mehdi**

A ma chère nièce : **Meryeme**

A mes chers amis : **Amine, Alae, Ismail, Oussama, Mohamed, Ayoub, Sidemen, Yassine, Kamel, Salim, Lakhdar, Abd EL Hak,**

A mes chères amies : **Imen, Nour El Houda, Amira, Nadjet, Wafia, Hayet**

A mon binôme **SLIMANI ILYAS** et sa famille

A tous ma famille

Toute la promotion sortante : 2017-2018 « Ingénieur des structure »

Toute la promotion sortante : 2016-2017 «IBG » ( Hassane , Mokhtari , TonTon , Amine , Islam , Ilyes ,Neila , Siham , Nabila )

Tous les personnes qui nous avoir aidé durant toutes la période de mon projet de fin d'étude

**HICHEM MADANI**

## **DEDICACE :**

Au nom de Dieu le tout puissant ;  
J'ai le plaisir à dédier ce modeste travail :

A mes très chers parents qui m'ont donné la vie et qui m'ont fourni au quotidien un soutien et une confiance sans faille. Aucune dédicace ne pourrait exprimer notre respect.

A mes frères et à mes sœurs.  
A tous la famille SLMANI.  
A tous la famille MADANI.  
A tous la famille DIB  
A tous la famille ABDELOUHAD.

A mes encadreurs, leur générosité et leur soutien je oblige de leurs témoigner mes profonds respects et mes loyales considérations.

A mes chers amis.

A tous qui me connaisse de près ou de loin.

Merci à tous.

**SLIMANI ILYAS**

## **RESUME :**

L'ingénieur en génie civil doit acquérir des compétences ou bien des connaissances en matière de conception architecturale qui lui permettent de mieux comprendre le dossier architectural d'un projet et par conséquent un meilleur dimensionnement de ce dernier, chose qui est négligé la plus part des fois et qui se répercute par conséquent sur la partie génie civil.

A cet effet, notre projet consiste à faire une étude architecturale et béton armé d'un bâtiment à usage scolaire (lycée) composé de blocs classes, administration et un logement de fonction, implanté à Boujilda dans la wilaya de Tlemcen. Cette région est classée en zone sismique I selon le RPA99 version 2003. Cette étude est basée sur un programme établie par le ministère d'éducation et le terrain choisi pour construire ce projet.

En première partie, L'analyse thématique et l'étude de terrain nous a permis d'arriver à la solution architecturale composé de six blocs de(R+1) plus un bloc de logement de fonction.

En deuxième partie, le dossier architectural et l'utilisation de la réglementation algérienne nous a permis de présenter la solution béton armé de notre projet composé de dimensionnement des éléments résistants et secondaires en béton armé, coffrage et ferrailage.

A la fin. Les résultats des deux parties architecturales et béton armé de notre projet sont présentés sous forme d'un dossier d'exécution.

**Mots clés :** Lycée, plan architecturale, béton armé

## **Summary**

The civil engineer must acquire skills or knowledge in architectural design that allow him to better understand the architectural file of a project and therefore a better dimensioning of the latter, something that is neglected most of the time and therefore has repercussions on the civil engineering part.

For this purpose, our project consists in carrying out an architectural and reinforced concrete study of a building for school use (high school) consisting of class blocks, administration and a functional housing, located in Boujilda in the wilaya of Tlemcen. This region is classified in seismic zone I according to the RPA99 version 2003. This study is based on a program established by the Ministry of Education and the land chosen to build this project.

In the first part, the thematic analysis and the field study allowed us to arrive at the architectural solution composed of six blocks of (R+1) plus one block of functional housing.

In the second part, the architectural file and the use of Algerian regulations allowed us to present the reinforced concrete solution of our project composed of the dimensioning of the resistant and secondary elements in reinforced concrete, formwork and reinforcement.

At the end. The results of both architectural and reinforced concrete parts of our project are presented in the form of an execution file.

**Key words:** secondary school, architectural plan, reinforced concrete

## المخلص:

يجب على المهندس المدني أن يكتسب المهارة والمعرفة في التصميم المعماري لكي يستطيع فهم السجل المعماري للمشروع بشكل أفضل وبالتالي تحسين أبعاد هذا الأخير، وهو شيء مهم في معظم الأوقات، مما يؤثر على جزء الهندسة المدنية

ولتحقيق هذه الغاية، يهدف مشروعنا إلى إجراء دراسة معمارية وخرسانية مسلحة لبناء مبنى للاستخدام المدرسي (المدرسة الثانوية) يتكون من اقسام، إدارة ومساكن وظيفية، تم انجازه في بوجيلدا ولاية تلمسان. تصنف هذه المنطقة كمنطقة زلزالية I ، وفقاً لإصدار RPA99 2003. تستند هذه الدراسة إلى برنامج وضعت وزارة التربية والتعليم.

في الجزء الأول، سمح لنا التحليل الموضوعي والدراسة الميدانية بالوصول إلى الحل المعماري المكون من ست كتل (R + 1) بالإضافة إلى كتلة من السكن الوظيفي

في الجزء الثاني سمح لنا الملف المعماري واستخدام اللوائح الجزائرية بتقديم حل لمشروعنا متمثل في الخرسانة المسلحة

في الاخير نتائج المرحلة المعمارية والخرسانة المسلحة تقدم في شكل ملف تنفيذي

**الكلمات المفتاحية:** ثانوية. مخطط معماري. الخرسانة المسلحة

# Sommaire :

## Introduction générale

### Chapitre I : Etude bibliographique

I.1 Analyse thématique :	1
I.1.1 Définition et concept :	1
I.1.1.1 Définition du lycée :	1
I.1.1.2 L'histoire de lycée Algérienne :	1
I.1.2 Système éducatif en Algérie :	2
I.1.3 LOI D'ORIENTATION SUR L'EDUCATION NATIONALE :	2
I.2 Analyse des exemples :	10
I.2.1 Lycée de Robert Schuman charenton :	10
I.2.2 Lycée de Bouira :	12
I.2.3 Lycée Mohamed Kirouani (Setif) :	16
I.2.4 lycée Ferhat Abas (Bordj Bou Arreridj) :	20
I.1.5 Tableau comparatif :	25
Conclusion :	26

### Chapitre II : étude Architecturale

II.1.1 Etude urbaine de la ville :	27
II.1.1.1 Présentation de la ville :	27
II.1.1.2 Etude et analyse :	28
II.1.1.2.1 Situation du terrain :	28
II.1.1.2.2 Analyse physique :	28
II.1.1.2.3 Analyse technique :	31
II.1.1.2.4 Analyse climatique :	32
II.1.1.2.5 Analyse des servitudes :	33
II.1.1.2.6 Le tissu urbain :	33
II.1.1.2.7 Synthèse :	34
II.2 Analyse programmatique :	35
II.2.1 Programme de base :	35
II.2.2 Programme pédagogique de construction d'un lycée :	36
II.2.3 : Organigramme :	38
II.2.3.1 Organigramme fonctionnel :	38
II.2.3.2 Organigramme spatial sous-sol :	38
II.2.3.3 Organigramme spatial du R.D.C :	39
II.2.3.4 Organigramme du spatial (R+1) :	40
II.2.4 Genèse du projet :	41

### **Chapitre III : Présentation du projet**

Introduction : .....	46
III.1 Présentation du projet : .....	46
III.2 Caractéristique géométrique : .....	48
III.3 Conception de l'ouvrage : .....	48
III.4 Caractéristiques géotechniques du sol : .....	49
III.5 Caractéristiques mécaniques des matériaux : .....	49
III.6 Sollicitations de calcul vis-à-vis des états limites : .....	50

### **Chapitre IV : DECENTE DES CHARGES ET PRE-DIMENSIONNELENTT**

Introduction : .....	52
IV.1 Détermination de l'épaisseur du plancher : .....	52
IV.2 Descente de charge : .....	52
IV.2.1 Plancher terrasse inaccessible : .....	52
IV.2.2 Plancher R.D.C : .....	53
IV.2.3 Mur extérieur : .....	54
IV.2.4 Mur intérieur : .....	55
IV.3 Pre-dimensionnement des éléments structuraux : .....	55
IV.3.1 Introduction : .....	55
IV.3.2 Pré-dimensionnement des poutres : .....	55
IV.3.2.1 Les poutres principales : .....	56
IV.3.2.2 Les poutres secondaires (chainages) : .....	56
IV.3.2.3 Pré-dimensionnement des poteaux : .....	56
IV.3.2.3.2 Vérification au flambement : .....	57
IV.3.2.3.3 Récapitulation de pré-dimensionnement des poteaux : .....	58
IV.3.3 Pré dimensionnement des voiles : .....	58

### **Chapitre V : Etude des éléments secondaires**

Introduction : .....	59
V.1 Etude des planchers à corps creux : .....	59
V.1.1 Etude des poutrelles : .....	59
V.1.2 Type des poutrelles : .....	59
V.1.3 Les charge des poutrelles : .....	60
V.1.3.1 Block 1 ; 3 ; 4 ; 6 : .....	61
V.1.3.2 Block 2 ; 5 : .....	61
V.1.4 Déterminations des efforts internes : .....	61
V.2.5 Récapitulation des $M_{max}$ et $T_{max}$ : .....	65
V.2.6 Ferrailages des poutrelles : .....	65

V.3.1 Schéma d'un escalier : .....	71
V.3.2 Calcul des escaliers : .....	71
VI.3.3 Escalier de type 01 (entre R.D.C et 1 <sup>er</sup> étage) : .....	71
V.3.3.1 Evaluation des charges et surcharges : .....	72
V.3.3.2 Calcul des sollicitations : .....	73
V.3.3.3 Calcul de ferrailage : .....	74
V.3.4 Etude de la poutre palière : .....	78
V.4 Etude de l'acrotère : .....	83
V.4.1 Principe de calcul : .....	83

### **Chapitre VI : Etude Dynamique**

VI.1 : objectif de l'étude dynamique : .....	88
VI.1.1 : Méthode de calcul : .....	88
VI. 1.1.1 : Choix de la méthode : .....	88
VI. 1.1.2 : Combinaison d'action : .....	88
VI. 1.2 : Modélisation de la structure : .....	88
VI.1.2.1 : période fondamental de la structure : .....	90
VI.1.2.2 : Détermination du poids de chaque bloc : .....	90
VI.1.2.3 : Pourcentage et participation massique : .....	91
VI.2 Analyse modale : .....	93
VI.2.1 Détermination du paramètre de spectre de réponse : .....	93
VI.2.2 Spectre de réponse de calcul : .....	95
VI.2.3 : Détermination de l'effort tranchant (V) et la force sismique (F) de chaque bloc : .....	95
VI.2.4 : Comparaison entre la force dynamique et statique : .....	96
VI.2.5 Vérification du RPA concernant l'analyse modale : .....	96
VI.2.5.1 Vérification du coefficient du comportement R : .....	96
VI.2.5.2 : Vérification Vis-à-vis des déformations (déplacement) : .....	97
VI.2.5.3 : Vérification de l'effet P-Delta : .....	98
VI.2.5.4 : Vérification au renversement : .....	98

### **Chapitre VII : Etude des element structuraux**

Introduction : .....	100
VII.1 Les poteaux : .....	100
VII.1.1 Combinaison des charges : .....	100
VII.1.2 Vérification spécifique sous sollicitations normales : .....	100
VII.1.3 Vérification spécifique sous sollicitations tangentes : .....	100
VII.1.4 Calcul du ferrailage longitudinal : .....	101
VII.1.4.1 Calcul du ferrailage transversal : .....	103

VII.1.4.2 Recouvrement : .....	104
VII.2 Les poutres : .....	104
VII.2.1 Combinaison des charges : .....	104
VII.2.1.1 Recommandation du RPA99 V 2003 : .....	104
VII.2.2 Ferrailages des poutres principales : .....	105
VII.2.2.1 Ferrailage longitudinal : .....	105
VII.2.3 Ferrailages des poutres secondaires : .....	108
VII.2.3.1 Ferrailages longitudinales : .....	108
VII.2.3.2 Recouvrement : .....	110
VII.3 Les murs voiles : .....	110
VII.3.1 Calcul des murs voiles : .....	111
VII.3.1.1 Caractéristiques des murs voiles : .....	111
VII.3.1.2 Vérification des contraintes tangentielles : .....	111
VII.3.2 Ferrailage des murs voiles : .....	112
VII.3.2.1 Calcul des armatures longitudinales : .....	112
VII.3.2.2 Calcul des armatures transversales : .....	112
VII.3.2.3 Diamètre : .....	112
VII.3.2.4 Espacement : .....	113
VII.3.3 Vérification de l'effort normal réduit : .....	113
VII.3.4 Recouvrement des murs voiles: .....	113

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

Introduction : .....	114
VIII.1 Choix du type de fondation : .....	114
VIII.2 Les sollicitations des semelles isolées : .....	114
VIII.3 Dimensionnement des semelles isolées : .....	115
VIII.4 Détermination du ferrailage des semelles : .....	116
VIII.5 Etude de la longrine : .....	118
VIII.5.1 Calcul du ferrailage de la longrine : .....	118

### **Conclusion Général**

### **Reference bibliographique**

#### **Annexe A**

#### **Annexe B**

## Liste des figures :

### Chapitre I : Etude bibliographique

Figure I.1: Lycée de BEN-AKNOUN .....	1
Figure I.2: Salle de classe.....	4
Figure I.3: Salle informatique.....	4
Figure I.4: Bibliothèque .....	4
Figure I.5: Salle de sciences .....	5
Figure I.6: Cantine scolaire .....	5
Figure I.7: Sanitaires.....	5
Figure I.8: Bureau du directeur.....	6
Figure I.9: salle d'attente.....	6
Figure I.10: Salle des professeurs .....	6
Figure I.11: Salle d'infirmierie .....	7
Figure I.12: Largeur minimale de la porte par rapport au nombre d'occupants .....	9
Figure I.13: Plan de situation du lycée .....	10
Figure I.14: Plan de masse du lycée.....	10
Figure I.15: Façade et la cour du lycée .....	10
Figure I.16:L'accès principal du lycée .....	11
Figure I.17: la cour du lycée.....	11
Figure I.18: Programme du bâtiment B.....	12
Figure I.19:Programme du bâtiment A .....	12
Figure I.20: Lycée de Bouira.....	12
Figure I.21: Vue extérieur du lycée .....	12
Figure I.22:L'accès principal du lycée .....	13
Figure I.23: Programme du R.D.C.....	14
Figure I.25: Programme du 2eme étage .....	14
Figure I.24 : Programme du 1er étage.....	14
Figure I.26: Les fonctions du R.D.C.....	15
Figure I.27: Les fonctions du 1er étage.....	15
Figure I.28: Les fonctions du 2eme étage .....	16
Figure I.29: Lycée MOHEMED KEROUANI .....	16
Figure I.30: Situation de lycée.....	16
Figure I.31: Accessibilité .....	16
Figure I.32: La circulation.....	17
Figure I.33: La trame .....	17
Figure I.34: plan du sous-sol .....	18
Figure I.35: plan R.D.C.....	18
Figure I.36:Plan 1er étage .....	18
Figure I.37: Plan 2eme étage .....	19
Figure I.38:Plan 3eme étage .....	19
Figure I.39: ORGANIGRAMME SPATIAL (sous-sol) .....	19
Figure I.40: ORGANIGRAMME SPATIAL (RDC) .....	19
Figure I.41: ORGANIGRAMME SPATIAL (1+2+3 ETAGE) .....	20
Figure I.42:L'éclairage artificiel.....	20
Figure I.43:L'éclairage naturel .....	20
Figure I.44: lycée Ferhat Abas (Bordj Bou Arreridj) : .....	20
Figure I.45: Situation de lycée.....	21

Figure I.46: Plan RDC .....	21
Figure I.47: Plan du 1er étage.....	22
Figure I.48: Plan du 2eme étage .....	22
Figure I.49: ORGANIGRAMME SPATIAL (RDC) .....	22
Figure I.50: ORGANIGRAMME SPATIAL (1+2 ETAGE) .....	23
Figure I.51: Organigramme fonctionnel.....	23
Figure I.52: La volumétrie .....	24
Figure I.53: L'éclairage.....	24
Figure I.54 : Système poteaux poutres .....	24
Figure I.55: Système mixte entre l'acier et béton armé .....	24
Figure I.56: façade extérieur sud .....	25
Figure I.57: Façade extérieur ouest.....	25

## **Chapitre II : Etude architecturale**

Figure II.1: situation de la ville .....	27
Figure II.2: les limites de la wilaya.....	27
Figure II.3: Situation du terrain Source Google Earth fait par auteur .....	28
Figure II.4: La morphologie du terrain .....	28
Figure II.5: Coup A-A du terrain Source : Google Earth (traitée par l'auteur) .....	29
Figure II.6: Coup B-B du terrain Source : Google Earth (traitée par l'auteur).....	29
Figure II.7: Forme du terrain, Dimension Source : Google Earth (traitée par l'auteur).....	29
Figure II.8: Limite du terrain.....	30
Figure II.9: limite et gabarits. Source : prise par l'auteur .....	31
Figure II.10: Vue sur les différentes limites Source : prise par l'auteur .....	31
Figure II.11: L'accessibilité du terrain (flux moyen et faible) .....	32
Figure II.12: L'accessibilité du terrain .....	32
Figure II.13: l'orientation et climat .....	32
Figure II.14: voirie réseaux divers .....	33
Figure II.15: Carte analyse des hauteurs .Source : Auteur .....	33
Figure II.16: Carte de la fonction urbaine. Source : Auteur .....	34
Figure II.17: Carte des nuisances .Source : auteur.....	34
Figure II.18: la structure du terrain.....	41
Figure II.19: Accessibilité.....	41
Figure II.20: Création des espaces transitoires .....	42
Figure II.21: épouse la forme de terrain.....	42
Figure II.22: soustraction des espaces.....	43
Figure II.23: volume .....	43
Figure II.24: Emplacement des fonctions .....	44
Figure II.25: façade principal .....	45
Figure II.26: vue en 3D .....	45

## **Chapitre III : Présentation du projet**

Figure III.1: disposition des blocs.....	46
Figure III.2: plancher en corps creux .....	48
Figure III.3: Diagramme parabole rectangle .....	50
Figure III.4: Diagramme de calcul à l'état limite de service .....	50
Figure III.5: Diagramme contrainte-déformation de l'acier .....	50

## **Chapitre IV : DECENTE DES CHARGES ET PRE-DIMENSIONNELENTT**

Figure IV.1: Plancher terrasse inaccessible.....	52
Figure IV.2: Plancher R.D.C.....	53
Figure IV.3: Coupe transversel du mur exterieur.....	54
Figure IV.4: coupe transversal du mur intérieur simple parois.....	55
Figure IV.5: Section du poteau le plus sollicité.....	56

## **Chapitre V : Etude des éléments secondaires**

Figure V.1: Diagrammes des moments fléchissant et des efforts tranchants 1er étage (type 01, block 3) SAP2000.....	63
Figure V.2: Diagrammes des moments fléchissant et des efforts tranchants 1er étage (type 01, block 3) SAP2000.....	65
Figure V.3: coupe transversal des escaliers.....	71
Figure V.4: schéma statique des escaliers.....	73
Figure V.5 : schéma statique de la poutre palière.....	78
Figure V.6 :schéma de l'acrotère.....	83
Figure V.7 : ferrailage de l'acrotère.....	87

## **Chapitre VI : Etude Dynamique**

Figure VI.1: modélisation du bloc 2.....	89
Figure VI2: modélisation du bloc 3.....	89
Figure VI.3: modélisation du bloc 4.....	89
Figure VI.4 : modélisation du bloc 5(hall).....	89
Figure VI5: modélisation du bloc 6.....	90
Figure VI.6: Pourcentage et participation massique pour bloc 2.....	91
Figure VI.7: Pourcentage et participation massique pour bloc 3.....	91
Figure VI.8: Pourcentage et participation massique pour bloc 4.....	92
Figure VI.9: Pourcentage et participation massique pour bloc 5.....	92
Figure VI.10: Pourcentage et participation massique pour bloc 6.....	92
Figure VI.11: spectre de reponse de calcul utilise par RPA pour tous les blocs.....	95

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

Figure VIII.1: Diagramme des contraintes agissant sur les fondations.....	114
---	-----

## Liste des tableaux :

### Chapitre I : Etude bibliographique

Tableau I.1: tableau comparatif des exemples.....	25
---	----

### Chapitre II : Etude architecturale

Tableau II.1: les avantages et les inconvénients du site .....	34
Tableau II.2: Programme pédagogique de construction d'un lycée.....	36

### Chapitre III : Présentation du projet

Tableau III.1: fonctionnement de chaque bloc .....	47
Tableau III.2: fonction de chaque étage .....	47
Tableau III.3: caractéristique géométrique.....	48

### Chapitre IV : DECENTE DES CHARGES ET PRE-DIMENSIONNEMENT

Tableau IV.1: Plancher terrasse inaccessible .....	53
Tableau IV. 2: Plancher R.D.C.....	53
Tableau IV.3: charge d'exploitation de R.D.C.....	54
Tableau IV.4: Mur extérieur double paroi.....	54
Tableau IV.5: Mur intérieur simple parois .....	55
Tableau IV.6 : Récapitulation de pré-dimensionnement des poutres.....	56
Tableau V7: Récapitulation de pré-dimensionnement des poteaux .....	58

### Chapitre V : Etude des éléments secondaires

Tableau V.1: charge des poutrelles du block 1 ; 3 ; 4 ; 6 .....	61
Tableau V.2: charge des poutrelles du block 2 et 5 (type 2 ; 4 ; 6 et 7) : .....	61
Tableau V.3: Récapitulation des $M_{max}$ et $T_{max}$ .....	65
Tableau V.4: Récapitulation du ferrailage des poutrelles .....	70
Tableau V.5: L'ancrage des armatures des poutrelles .....	70
Tableau V.6: Escalier.....	72
Tableau V.7: charge et surcharge de paillasse.....	72
Tableau V.8: charge et surcharge de pallier .....	73
Tableau V.9: charge et surcharge de pallier et paillasse .....	73
Tableau V.10 : sollicitations des escaliers.....	74
Tableau V.11: Récapitulation du ferrailage des escaliers .....	78
Tableau V.12: Les sollicitations de la poutre palière .....	79
Tableau V.13: Récapitulation du ferrailage de la poutre palière .....	82
Tableau V.14 :calcul des sollicitations.....	84

### Chapitre VI : Etude Dynamique

Tableau VI.1: les périodes fondamentaux pour les blocs.....	90
Tableau VI.2: Les poids du bloc .....	91
Tableau VI.3: Vérification de T.....	93
Tableau VI.4: Pénalité correspondante au critère de qualité .....	94

Tableau VI.5: l'effort tranchant de chaque bloc.....	95
Tableau VI.6: force sismique de chaque niveau pour les blocs .....	96
Tableau VI.7: Comparaison entre force dynamique et statique.....	96
Tableau VI.8: vérification du coefficient de comportement R .....	97
Tableau VI.9: Vérification Vis-à-vis des déformations (déplacement) .....	97
Tableau VI.10: Vérification de l'effet P-Delta .....	98
Tableau VI.11: valeur de M suivant X et Y .....	99
Tableau VI.12: valeur de N .....	99
Tableau VI.13: Vérification au renversement suivant X.....	99
Tableau VI.14 Vérification au renversement suivant Y .....	99

### **Chapitre VII : Etude des elements structuraux**

Tableau VII.1: Vérification spécifique sous sollicitations normales .....	100
Tableau VII.2: Vérification spécifique sous sollicitations tangentes .....	101
Tableau VII.3: Sollicitations des poteaux (ELU) .....	102
Tableau VII.4: Sollicitations du poteau de 1er étage du bloc 5 .....	102
Tableau VII.5: Ferrailage longitudinal des poteaux .....	103
Tableau VII.6: Ferrailage transversal des poteaux .....	104
Tableau VI.7 : Longueurs de recouvrement .....	104
Tableau VII.8: Sollicitations des poutres principales .....	105
Tableau VII.9: Sollicitation de la poutre principale du bloc 2.....	105
Tableau VII.10: Récapitulation du ferrailage des poutres principales .....	107
Tableau VII.11: Recouvrement des poutres principales .....	108
Tableau VII.12: Sollicitations des poutres secondaires .....	108
Tableau VII.13: Sollicitations de la poutre secondaire du bloc 5 .....	108
Tableau VII.14: Recouvrement des poutres secondaires .....	110
Tableau VII.15: caractéristique des murs voiles.....	111
Tableau VII.16: Vérification des contraintes tangentielles .....	111
Tableau VII.17: Vérification de l'effort normal réduit .....	113
Tableau VIII.18 : Recouvrement des murs voiles: .....	113

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

Tableau VIII.1: Récapitulation des efforts internes M et N .....	114
Tableau VIII.2: les dimensions des semelles isolées .....	115
Tableau VIII.3: Récapitulation du calcul des semelles isolées.....	117

## Liste des notations

$G$  : Charge permanente

$Q$  : Charge d'exploitation, facteur de qualité

$E$  : Charge accidentelle

$A_{st}$  : Section d'armature

$A_r$  : Armature de répartition

$I_x, I_y$  : Moment d'inertie

$Z$  : Bras de levier

$E_{ij}$  : Module d'élasticité instantané

$E_{vj}$  : Module d'élasticité différé

$E_s$  : Module d'élasticité de l'acier

$C_p$  : Facteur de force horizontal

$B_r$  : Section réduite

$M$  : Moment fléchissant

$N$  : Effort normal

$T$  : effort tranchant

ELU : Etat limite ultime

ELS : Etat limite service

$M_{trav}$  : Moment en travée

$M_{appuis}$  : Moment en appuis

$M_0$  : Moment maximum

$M_u$  : Moment à l'état limite ultime

$M_s$  : Moment à l'état limite service

$N_u$  : Effort normal à l'état limite ultime

$N_s$  : Effort normal à l'état limite service

$A$  : coefficient d'accélération de zone

$D$  : Facteur d'amplification dynamique

$R$  : Coefficient de comportement

$W$  : Poids total de structure

$W_i$  : Poids sismique au niveau  $i$

$V$  : force sismique totale

$V_{\text{dynamique}}$  : La résultante des forces sismique

$V_{\text{srarique}}$  : La résultante des forces sismique calculée par la méthode statique équivalente

$C_T$  : Coefficient de période

$K$  : Coefficient de raideur de sol

$f_{cj}$  : Résistance du béton a la compression à (j) jour

$f_{tj}$  : Résistance du béton a la traction à (j) jour

$f_{c28}$  : Résistance du béton a la compression à (28) jour

$f_{t28}$  : Résistance du béton a la traction à (j) jour

$h_d$  : Epaisseur de la dalle

$h_n$  : Epaisseur de la nervure

$i_x, i_y$  : Rayon de giration

$d$  : Distance séparant entre la fibre la plus comprimée et les armatures inferieurs

$d'$  : Distance entre les armatures supérieures et la fibre la plus comprimé

$l_f$  : Longueur de flambement

$l$  : Longueur de portée

$e$  : Epaisseur

$f_e$  : limite d'élasticité d'acier

$f$  : Flèche

$\overline{f}$  : Flèche admissible

$\sigma_{bc}$  : Contrainte du béton

$\sigma_{st}$  : Contrainte d'acier

$\overline{\sigma}_{bc}$  : Contrainte admissible du béton

$\overline{\sigma}_{st}$  : Contrainte admissible d'acier

$Y_b$  : Coefficient de sécurité de béton

$Y_s$  : Coefficient de sécurité d'acier

$\theta$  : Coefficient d'application

$\mu$  : Moment ultime réduit

$\alpha$  : Position relative de l'axe neutre

$\eta$  : Facteur de correction d'amortissement

$\varepsilon$  : déformation relative

$\epsilon_{bc}$  : déformation du béton en compression

$\beta$  : coefficient de pondération

$\lambda$  : Elancement

## Introduction général

Dans le domaine de la construction de bâtiment, la maîtrise de processus de la conception constitue l'un des enjeux majeurs pour assurer la délivrance d'un bon projet.

Les métiers de l'ingénierie et de l'architecture peuvent être considérés comme des domaines d'activités indépendantes, mais bien savant qu'ils sont intimement liés. Ces deux secteurs assurent les études d'un projet de construction, notamment en termes technique, fonctionnel et esthétique.

*Selon PATRICE NOVARINA « Il y'a longtemps, l'ingénieur et l'architecte n'étaient qu'un, nous sommes devenus deux !! Et de surcroît, chacun doit être plusieurs » [1]*

Cette harmonie qui se résulte dans le mélange de ces deux secteurs permet de faire des propres conceptions architecturales, des propres dimensionnements (calculs de structures) et de mieux comprendre certains aspects dans la construction aussi bien dans le bâtiment que les travaux publics.

De nos jours on assiste à une anarchie dans les édifices, une monotonie des styles de conception à cause de la négligence du mariage entre structure et architecture.

Aborder un thème aussi important que celui de la conception d'un espace éducatif n'est pas une tâche facile, dont nous proposons de concilier la rupture entre l'architecture et le génie civil.

Dans notre travail, nous nous intéressons principalement à l'architecture d'un établissement secondaire (lycée), ainsi qu'aux calculs de l'ossature structurelle. Dont le but est la création d'un établissement de qualité, et de gagner les meilleurs performances du point de vue structurel.

Donc de quelle manière allons-nous associer la réflexion architecturale esthétique avec la responsabilité de la construction et la planification de l'ouvrage, et refléter une étude de haut niveau technique nécessaire ?

Formulons l'hypothèse que l'élaboration et la réussite de notre projet dépend de trois paramètres : la bonne conception architecturale de l'étude de faisabilité, la bonne réflexion technique et structurelle, et la meilleure intégration de l'environnement externe (social, politique et architectural).

Dans cette étude, nous considérons l'hypothèse suivante : la flexibilité de ce projet dépend de sa bonne conception. En d'autres termes une mauvaise conception du projet aura, pour conséquence la défaillance de celui-ci.

Les objectifs de ce travail est résumé come ce suit :

- Associer les études architecturales avec le génie civil
- Assurer un bon lieu d'enseignement
- Rendre le secteur de l'éducation un sujet et non pas un objet
- Assurer la flexibilité des lieux permet la variété des situations d'apprentissage
- Adapter une meilleure structure avec un établissement purement éducatif

Le travail qui nous a été effectué devisé en deux parties :

La première partie c'est la partie architecturale qui consiste à faire des analyses des exemplaires des lycées dans le territoire national ou à l'étranger pour prendre idée et l'inspiration comment doivent dessiner le plan, et après on fait une analyse de site pour connaître les points de fort et faible de ce terrain, après tout ça on commence à réaliser le plan.

La deuxième partie c'est la partie génie civil, on entame notre étude par une description générale avec une présentation des éléments de bâtiment.

Ensuite, on va suivre des règlements et des méthodes connues (**BAEL91 modifié 99, RPA99 V 2003 et DTRB.C2.2**) pour faire un pré-dimensionnement des éléments structuraux et non structuraux et la descente des charges.

Puis, on enchaîne avec l'étude dynamique qui sera réalisée par le logiciel **SAP2000** afin de vérifier la stabilité et la sécurité des structures en fonction de la résistance des différents éléments structuraux (poteaux, poutres, voiles...) aux différentes sollicitations (compression, flexion...).

Enfin, on termine par une conclusion générale.

# CHAPITRE I : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## Introduction :

Le but du présent chapitre est d'examiner un ensemble de projets des lycées pour mieux comprendre leur fonctionnement, et voir les démarches de la conception architecturale dans le secteur d'enseignement, ceci nous permettra par la suite de faire ressortir une synthèse de règles à en tenir compte pour dimensionner et concevoir un équipement répondant bel et bien aux exigences et besoins des usagers et leurs attentes qu'on va comparer finalement aux normes et règlements régissant ce type de construction et prendre en charge tous ces contraintes dans l'étude de notre projet

### I.1 Analyse thématique :

#### I.1.1 Définition et concept :

##### I.1.1.1 Définition du lycée :

- ❖ Établissement d'enseignement du second, il correspondant principalement aux trois dernières années de l'enseignement secondaire, sanctionnées par le baccalauréat. Pour des adolescents âgés généralement de 15 à 18 ans. [2]
- ❖ Un lycée est plus souvent connu comme un type d'établissement enseignant le programme scolaire établi par le Ministère de l'Education Nationale. [3]

##### I.1.1.2 L'histoire de lycée Algérienne :

Pendant l'année 1835, l'enseignement secondaire a été donné, en Algérie, dans un lycée avec 10 élèves et un institut secondaire à Constantine. Puis, 4 collèges sont créés à Oran, Mostaganem, Bône et Philippeville. On arrive en 1959 à 25 lycées et 24 collèges.

Le Grand lycée impérial d'Alger est devenu le lycée Bugeaud. Il a donné naissance au Petit lycée, appelé plus tard "Gautier", puis à celui de Ben-Aknoun. Pour les filles s'ajoutait au lycée Delacroix, fondé en 1903 et appelé pendant longtemps " la Ligue ", son annexe à partir de 1914, le lycée Fromentin dont le recteur Gau disait qu'il était unique en France, par sa conception et sa situation, pièces maîtresses idéales, mais difficile à reproduire. "

Puis, beaucoup de beaux lycées furent construits un peu partout en Algérie dans les principales villes jusqu'à la veille de l'indépendance. 1 500 professeurs avaient en charge leurs élèves. [4]



Figure I.1: Lycée de BEN-AKNOUN [5]

Après sa révolution contre le colonialisme français qui c'est concrétisée par son indépendance en 1962, l'Algérie a entamé plusieurs autres révolutions dans différents domaines. L'une des plus importantes fut la révolution culturelle, qui avait pour but de compléter l'indépendance acquise par les armes, en permettant aux Algériens d'affirmer leur personnalité, en redevenant eux-mêmes.

Partant de là, cette révolution a mis l'accent sur certains points essentiels pour réformer le système éducatif algérien, à savoir :

- La décolonisation de l'enseignement,
- La démocratisation,
- L'arabisation.

D'autres réformes ont été adoptées un peu plus tard, pour permettre au système éducatif de suivre l'évolution de la société algérienne, et du monde extérieur. [6]

### **I.1.2 Système éducatif en Algérie :**

#### **I.1.2.1 Description de système éducatif en Algérie :**

*L'enseignement en Algérie est structuré de la façon suivante :*

- *L'enseignement préscolaire non obligatoire.*
- *L'enseignement fondamental, obligatoire et gratuit, d'une durée de 9 ans, réparti en 3 paliers*
- *L'enseignement secondaire général et technique.*
- *L'enseignement supérieur.*
- *La formation professionnelle*

#### **I.1.2.2 Les taux de scolarisation :**

A. L'enseignement fondamental :

Selon l'estimation de l'UNICEF l'enseignement fondamental :

*<<Officiellement, la scolarisation est obligatoire de 6 à 16 ans alors qu'en réalité la durée réelle de la scolarisation dans l'enseignement fondamental s'étend de 5 à 19 ans. Cela est dû en grande partie au fort taux de redoublement, en particulier à partir de la 6ème année d'enseignement où il concerne 1/5ème des élèves.*

*Le taux de scolarisation régresse d'un palier à un autre. Il est plus élevé dans le 1er palier et diminue progressivement dans les deux suivants. >>*

B. L'enseignement secondaire :

Toujours d'après l'UNICEF :

*<<Théoriquement, la tranche d'âge de scolarisation dans l'enseignement secondaire se situe entre 15 et 18 ans, mais en réalité cette tranche d'âge s'étend de 14 à 21 ans. La scolarisation dans l'enseignement secondaire concerne à peine le tiers de la population des élèves de 15 à 18 ans (25% dans l'enseignement général, 4% dans l'enseignement technologique et 2% dans l'enseignement technique)>> [7]*

### **I.1.3 LOI D'ORIENTATION SUR L'EDUCATION NATIONALE :**

#### **I.1.3.1 L'enseignement secondaire général et technologique :**

- **<<Art.53** : L'enseignement secondaire général et technologique constitue la voie académique en aval de l'enseignement fondamental obligatoire.

Il a pour missions, outre la poursuite des objectifs généraux de l'enseignement fondamental :

- De consolider et d'approfondir les connaissances acquises dans les différents champs disciplinaires
  - De développer les méthodes et les capacités de travail personnel et de travail en équipe et de cultiver les facultés d'analyse, de synthèse, de raisonnement, de jugement, de communication et de prise de responsabilités
  - D'offrir des parcours diversifiés permettant la spécialisation progressive dans les différentes filières en rapport avec les choix et les aptitudes des élèves
  - De préparer les élèves à la poursuite d'études ou de formations supérieures. >>
- <<**Art. 54:** L'enseignement secondaire général et technologique, d'une durée de trois (3) ans, est dispensé dans des lycées.

L'enseignement secondaire général et technologique peut Être dispensé dans des établissements privés d'éducation et d'enseignement agréés, créés en application de l'article 18 ci-dessus. >>

- <<**Art. 55:** L'enseignement secondaire général et technologique est organisé en filières ; il peut être organisé :
- En tronc communs en première année
  - En filières à compter de la deuxième année.

Les filières sont déterminées par le ministre chargé de l'éducation nationale. >>2

- <<**Art. 56:** La fin de la scolarité dans l'enseignement secondaire général et technologique est sanctionnée par le baccalauréat de l'enseignement secondaire.

Les modalités de délivrance du baccalauréat de l'enseignement secondaire sont fixées par le ministre chargé de l'éducation nationale. >> [8]

#### **I.1.4 Les normes et les exigences dans la construction d'un lycée :**

##### **I.1.4.1 Programme de local (paquet minimum d'infrastructure pour un lycée) :**

On désigne par paquet minimum les éléments essentiels devant constituer un établissement scolaire pour assurer un minimum d'apprentissage de qualité. Pour un lycée :

- salles de classe en dur accessibles correspondant aux niveaux concernées et équipées en mobilier adapté, en meuble de bibliothèque, en matériel didactique et manuels scolaires
- Des sanitaires répondant à la norme minimum.
- Un accès à l'eau.
- L'éclairage artificiel (branchement au réseau, batteries photovoltaïques, groupe électrogène...).
- Un local administratif ayant : un secrétariat, une direction, une salle des professeurs, une toilette et un dépôt pour le rangement du matériel.
- Une cour de récréation clôturée avec mini-terrain de sport.
- Un local d'entretien.
- Une boîte à pharmacie bien équipée.

### I.1.4.2 Description des locaux : [9]

#### A. Salles de classe pour l'enseignement fondamental (50 m<sup>2</sup>) :

Elles peuvent accueillir 40 élèves. Les salles de classe répondent aux caractéristiques suivantes :

**Dimensions :** La salle de classe type a une surface de 50 m<sup>2</sup> ce qui permet de recevoir 40 élèves, au maximum. On compte en principe 1,25 m<sup>2</sup> par élève. Les dimensions intérieures de 7,20 m pour la largeur et de 7,20 m pour la longueur sont actuellement privilégiées.

**Circulation :** Une galerie couverte, placée au-devant de la façade principale protège la classe contre les intempéries (soleil et pluie) et facilite la circulation des élèves devant les classes. Cette galerie équipée d'une rampe permet l'accès des enfants en situation de handicap au bâtiment.

**Volume :** La hauteur du mur est de 3,00 m du niveau bas sous la toiture et à 4,20m au niveau du sommet du toit. La classe offre en effet un volume de 186,62 m<sup>3</sup> pour 40 élèves et un enseignant soit un volume d'air de 4,55 m<sup>3</sup> par individu.



Figure I.2: Salle de classe

#### B. Salle informatique (50 m<sup>2</sup>) :

Intérieure, à l'éclairage naturel et artificiel (choix des luminaires), l'éclairage doit être particulièrement pensé en fonction de l'utilisation de l'écran. La pose de stores ou de rideaux spéciaux permettant le travail en semi obscurité favorisera aussi la rétroprojection. En raison du dégagement de chaleur des appareils, ainsi que d'éventuelles émanations gazeuses dues aux matériaux, la salle doit pouvoir être facilement ventilée. Il est conseillé de prévoir un tableau blanc pour éviter la poussière de craie et permettre la projection. Exigence particulière. Espace sécurisé. Ce type d'équipement et le matériel qu'il contient est susceptible d'attirer la convoitise



Figure I.3: Salle informatique

#### C. Bibliothèque (75 m<sup>2</sup>) :

La bibliothèque est du type ouvert et doit permettre le rangement et la consultation de 4 à 5 volumes par élève, soit pour 360 élèves : 1800 volumes

Elle est composée de différentes aires dont un espace de rayonnage des volumes, un comptoir de prêts, une salle de travail des élèves, un espace de rangement pour l'équipement audiovisuel, le bureau du bibliothécaire, un dépôt. La superficie allouée varie en fonction du nombre d'élèves que l'école peut accueillir.



Figure I.4: Bibliothèque

Dans la zone de consultation, l'éclairage naturel et une acoustique de qualité favoriseront une bonne ambiance de travail visant à développer le goût de la lecture, la recherche de l'information, l'incitation à la création individuelle ou collective.

Un éclairage individuel est prévu pour desservir les plans de travail et la zone multimédias en complément de l'éclairage général. Des prises de courant murales sont régulièrement disposées. Espace sécurisé.

D. Salle de sciences : biologie/physique/chimie :

Une salle de classe distincte ou un espace à l'intérieur d'une classe peut servir de laboratoire de base pour l'étude des sciences naturelles. Dans le cas d'une salle de classe distincts, doivent notamment figurer un espace enseignant, un espace de présentation, des tableaux scientifiques, une douche d'urgence, un espace de biologie extérieur (plantes en pot, fleurs, animaux),

un espace de stockage du matériel, un espace de stockage bien ventilé pour les déchets toxiques et acides, une salle de préparation des expériences de laboratoire et un espace de nettoyage avec évier et robinets. Le laboratoire doit bénéficier d'une bonne ventilation naturelle et être à l'abri de la lumière directe du soleil.

Surface moyenne : de 75 m<sup>2</sup>. La salle de sciences doit être polyvalente et permettre à la fois l'enseignement théorique à une classe entière et des travaux de laboratoire. L'équipement comprend de nombreuses armoires de rangements. Des blocs de laboratoire avec eau, gaz, électricité.

Elle doit autoriser toutes les formes de projection, y compris d'images et de textes informatisés. Elle sera donc obscurcie, bénéficiera d'un éclairage réglable.

Une disposition judicieuse des espaces de préparation des expériences, de stockage des produits toxiques et de documentation est importante



Figure I.5: Salle de sciences

E. Cantine scolaire :

Suivant les besoins locaux, les bâtiments scolaires sont à équiper d'une cantine destinée à servir un repas de midi aux élèves. Il comprend l'espace pour la cuisine proprement dite de 16 m<sup>2</sup> environ, pourvu d'un écoulement de sol, un dépôt pour la nourriture d'environ 9 m<sup>2</sup> et un réfectoire de 100 m<sup>2</sup> pour 300 rationnaires environ.



Figure I.6: Cantine scolaire

F. Sanitaires collectifs à l'usage des élèves "filles" ou garçons/ espace lave-mains (m<sup>2</sup>) :

Les sanitaires sont accessibles de l'extérieur et doivent être d'un accès facile. Les sanitaires destinés aux handicapés servent également de WC pour les maîtres.



Figure I.7: Sanitaires

G. Les locaux de l'administration :

On groupe sous cette appellation les espaces utilisés par le personnel enseignant et le personnel administratif de l'école. La composition varie selon les types de bâtiments et l'effectif des élèves. Ils comportent généralement les locaux suivants :

a. Bureau du directeur :

Il doit permettre d'accueillir 2 à 3 visiteurs- une partie de ce bureau sera réservée à la conservation des archives scolaires, bibliothèque, coin de lecture. C'est également dans cette salle où sont rangés les ouvrages pédagogiques, la photocopieuse, le massicot et la réserve de papier. Lieu de reproduction de documents, de travaux d'élèves, de photos, de documents informatiques (internet)

Cet espace du fait de sa fonction singulière doit être sécurisé vis à vis des enfants et de l'extérieur.

Les fenêtres sont en lames de verre côté cour de récréation et entrée de l'école de façon à contrôler les entrées et sorties des élèves.



Figure I.8: Bureau du directeur

b. Local de matériel scolaire (économat)/dépôt pour le rangement du matériel pédagogique et archivage/ (surface moyenne : entre 8 et 12,50 m<sup>2</sup>) :

Lieu de réception, stockage, tri et distribution du matériel scolaire et éventuellement des réserves de matériel didactique, de stockage des archives de l'école, et de rangement de matériel récréatif (ballons, filets, livres...).

Ses dimensions doivent être adaptées au volume du matériel entreposé.

Espace sécurisé : ce local doit être facilement accessible pour un camion.

c. Secrétariat, salle d'attente et réception (12 m<sup>2</sup>) :

Pour les écoles pourvues d'un secrétariat, il est réservé un local de bureau distinct de la direction. Le secrétariat est aménagé à la fois pour le travail de bureau et pour l'accueil des élèves, des enseignants et des personnes extérieures à l'école.



Figure I.9: salle d'attente

d. Salle des professeurs (12 à 20 m<sup>2</sup>) :

Cette salle est à la fois un lieu de détente et un lieu de travail pour l'équipe enseignante. Elle lui permet de prendre des pauses ou éventuellement le repas mais aussi d'organiser des réunions internes ou encore de préparer les cours. Elle est prévue pour l'accueil de maitres. Prévoir l'implantation d'un poste informatique avec accès internet pour utilisation collective ou individuelle (écoute de CD, consultation collective des sites pédagogiques, registres, préparation des cours), avec coin cafeteria.



Figure I.10: Salle des professeurs

e. Bureau du censeur (12 m<sup>2</sup>)

f. Salle d'infirmierie (10 m<sup>2</sup>)

Elle doit être lumineuse avec lavabo médical, armoire à pharmacie fermée à clé et lit d'examen. Son aménagement doit permettre un nettoyage et une désinfection faciles.



Figure I.11: Salle d'infirmierie

g. Sanitaires adultes (5 m<sup>2</sup>) :

Pour le personnel enseignant et administratif, Ce local n'existe seulement qu'en milieu urbain là où l'eau courante est disponible. Il est nécessaire de prévoir ces sanitaires adultes aux normes « handicapés ». Dans les autres cas, les adultes utiliseront les sanitaires pour handicapés.- Distribution d'eau froide.

h. Logement gardien (12 à 25 m<sup>2</sup>) et guérite (4 à 6 m<sup>2</sup>) :

Logements destinés au gardien de l'école permettant d'assurer une présence permanente sur le site et de garantir une meilleure sécurité pour les bâtiments. Il est recommandé d'aménager un studio pour le gardien dans tout complexe scolaire important (Fondamentale à cycle complet). Il comprendra une guérite, une cuisine, une chambre et une toilette. Le logement du gardien est pourvu d'un accès indépendant et doit réserver à ses utilisateurs une intimité normale.

La guérite est un local placé en contact avec l'entrée principale de l'école.

Deux conceptions sont possibles quant à sa situation par rapport au logement du gardien :

- la guérite et le logement sont situés dans des zones différentes
- la guérite est intégrée au logement.

i. Logement des professeurs (70 à 80 m<sup>2</sup>) :

Dans les écoles situées dans des coins reculés, il est souhaitable de prévoir un logement pour le directeur ou et les professeurs.

Le principe est de créer un cadre de vie décent et acceptable pour motiver le personnel à rester.

L'école et le logement seront distincts. Il n'aura aucune communication directe.

Il comprendra deux ou trois pièces, une cuisine, une salle de bain. La superficie totale sera de 70 à 80 m<sup>2</sup> carrés.

j. Locaux techniques (12 m<sup>2</sup>) :

Ces espaces sont destinés à recevoir les différents équipements nécessaires au fonctionnement du bâtiment : local du tableau électrique, local poubelle, local d'entretien.

Les éléments locaux techniques ne sont pas obligatoirement proches les uns des autres.

### **I.1.4.3 Les normes architecturales : [10]**

#### **A. Conception architecturales :**

L'école doit comprendre le nombre de bâtiments qui lui est nécessaire selon ses besoins. Chaque projet d'école doit faire l'objet d'une étude propre, qui visera à adapter au mieux les plans types proposés aux spécificités du terrain (forme, pente, présence d'éléments particuliers comme des arbres, des rochers...), du milieu (densité urbaine) ainsi qu'aux spécificités locales (climat, matériaux et savoir-faire locaux, accessibilité...).

#### **B. Nombre de niveau :**

En agglomération urbaine, un bâtiment scolaire ne doit pas comprendre plus d'un étage au-dessus du rez-de-chaussée. En milieu rural, il comporte au plus un niveau.

Le ministère de l'Education nationale est toutefois compétent pour admettre des exceptions si des circonstances particulières le justifient, notamment dans le cas de problèmes d'intégration au site.

#### **C. Hauteur et forme de salle de classe :**

- La hauteur libre plancher-plafond des salles de classe et des locaux destinées à recevoir des élèves est de 3,00 m au minimum, à l'exception des préaux qui doivent avoir 4 mètres au minimum
- Les possibilités d'éclairage naturel déterminent, pour une part considérable, la forme des salles de classe :
  - Un éclairage unilatéral permet une profondeur pouvant atteindre au maximum 7m
  - Un éclairage mixte comportant un apport principal de lumière depuis la gauche et un apport supplémentaire provenant de la paroi arrière ou zénithal permet une profondeur pouvant atteindre 8 m au maximum ;
  - Un éclairage mixte autorise la construction de salles de forme carrée ou rectangulaire.
  - Les baies vitrées principales se situent à gauche par rapport à la position normale des élèves

### **I.1.4.4 Dégagement et évacuation : [10]**

#### **A. Dégagement :**

Les dégagements (portes, escaliers, couloirs, circulations, rampes) doivent permettre l'évacuation rapide et sûre de l'établissement en cas de catastrophe, en particulier, aucun matériel, aucun objet ne doit faire obstacle à la circulation des personnes. Sur le parcours des chemins d'évacuation, les portes ne peuvent comporter de verrouillage empêchant leur utilisation dans le sens de l'évacuation.

Le nombre de personnes accueillies détermine le nombre de dégagements et la largeur de ceux-ci qui s'établissent comme suit :

La largeur des dégagements est calculée en fonction des unités de passage, l'unité de passage à une largeur de 0.60m. Les règles pour définir la largeur des dégagements :

- Quand un dégagement ne comporte qu'1 ou 2 unités de passage, la largeur de ce dégagement est portée de 0.60 m à 0.90 m et de 1.20 m à 1.40 m .

Capacité d'accueil du local	Nombre et largeur minimale des portes	Sens d'ouverture
< 20 personnes	1 dégagement minimum de 0,90m	
$20 \leq$ nombre d'usagers < 50	Soit 1 dégagement de 1,20 m (si distance sur l'extérieur $\leq$ 15m) Soit 1 dégagement de 1,40 ou 2 dégagements dont 1 de 0,90 de large et l'autre de 0,60 m (si distance sur l'extérieur $\geq$ 15m)	
$50 \leq$ nombre d'usagers < 100	Soit 2 dégagements de 0,90m ou 1 dégagement de 1,40m + 1 dégagement accessoire de 0,60m	Dans le sens de l'évacuation
$100 \leq$ nombre d'usagers < 200	2 dégagements : 1.40 + 0.90m	"
$200 \leq$ nombre d'usagers < 300	2 dégagements : 1.40 + 1.40m	"
$\geq 300$	2 + n portes (n étant le nombre entier immédiatement supérieur au quotient du nombre maximal de personnes occupant ou pouvant se trouver dans le compartiment par 1000).}	"

Figure I.12: Largeur minimale de la porte par rapport au nombre d'occupants [10]

### B. Nombre et dispositions relatives à la construction des escaliers :

- Nombre d'escalier :

Moins de 50 occupants à l'étage : un seul escalier est possible. Au-delà de 50, 2 escaliers sont obligatoires

Largeur des escaliers > 2 m

La largeur des galeries et couloirs dépend du nombre d'élèves qui y ont accès. Il est toutefois prescrit une largeur de circulation de 2,00 m pour les galeries et les couloirs.

- Les escaliers présentent les caractéristiques suivantes :

- Ils sont du type droit.
- Les escaliers de forme circulaire ne sont pas admis.
- Les escaliers extérieurs ne sont admis que seulement s'ils sont abrités.
- Pour le confort d'usage d'un escalier : La hauteur des marches (h) et le giron (g) doivent respecter la relation de Blondel, basée sur l'amplitude d'un pas moyen :  
 $60 \text{ cm} < 2h + g < 64 \text{ cm}$
- Hauteurs et largeurs doivent être régulières dans la même volée, toutefois cette prescription n'est pas exigible pour la première marche.
- Le nez des marches d'escaliers n'est jamais construit en saillie sur la contremarche et les évidements entre les marches sont interdits. Les marches d'escaliers seront munies d'un nez de marche antidérapant fixé solidement.
- Les espaces vides entre les escaliers et les murs sont proscrits ; lorsque l'escalier n'est pas solidaire d'un mur, les limons doivent remonter sur les bords de la volée et du palier.
- Tout escalier intérieur ou extérieur, doit être doublé par une rampe.

## I.2 Analyse des exemples :

### Introduction :

L'analyse d'un exemple de projet est une phase très importante dans la confection d'un raisonnement réfléchi sur la conception du projet.

#### I.2.1 Lycée de Robert Schuman charenton : [11]

##### A. Identification :

- ✓ Nom du lycée : Robert Schuman charenton
- ✓ Adresse : 2 Rue de l'Embarcadère 94220 Charenton le Pont
- ✓ Dates de conception, de réalisation et d'ouverture : 2009
- ✓ Surface : 8 232 m<sup>2</sup> SHON (lycée : 7 514 m<sup>2</sup> / logements : 718 m<sup>2</sup>)
- ✓ Coût travaux : 19 974 347 € HT, valeur nov. 2007
- ✓ Maîtrise d'ouvrage : Région Île-de-France
- ✓ Maître d'ouvrage délégué : SADEV 94

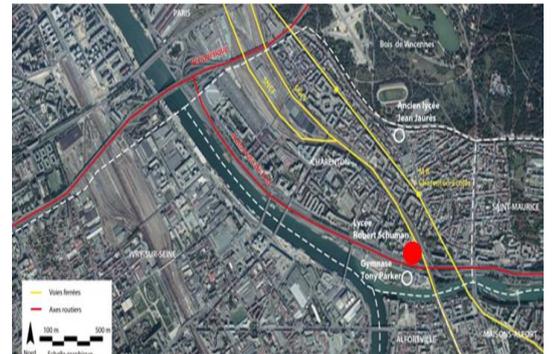


Figure I.13: Plan de situation du lycée

- ✓ Assistant à maître d'ouvrage HQE : Oasiis
- ✓ Architecte mandataire : Epicuria architectes
- ✓ Architecte associé : Atelier d'architecture Malisan
- ✓ Architecte HQE : Sophie Brindel-Beth, SLH
- ✓ Entreprise générale : Urbaine de Travaux
- ✓ L'importance du projet : territoriale

##### B. Contexte historique :

- ✓ construction neuve
- ✓ fonctionnaliste

##### C. Programme :

- ✓ Les fonctions de l'œuvre : Enseignement, Vie scolaire et sociale, Administration et logistique et demi-pension
- ✓ Les différents espaces de ces fonctions :
  - Enseignement : dont salle d'arts plastiques (hors dépôt)
  - Vie scolaire et sociale : dont CDI (hors salles de travail)
  - Administration et logistique
  - Demi-pension



Figure I.14: Plan de masse du lycée



Figure I.15: Façade et la cour du lycée

#### D. Insertion urbaine :

Accessibilité piétonne :

Du fait de sa localisation dans un tissu urbain dense à proximité de Paris, le lycée bénéficie d'une bonne accessibilité. Les élèves viennent à pied ou avec les lignes régulières des transports en commun : la commune est desservie par le métro et par plusieurs lignes de bus.



Figure I.16:L'accès principal du lycée

#### E. Performance et confort :

Lumière naturelle et artificielle :

Les surfaces vitrées permettent de maximiser l'apport de lumière naturelle. La luminosité dans les différents espaces et les faibles besoins d'éclairage artificiel sont cités comme un important facteur de confort par une grande majorité des usagers rencontrés.



Figure I.17: la cour du lycée

#### F. Espace et qualité d'usage :

La Cour :

Bien que la cour soit appréciée des adultes, notamment pour son jardin paysagé, elle est peu utilisée par les élèves, qui se rendent massivement sur le parvis du lycée lors des pauses.

Circulation :

Sur les deux façades extérieures longées respectivement par les voies de chemin de fer et l'autoroute, la double peau vitrée donne à voir les trains et les voitures tout en rendant imperceptible le bruit de leur passage. Les usagers rencontrés apprécient la lumière naturelle abondante et l'effet esthétique créé par le passage silencieux des véhicules le long du bâtiment. Les circulations ont bénéficié d'un traitement acoustique et d'un dimensionnement généreux qui préviennent les tensions liées au flux des élèves.

### G. Programme et fonction du lycée :

Programme du bâtiment A et B :

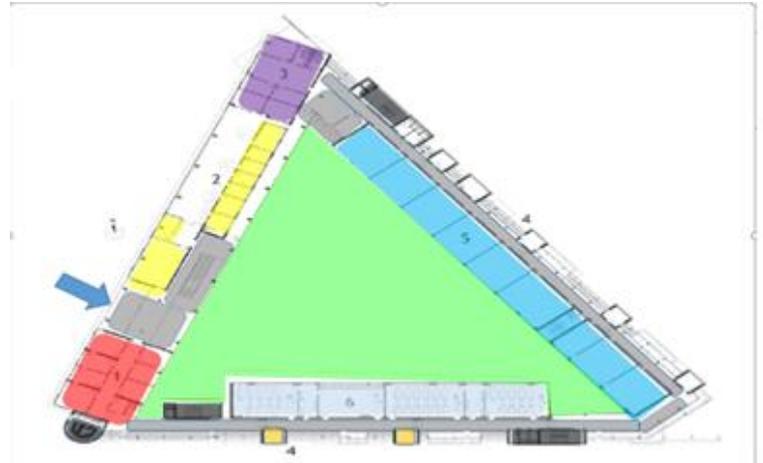
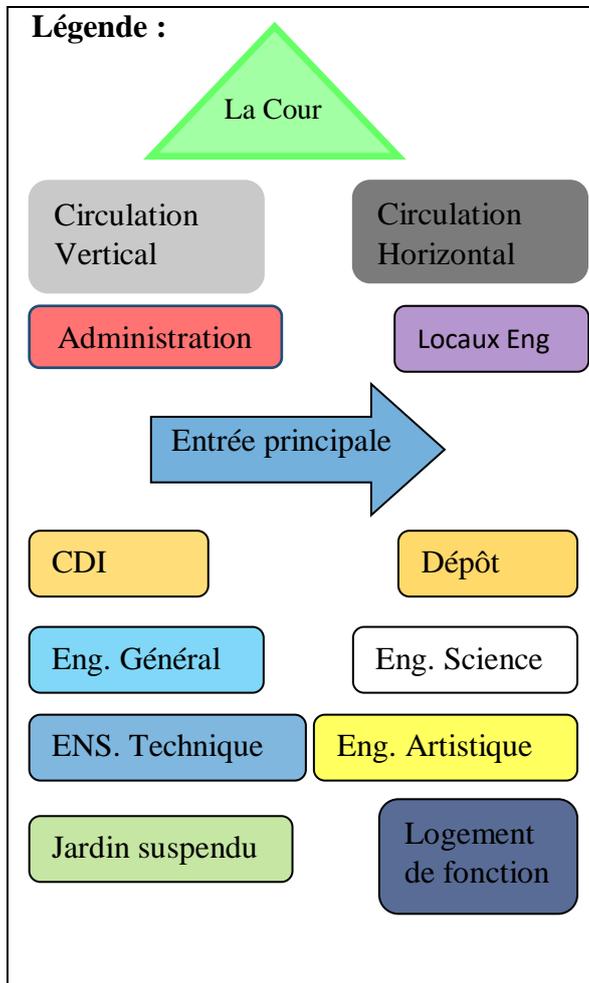


Figure I.19: Programme du bâtiment A

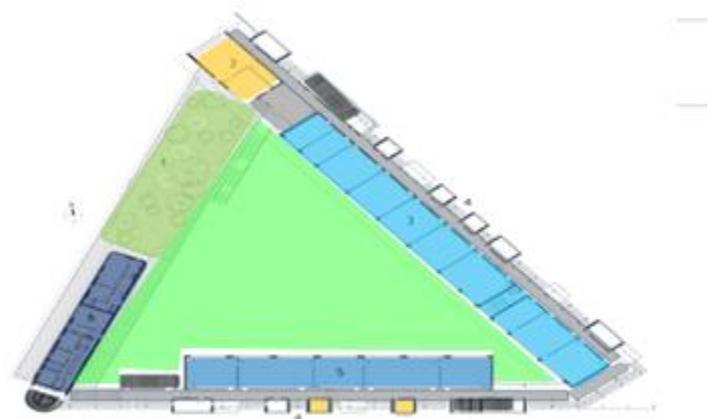


Figure I.18: Programme du bâtiment B

### I.2.2 Lycée de Bouira :

#### A. Identification :

- ✓ Adresse : Bouira
- ✓ L'importance du projet : territoriale
- ✓ Surface total : 1627,9 m<sup>2</sup>

#### B. Contexte historique :

- ✓ construction neuve
- ✓ fonctionnaliste

#### C. Programme :

- ✓ Les fonctions de l'œuvre : enseignement ; administration ; service
- ✓ Les différents espaces de ces fonctions :



Figure I.20: Lycée de Bouira

- Enseignement : salle de classe, salle de science, salle de préparation science, salle de préparation physique, auditorium, salle de polyvalent, salle de collection
- Administration : bureau de conseil d'éducation, bureau de gestion, bureau de directeur ,bureau direction des études , salle de professeur , secrétariat, SH ,SF, Loge ,atelier archive + photocopie, bibliothèque .
- Service : SG SF, chaufferie dépôt, dépôt factotum, atelier factotum
- Nombre de classes et d'élèves : 15 classes et 800/200R élèves

#### D. Insertion urbain :

- ✓ L'œuvre architecturale est construite sur un terrain plat
- ✓ L'édifice est mitoyen

#### E. Expression architecturale :

- ✓ L'œuvre architectural : Forme en L, 2 rectangles lier entre eux par un bloc
- ✓ La composition générale de l'édifice vu de l'extérieur : Forme L. Horizontal
- ✓ La taille de l'édifice : surface total : 14521,2m<sup>2</sup>
- ✓ Volume : R+2
- ✓ La lumière naturelle : il y'a des grands ouvertures qui rendre l'endroit lumineux



Figure I.21: Vue extérieur du lycée

- ✓ Choix des couleurs : l'Architect a choisi le blanc et le jaune ce sont des couleurs claires qui donnent une prescriptive positives pour les élèves.



Figure I.22:L'accès principal du lycée

**F. La distribution de programme et les fonctions du lycée :**

**a. Le programme du lycée :**

- Programme de R.D.C :

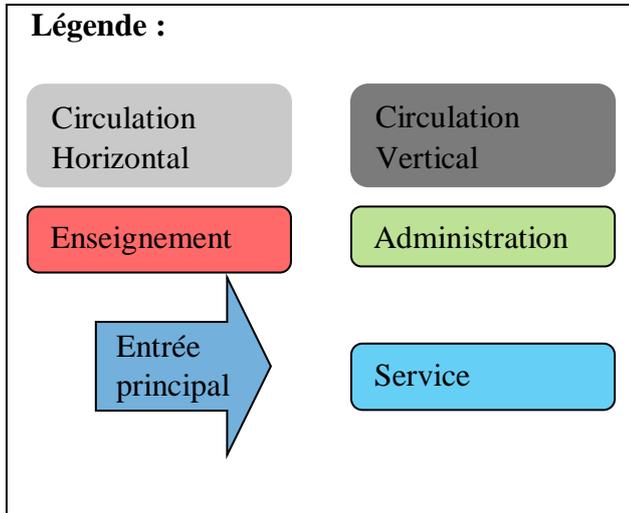


Figure I.23: Programme du R.D.C

- Programme du 1<sup>er</sup> étage :

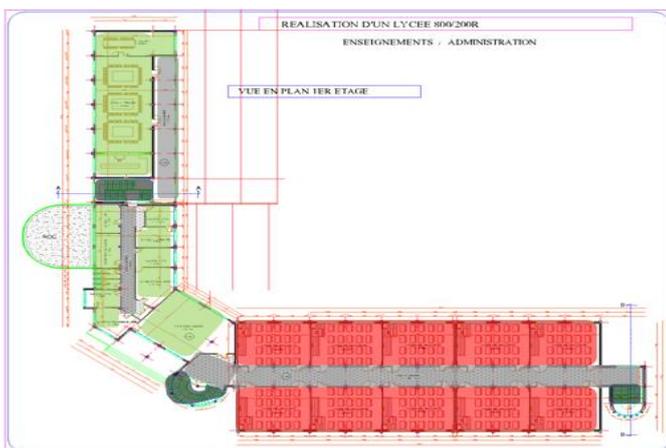


Figure I.25 : Programme du 1er étage

- Programme du 2<sup>eme</sup> étage

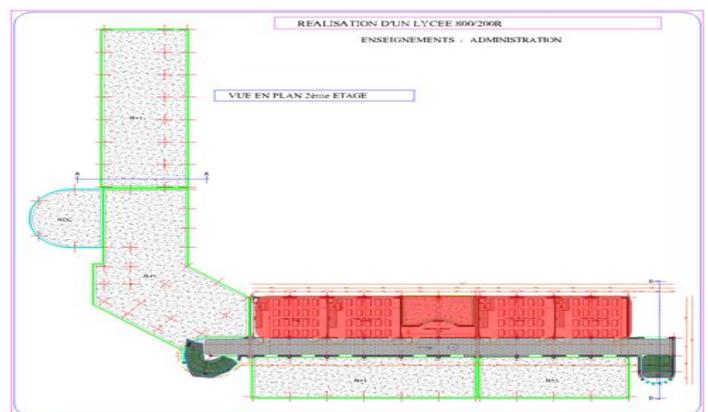


Figure I.24: Programme du 2eme étage

b. Les fonctions du lycée :

- Les fonctions du R.D.C :

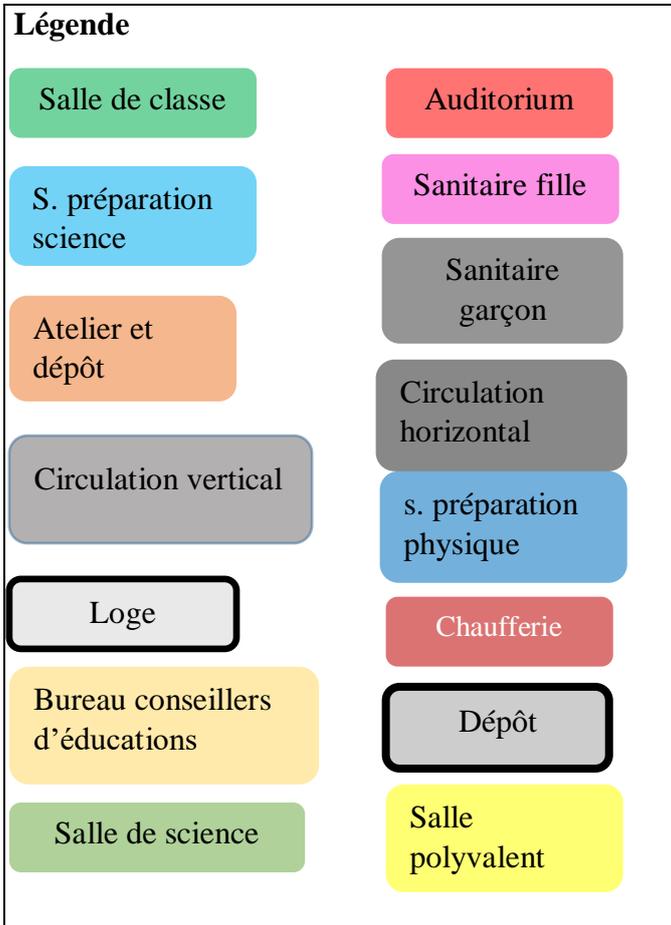


Figure I.26: Les fonctions du R.D.C

- Les fonctions de 1<sup>er</sup> étage :

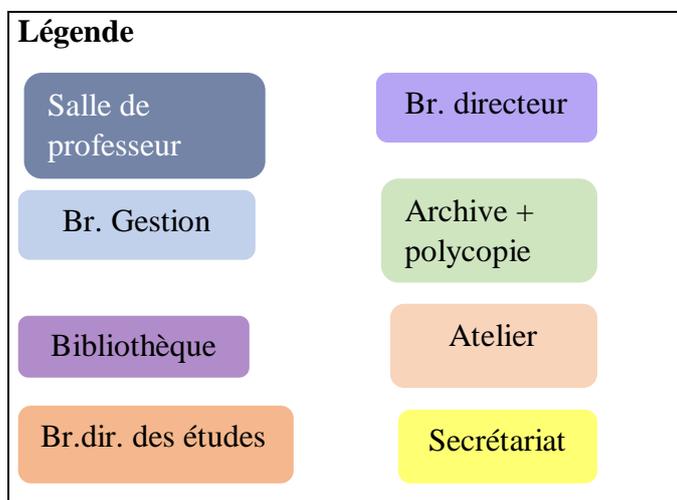


Figure I.27: Les fonctions du 1er étage

- Les fonctions du 2<sup>ème</sup> étage :

Salle de Collection

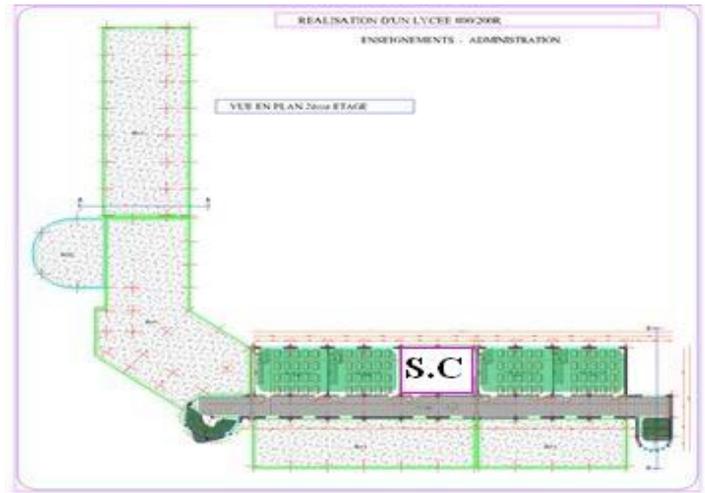
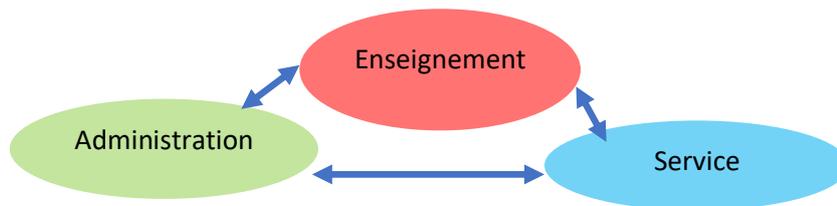


Figure I.28: Les fonctions du 2eme étage

La relation entre les fonctions du lycée :

D'après les plans on a trouvé qu'il y'a une relation forte entre les fonctions de la structure



### I.2.3 Lycée Mohamed Kirouani (Setif) :

#### Etude urbaine

#### Situation :

Lycée MOHEMED KEROUANI est situé à l'est du centre-ville. Il est près d'AIN FOUARA.



Figure I.29: Lycée MOHEMED KEROUANI



Figure I.30: Situation de lycée

**Accessibilité :**

Le lycée est bien accessible car il occupe un îlot de 4 faces et contacte directe avec les rues :

- ✓ Sur la rue de Constantine du NORD.
- ✓ Sur la rue de MERIEME BOUATOURA du L' OUEST.
- ✓ Sur la rue de SABRI ABDELHAMID du SUD.
- ✓ Sur la rue de CHEIKH LAIFA du L'EST.



Figure I.31: Accessibilité

**La circulation :**

- ✓ Caractériser par une dense circulation mécanique qui provoquer les problèmes suivant:
- ✓ Un grand bruit.
- ✓ L'insécurité du piétonne.
- ✓ Les autres rues ont une moyenne circulation.
- ✓ Le réseau de rues est bases sur la rue de CONSTANTINE de lacôte NORD, et la rue CHEIKH LAIFA de lacôte EST.



Figure I.32: La circulation

**La trame :**

Le lycée a une trame régulière de la forme rectangulaire



Figure I.33: La trame

Tableau des surfaces réalisées	m <sup>2</sup>
Enseignement	3301.06
bibliothèque	190
Bloc administrative	1009.94
<b>Surface utile du lycée</b>	<b>4503</b>
Les annexes	2400
Logement de fonction	897

**Surface Total : 7800 m<sup>2</sup>**

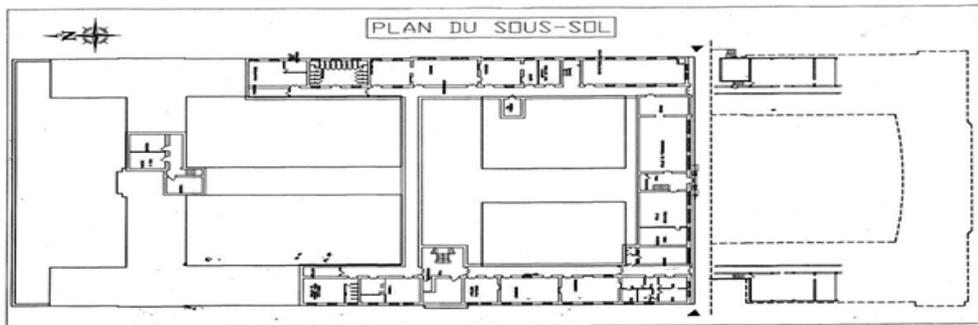


Figure I.34: plan du sous-sol

- ✓ Au niveau de sous-sol : il y'a des escaliers qui mènent à ce niveau à partir de l'entrée des élèves.
- ✓ Cuisine, chaudière, vestiaires, (pour les gens qui travail), dépôt, (pour les lamentations), escaliers, petit réfectoire, chambre froide.

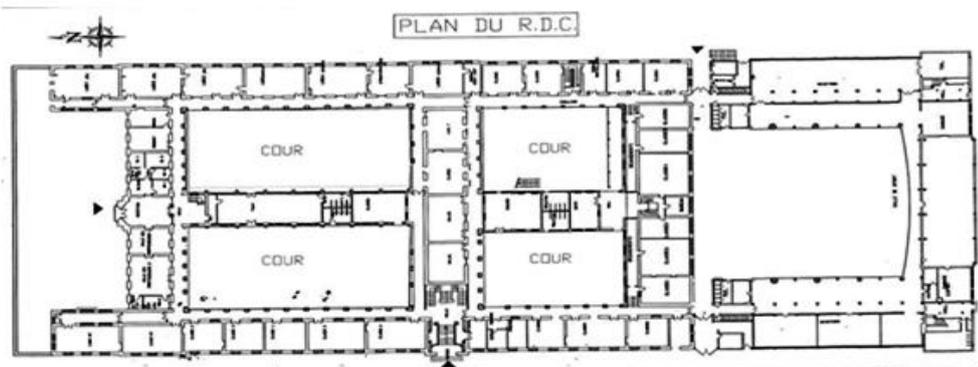


Figure I.35: plan R.D.C

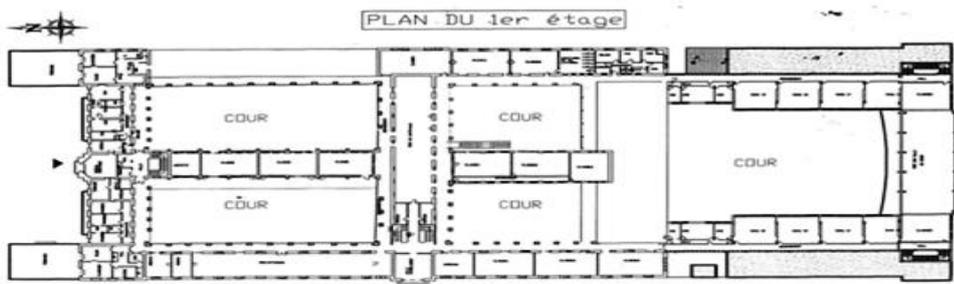


Figure I.36: Plan 1er étage

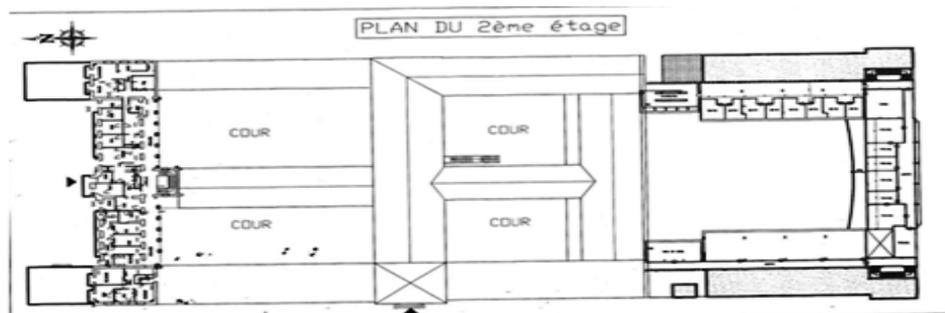


Figure I.37: Plan 2eme étage

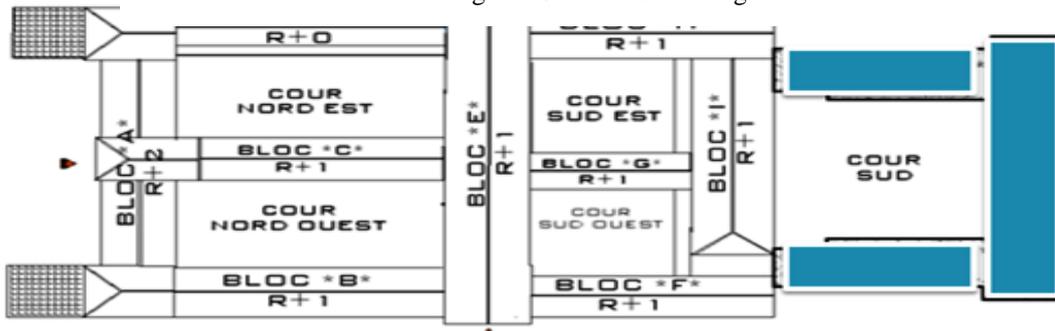


Figure I.38: Plan 3eme étage

**ORGANIGRAMME SPATIAL (sous-sol) :**

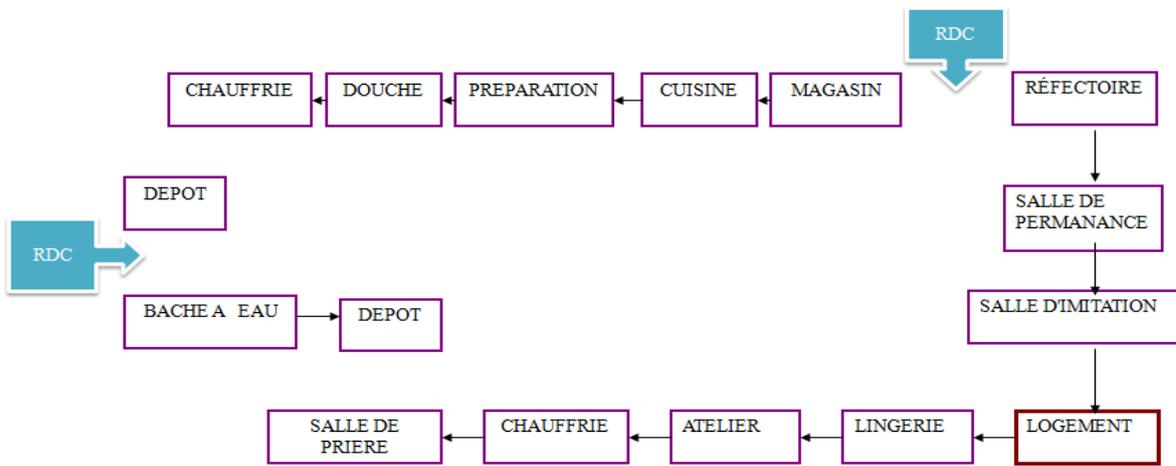


Figure I.39: ORGANIGRAMME SPATIAL (sous-sol)

**ORGANIGRAMME SPATIAL (RDC) :**

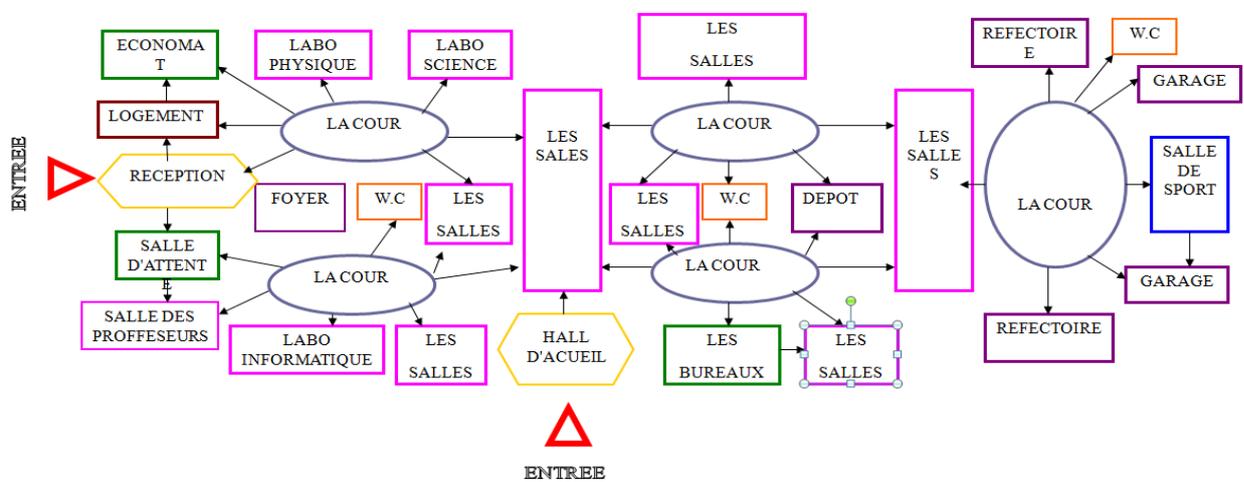


Figure I.40: ORGANIGRAMME SPATIAL (RDC)

## ORGANIGRAMME SPATIAL (1+2+3 ETAGE) :

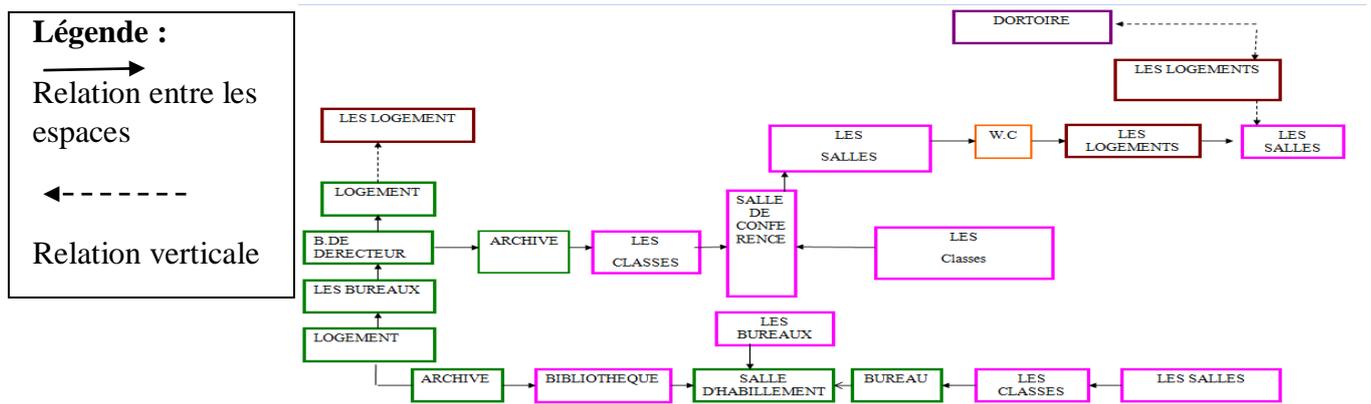


Figure I.41: ORGANIGRAMME SPATIAL (1+2+3 ETAGE)

### L'éclairage :

La disposition des blocs autour de la cour (l'espace ouvert) favorise l'éclairage naturel avec un renforcement par l'éclairage artificiel à l'intérieur des blocs.



Figure I.42:L'éclairage artificiel



Figure I.43:L'éclairage naturel

Le confort acoustique :

La présence des ouvertures vers l'extérieur a créé un problème acoustique pour les utilisateurs par contre au nouveau bloc les ouvertures sont orientées vers la cour ce qui diminue ce problème.

Il y a des Isolants phoniques sur les portes.

Le confort visuel :

Les ouvertures sont bien placée ce qui donne un bon éclairage pour les élèves.

### I.2.4 lycée Ferhat Abas (Bordj Bou Arreridj) :



Figure I.44: lycée Ferhat Abas (Bordj Bou Arreridj) :

**Situation :**

Lycée Ferhat Abbas est situé au côté Nord de la ville Bordj Bou Arreridj. Just à côté de la Route de Bir Snab. Il ouvrit ses portes pour l'année scolaire 2008/2009 après une durée des travaux de 18 mois

**Les limites :**

- Il est limité du côté Nord par le C.F.P.A
- Il est limité du côté Sud par lotissement la route N 76
- Il est limité du côté Est par logement sociaux participatif



Figure I.45: Situation de lycée

**Etude architectural :****Surface :**

Tableau des surfaces réalisées	m <sup>2</sup>
Enseignement	1590.5
bibliothèque	180
Bloc administrative	347.5
Surface utile du lycée	2118
Les annexes	1461.8
Logement de fonction	570.5

Surface totale : 4150.3 m<sup>2</sup>

**Distribution :**

Elle mène au bloc administratif directement à la réception où se trouvent les bureaux de la surveillance au côté droit du hall d'accueil.

Ensuite on peut aller à l'espace central (la cours) qu'on peut l'accéder aussi à travers l'entrée des élèves, l'entrée des personnels et l'entrée des pompiers. Elle permet une relation visuelle entre les différents blocs.



Figure I.46: Plan RDC

La cours est l'espace de regroupement qui assure un accès direct aux autres blocs comme les blocs pédagogiques où se trouve :

La spécifié de bloc sanitaires a deux accès demande plus de vigilance pour la surveillance

La localisation du bloc sanitaire et la cantine au centre de la cours crée un obstacle visuel pour le contrôle de terrain de sport à partir de l'administration.

Pour accéder au premier étage administratif (direction ou économat) la manière dont les escaliers sont fait montre le visiteur tous l'intérieur de lycée ce qui est une vulgarisation de l'intimité de l'institution.



Figure I.47: Plan du 1er étage



Figure I.48: Plan du 2eme étage

**ORGANIGRAMME SPATIAL (RDC) :**

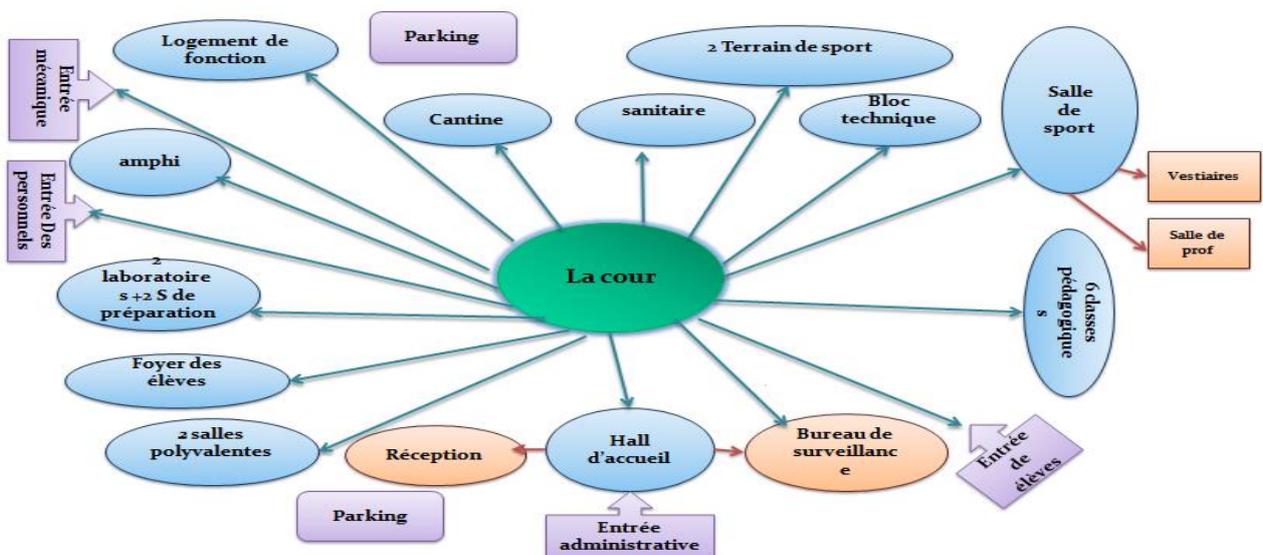
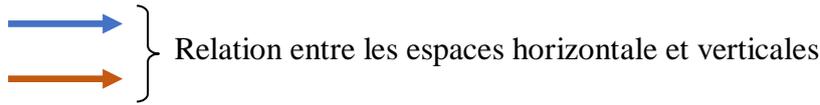


Figure I.49: ORGANIGRAMME SPATIAL (RDC)



**ORGANIGRAMME SPATIAL (1+2 ETAGE) :**

Pour accéder au premier étage administratif (direction ou économat) la manière dont les escaliers sont fait montre le visiteur tous l'intérieur de lycée ce qui est une vulgarisation de l'intimité de l'institution

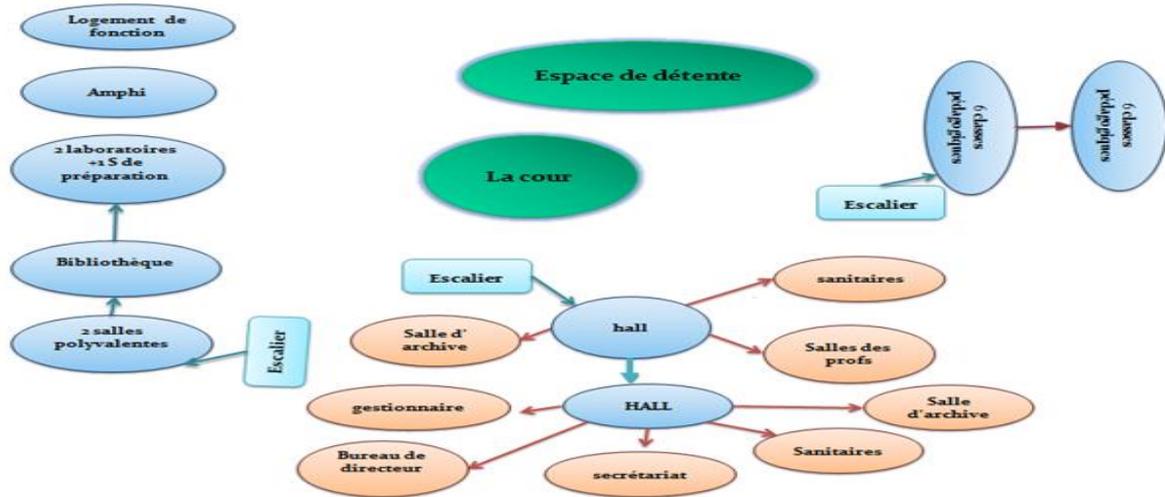
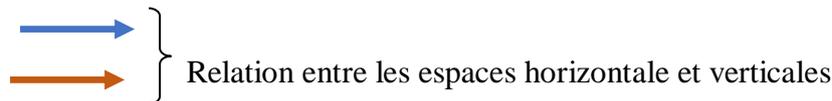


Figure I.50: ORGANIGRAMME SPATIAL (1+2 ETAGE)



Organigramme fonctionnel :

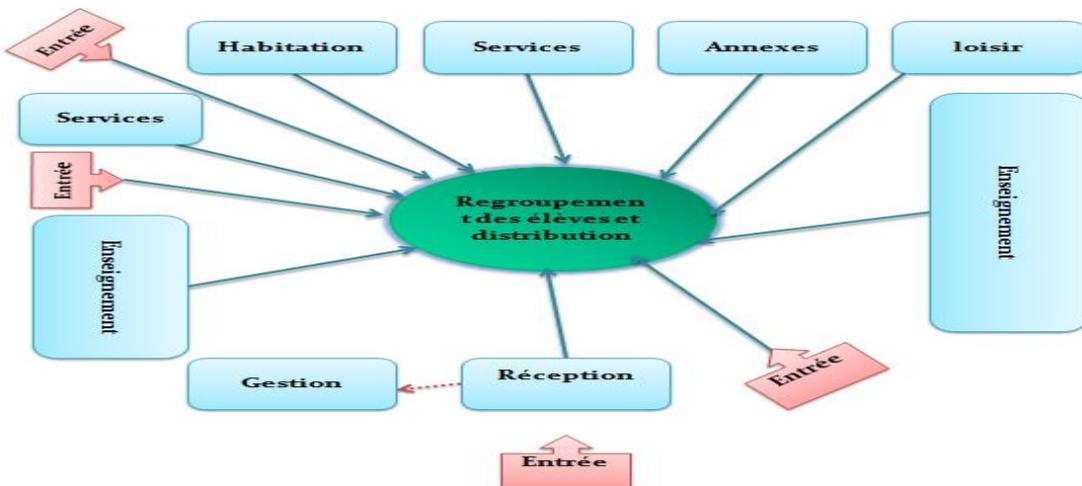


Figure I.51: Organigramme fonctionnel

**La volumétrie :**

Formes volumétriques simples (de base :  
rectangulaire \_ cylindrique)



Figure I.52: La volumétrie

**L'éclairage :**

La disposition des blocs autour de la cour  
(l'espace ouvert) favorise l'éclairage naturel  
Avec un renforcement par l'éclairage artificiel à  
l'intérieur des blocs.



Figure I.53:L'éclairage

**Structure :**

Le système constructif il y'a deux système.

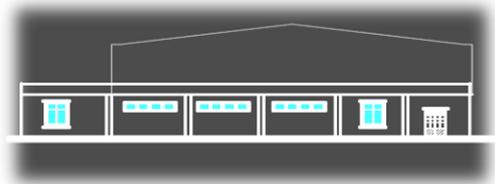
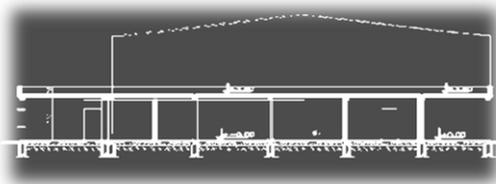
**1-système poteaux poutres :**

Figure I.54 : Système poteaux poutres

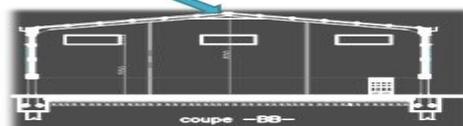
**2- système mixte entre l'acier et béton armé :**

Figure I.55: Système mixte entre l'acier et béton armé

**Esthétique :**

**Les façades :**

**A- façade extérieur sud :**

C'est une façade principale se caractérise par la présence des arcades pour marquer l'entrée et par la superposition et juxtaposition aussi on remarquer le rythme au niveau des ouvertures et l'équilibre entre le plein et le vide.



Figure I.56: façade extérieur sud



Figure I.57: Façade extérieur ouest

### I.1.5 Tableau comparatif :

Tableau I.1: tableau comparatif des exemples

Les projets étudiés	Lycée Robert Schuman Charenton (94)	Lycée de Bouira	Lycée Ferhat Abas	Lycée Mohamed Kirouani
Situation	Île-de-France	Bouira -Algérie	Bordj Bou Arreridj- Algérie	Sétif- Algérie
Surface	8 232 m <sup>2</sup>	4604 m <sup>2</sup>	4150.3 m <sup>2</sup>	7800 m <sup>2</sup>
Accessibilité	Bus –automobile- le métro	Bus –automobile	Bus –automobile	Bus –automobile
Gabarit	Entre R+2 et R+4	R+2	R+2	Sous-sol +R+3
Particularité	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La cours est un espace central</li> <li>- Implantation en triangle autour de la cour intérieure</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choix des couleurs (blanc et jaune)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Deux systèmes constructifs (mixte et poteaux poutres)</li> <li>- La cours est un espace central</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Type de structure est un type de mur porteur (maçonnerie)</li> <li>- trame régulière de la forme rectangulaire</li> <li>- La disposition des blocs autour</li> </ul>

				de la cour - des Isolants phoniques sur les portes.
<b>La forme</b>	La forme Triangulaire suit la forme de terrain	Forme En <b>L</b> , 2 rectangles lier entre eux par un bloc	Forme En <b>U</b> , Formes volumétriques simples (de base: rectangulaire _ cylindrique)	la forme rectangulaire

### Conclusion :

Cette approche d'enquête et d'analyse des informations collectées à travers la recherche thématique, nous a permis de bénéficier d'enseignements sur les directives qui régissent les projets des Lycées , d'avoir un support solide et consistant qui nous permettra de réussir notre projet, aussi nous les exploiterons pour réussir une conception adéquate à la thématique et ses recommandations.

## CHAPITRE II : ÉTUDE ARCHITECTURALE

## Introduction :

L'architecture se schématise à partir de l'environnement dans lequel elle se place et se développe à partir de contexte (forme, langage, vocabulaire).

Une architecture sans conditions spatiales et spirituelles de l'environnement n'est qu'un geste vide de sens.

De ce fait, nous espérons que la formalisation de notre projet doit être dans un processus évolutif qui nous permet le passage de l'analyse et de ses hypothèses vers la traduction spatiale.

Nous présentons dans cette phase les différents concepts qui ont généré la mise en forme du projet Le passage de l'idée à sa concrétisation nécessite un espace de référence conceptuelle

## II.1 Analyse du terrain :

Pour bien développer notre démarche il est nécessaire de faire une lecture des éléments de composition de l'espace urbain du terrain d'implantation.

### II.1.1 Etude urbaine de la ville :

#### II.1.1.1 Présentation de la ville :

##### A. Situation géographique :

La Wilaya de Tlemcen occupe une position de choix au sein de l'ensemble national.

Elle est située sur le littoral Nord-ouest du pays et dispose d'une façade maritime de 120 km. C'est une wilaya frontalière avec le Maroc, Avec une superficie de 9017,69 Km<sup>2</sup>. Le Chef-lieu de la wilaya est située à 432 km à l'Ouest de la capitale, Alger



Figure II.1: situation de la ville

##### B. Les limites de la wilaya :

La wilaya est limitée par :

- ✓ La mer méditerranée au Nord ;
- ✓ La wilaya d'Ain Témouchent à l'Est ;
- ✓ La wilaya de Sidi Bel Abbès à l'Est- Sud –Est
- ✓ La wilaya de Saida au Sud ;
- ✓ Le Maroc à l'Ouest.



Figure II.2: les limites de la wilaya

##### C. Site d'intervention :

Nous avons effectué ce travail dans le cadre d'un appel d'offre, ainsi le site d'intervention a été déjà choisi au préalable dans le cadre du projet en question.

Les motifs ayant engendré la révision du PDAU :

- l'extension urbaine à Tlemcen s'est faite de manière discontinue au long de la rocade, matérialisée essentiellement par le logement et avec un déficit en matière d'infrastructures
- Le PDAU nécessite de nouvelles orientations en partie par l'injection d'équipement

#### D. Le parti d'aménagement et d'urbanisation au niveau du groupement de Tlemcen :

Le parti d'aménagement et d'urbanisation retenu, repose sur un développement urbain polycentrique centré sur les pôles existants et en cours de formation (Boudjlida, Kouidia, Abou Tachfine...), l'ensemble est entrecoupé d'espaces naturels ou « coulées vertes »

#### II.1.1.2 Etude et analyse :

##### II.1.1.2.1 Situation du terrain :

Le terrain est situé exactement au Nord-Ouest de la ville de Tlemcen à 5 km du centre en vol d'oiseau, plus précisément à la bordure Est de la ville de Boujlida à 1 km par route de puis le grand rondpoint de l'entrée de Boujlida et il occupe une Superficie de 5200 m<sup>2</sup>.



Figure II.3: Situation du terrain Source Google Earth fait par auteur

##### II.1.1.2.2 Analyse physique :

#### A. Morphologie du terrain :

Pente, coupe : Terrain rocheux en pente

- ✓ Dénivelée Est-Sud-Ouest : 3.4 m

Pente maximale : 3.27%

- ✓ Dénivelée Nord-Ouest-Sud : 1 m

Pente maximale : 1.68 %

- ✓ Le terrain est surélevé au niveau de la voie (Ouest) de 1 m



Figure II.4: La morphologie du terrain

✓ La forme : irrégulière

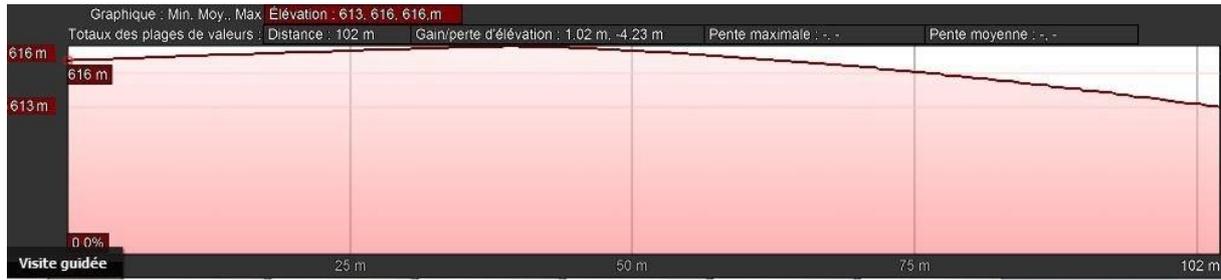


Figure II.5: Coup A-A du terrain Source : Google Earth (traitée par l'auteur)

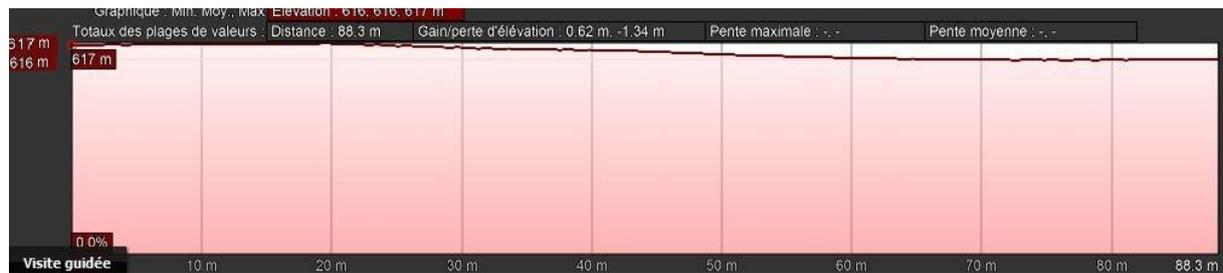


Figure II.6: Coup B-B du terrain Source : Google Earth (traitée par l'auteur)

### B. Forme du terrain, dimensions :

Le terrain à une forme irrégulière sa surface est de 5200m<sup>2</sup>



Figure II.7: Forme du terrain, Dimension Source : Google Earth (traitée par l'auteur)

### C. Délimitation :

Il est limité par :

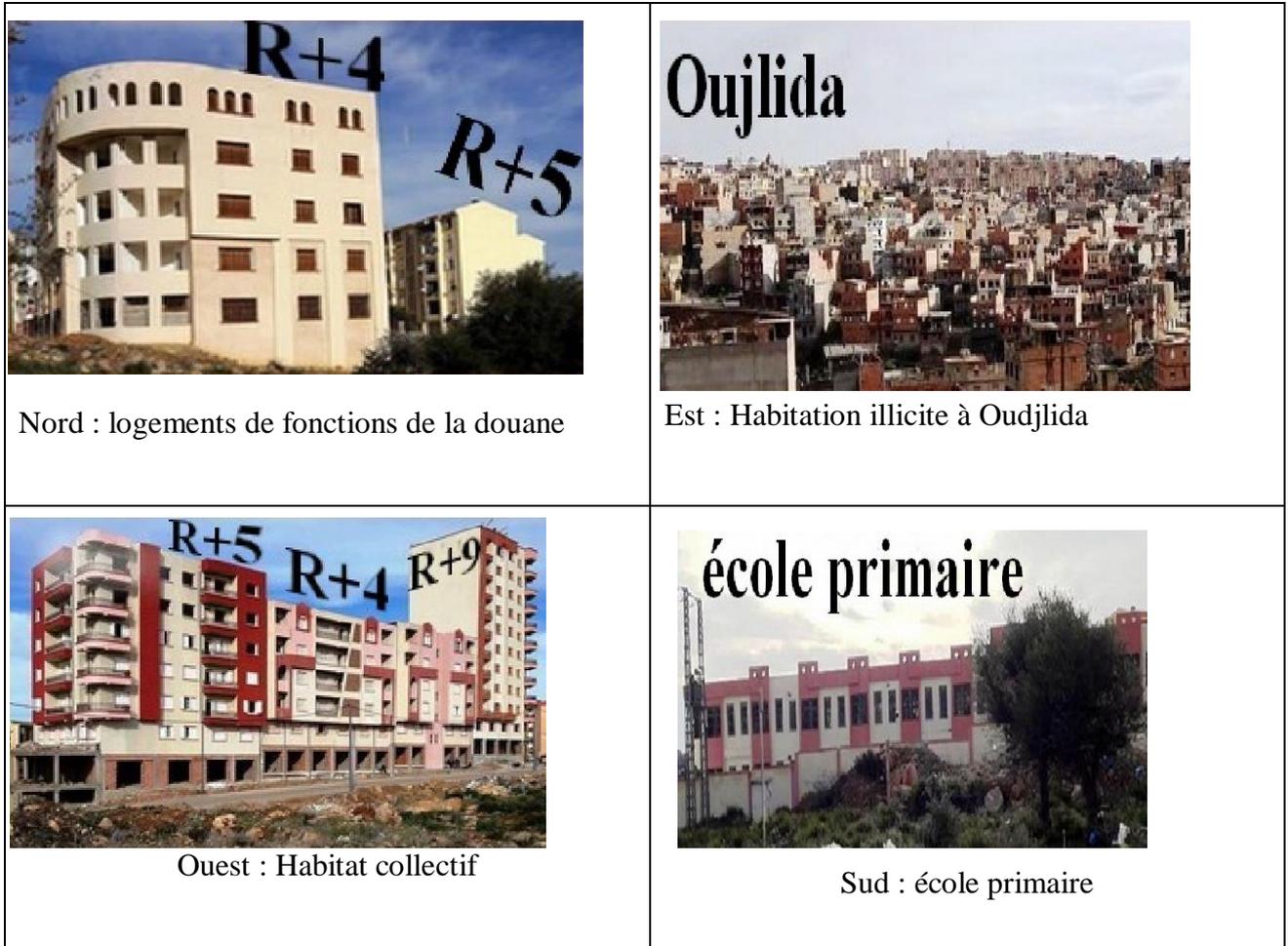


Figure II.8: Limite du terrain

### D. Environnement immédiat :

L'environnement immédiat du site, est constitué au Nord d'un immeuble d'habitation (R+5), à l'Est constructions illicites, au Sud un école primaire et Immeubles d'habitations (R+5), au sud-ouest un Centre de formation professionnelle et d'apprentissage, au Ouest un Immeubles d'habitations (R+5,R+4,R+9), au Nord-ouest un immeubles d'habitations (R+4) et un logements de fonctions de la douane (R+4).

### E. Limites et gabarits :

Suite à notre visite sur le site l'an 2018 on remarque la présence :

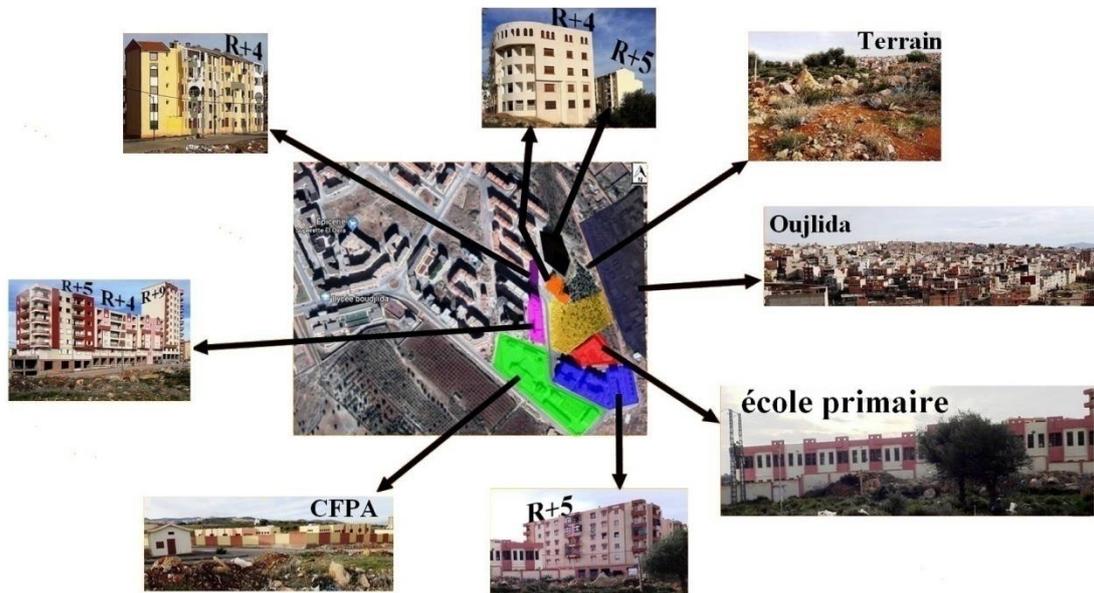


Figure II.9: limite et gabarits. Source : prise par l'auteur

### F. Les vues :

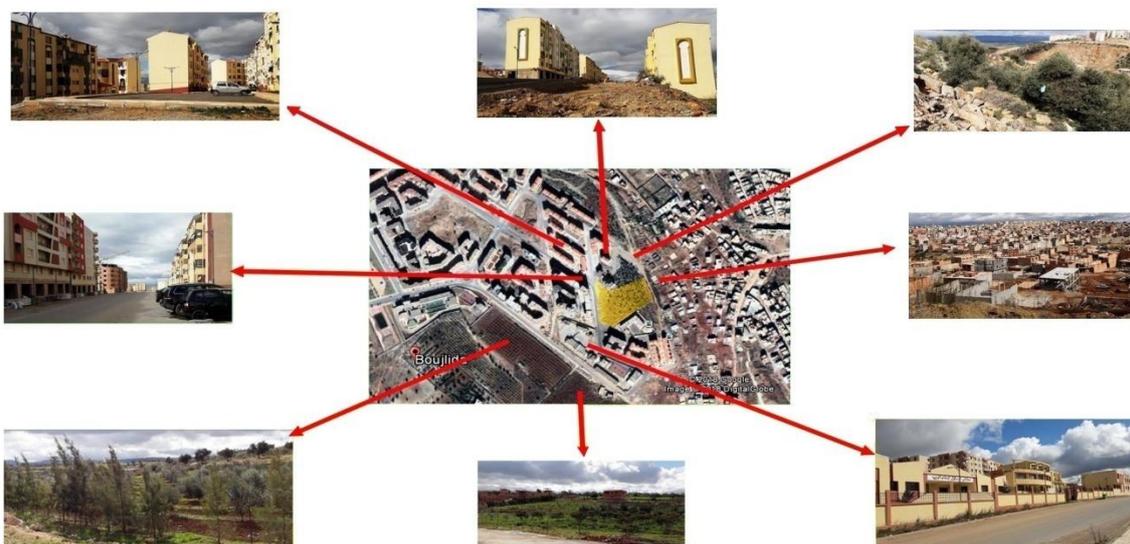


Figure II.10: Vue sur les différentes limites Source : prise par l'auteur

### II.1.1.2.3 Analyse technique :

#### Accessibilité, visibilité et la circulation :

- Constitue par une voie principale à l'entrée et qui relie la Rocade et Boudjlida
- Des voies tertiaire à l'intérieur de chaque quartier
- On remarque qu'il-y-a un flux mécanique moyen vient de l'axée Ouest de site et autre piéton vient au sud-ouest de site

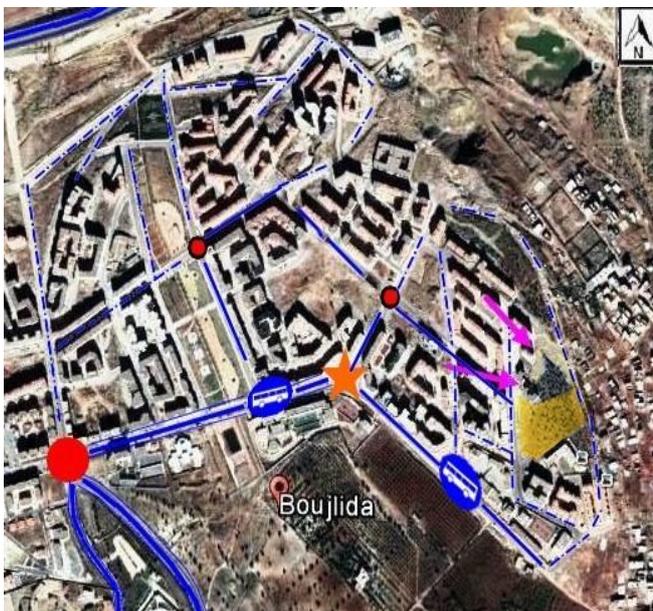


Figure I.11: L'accessibilité du terrain (flux moyen et faible)

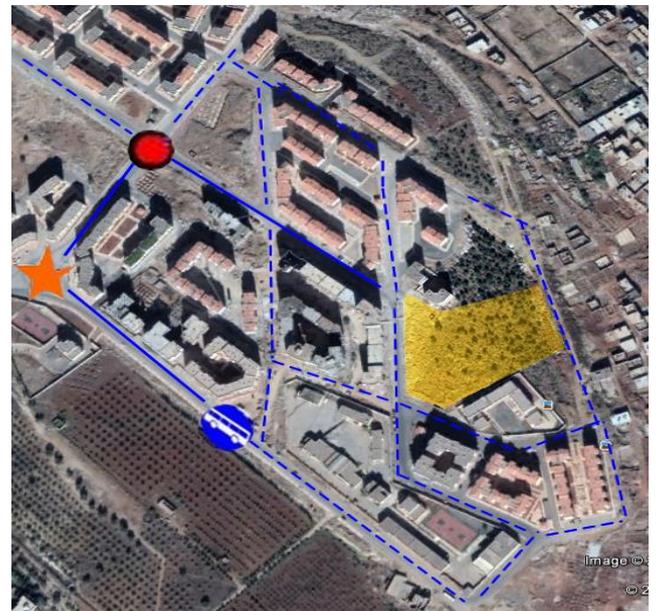
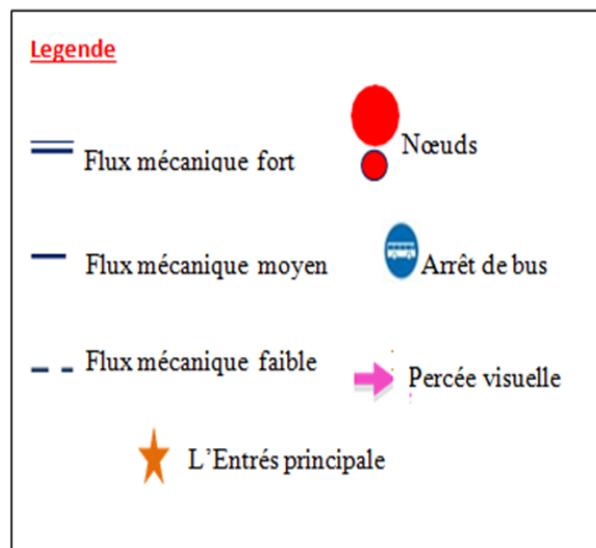


Figure II.12: L'accessibilité du terrain



### II.1.1.2.4 Analyse climatique :

#### A. température et les vents :

La ville de Tlemcen est très chaude en été.

En hiver, la neige tombe parfois en abondance.

#### B. L'ensoleillement :

Le terrain est ensoleillé parfaitement pendant toutes les saisons.

➔ Les vents dominants Nord-Ouest

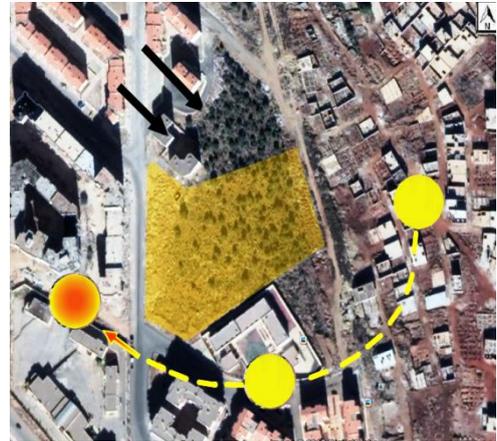


Figure II.13: l'orientation et climat

### II.1.1.2.5 Analyse des servitudes :

#### Légende

- Eau potable
- Réseau de gaz
- Electricité
- Limite de terrain

On remarque l'existence des différents réseaux qui facilite l'embrochement.



Figure II.14: voire réseaux divers

### II.1.1.2.6 Le tissu urbain :

#### A. Etats des hauteurs :

Le terrain est entouré à des hébergements à plusieurs hauteurs.



Figure II.15: Carte analyse des hauteurs .Source : Auteur

#### B. La fonction urbaine :

Plusieurs types d'équipement sont à proximité au terrain qui a une fonction sanitaire, éducative, d'hébergements de service et de loisir



Figure II.16: Carte de la fonction urbaine. Source : Auteur

### C. Les nuisances :

Le terrain est exposé à plusieurs sources de bruit qui varient selon la fréquentation du lieu.

<u>Légende</u>	
Terrain	
Nuisance de route	
Nuisance moyenne	
Nuisance faible	



Figure II.17: Carte des nuisances .Source : auteur

#### II.1.1.2.7 Synthèse :

Les avantages et les inconvénients du site son résumé dans le tableau suivant :

Tableau II.1: les avantages et les inconvanients du site

Avantages	Inconvénient
Présence de transport urbain	Terrain en pente énorme
Présence de la sécurité	Une seule voie mécanique
Présence de VRD ce qui facilite le branchement	Nuisances sonores dues au trafic routier
Grande surface	Terrain accidenté
Présence de la visibilité, de viabilité et d'accessibilité	

### Conclusion :

Le site d'implantation est situé dans un quartier résidentiel, il contient nombreuses potentialités et caractéristiques favorables.

La forme et la topographie du terrain sont favorables à notre projet en termes de visibilité, de viabilité et d'accessibilité.

Cette analyse nous a permis de récolter des données fondamentales qui nous permettront de mieux intégrer le projet dans le site et dans son environnement

## II.2 Analyse programmatique :

Afin de commencer cette analyse programmatique, nous nous sommes attardés sur des questions bien simples (quoi ? pour qui ? pourquoi ? et où ?) dont les réponses restent équivoques à un programme spécifique.

- La première étant << Quoi ?>>, tend à définir le projet en lui-même qui est un lycée de 800 places
- <<Pour qui ?>> pour les gens qui habitent au tour de lui les jeunes entre 15 ans et 18 ans
- << Pourquoi ?>> cette question vient clarifier nos objectifs en montrant clairement le but de nos analyses et notre projet qui sont :
  - Assurer un bon lieu d'enseignement
  - Rendre le secteur de l'éducation un sujet et non pas un objet
  - Assurer la flexibilité des lieux permet la variété des situations d'apprentissage
  - Adapter une meilleure structure avec un établissement purement éducatif
- Enfin la dernière question <<ou ?>> c'est à Boujlida à Tlemcen

### II.2.1 Programme de base :

Le projet en question, en plus de sa fonction de franchissement, va être plurifonctionnel, donc il comportera les fonctions ; enseignement, culture et administration, internat, culture physique et sport, logement de fonction, restauration et d'autres services

<b>Accueil</b>
<b>Enseignement et culture</b>
<b>Administration</b>
<b>Échange et interactivité</b>
<b>Restauration</b>
<b>Internat et service</b>
<b>Culture physique et sport</b>
<b>Logements de fonction</b>

### Capacité d'accueil :

La réalisation d'un lycée d'une capacité de 800 élèves maximale, le lycée est configuré pour répondre au développement démographique dans ce secteur

### II.2.2 Programme pédagogique de construction d'un lycée :

Après la rédaction du cahier des charges nous avons extrait le programme pédagogique suivant :

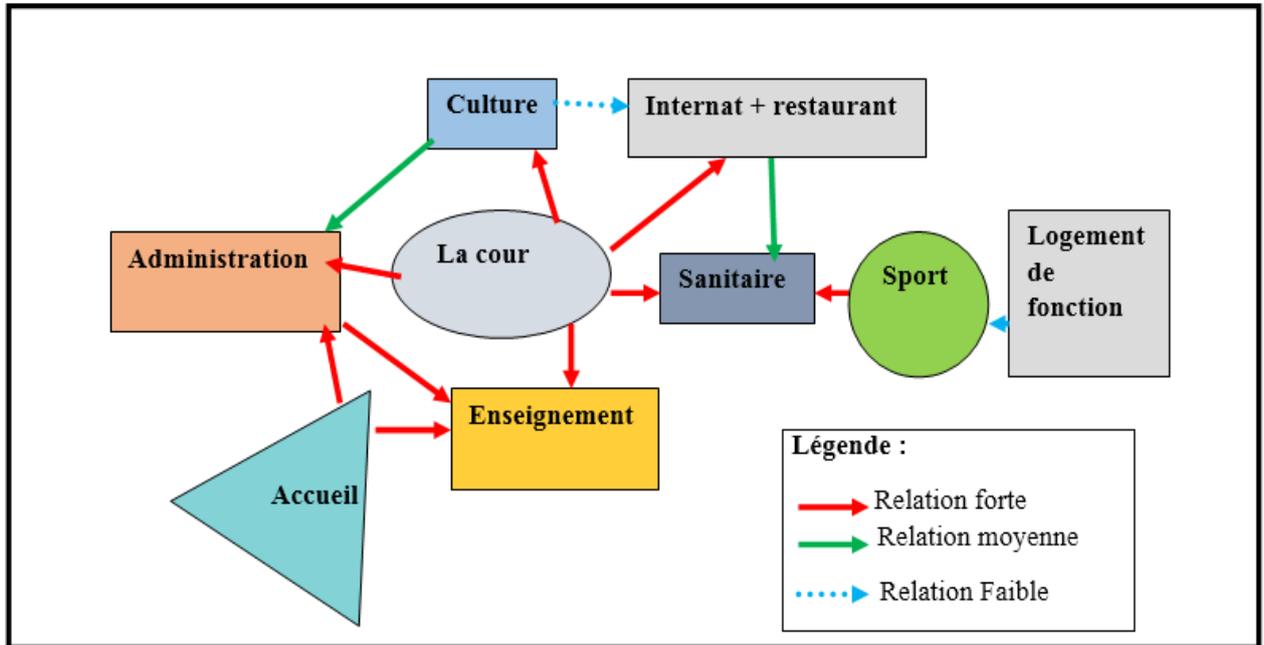
Tableau II.2: Programme pédagogique de construction d'un lycée

Activité	Espace	Nombre	Surface unitaire m <sup>2</sup>	Surface total m <sup>2</sup>	Observation
<b>Enseignement et Culture</b>	Salle d'enseignement général	12	58	808	<b>Enseignement : 1772+323=2095m<sup>2</sup></b>
	Salle de géographie et histoire	2	56		
	Salle de géographie et histoire	02	39	78	
	Laboratoire science 40 places	02	58	116	
	Salle de préparation de science naturelle et physique	02	29	58	
	Laboratoire physique	02	58	116	
	Auditorium 100 places	01	100	100	
	Dépôt	01	28	28	
	Salle polyvalente	02	40+88.5	128.5	
	Bibliothèque	01	135	135	
	Salle de séminaire	02	20+68	88	
	Salle de réunion des élèves	01	25	25	
	Coopérations des élèves	01	27	27	
	Salle d'exposition	02	20+18	38	
Salle de collection	01	27	27		
<b>Circulation</b>			20%	323	
<b>Administration</b>	Bureau de surveillance	02	16+18	34	<b>Administration : 290+76=366 m<sup>2</sup></b>
	Loge gardien	01	6	6	
	Foyer et salle de travail des professeurs	01	48	48	
	Loge des concierges	01	14	14	
	Bureau de directeur	01	34	34	
	Secrétariat	01	12	12	

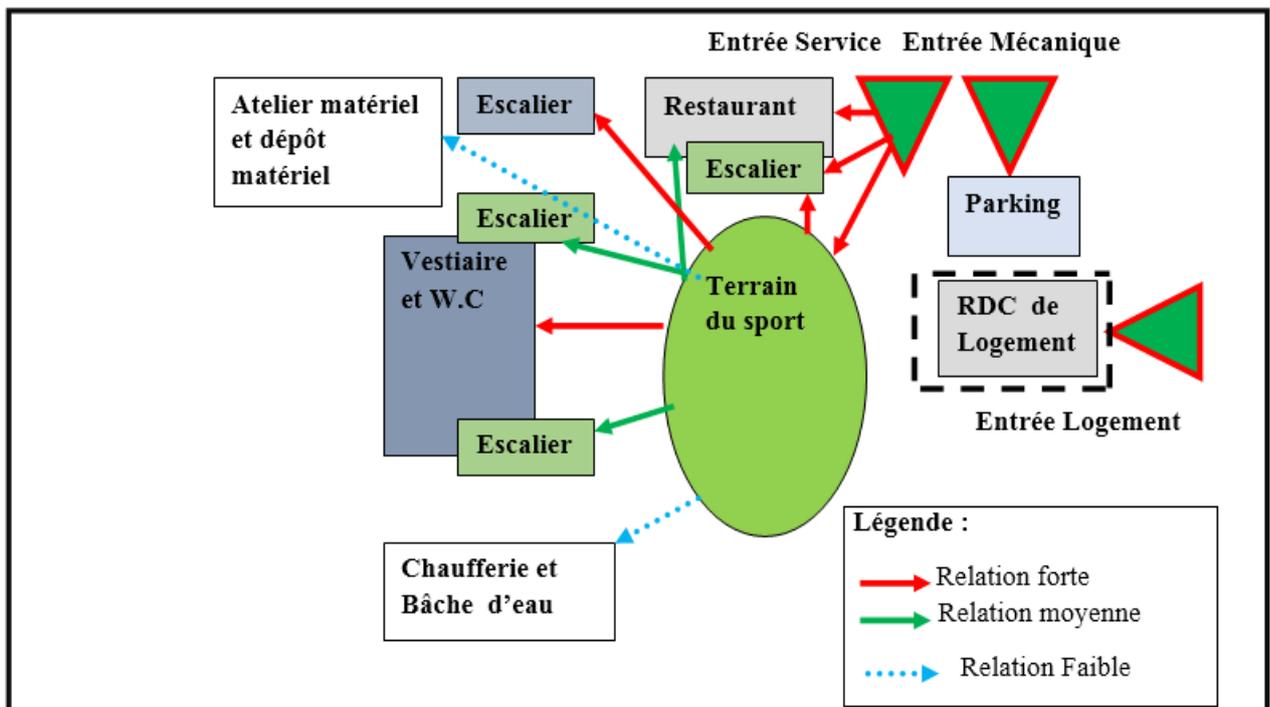
	Bureau du conseiller d'éducation	01	11	11	
	Salle des professeurs	40	40	40	
	Bureau de gestion	01	11	11	
	Bureau s/directeur des études et secrétariat	01	11	11	
	Bureau de surveillance General	01	30	30	
	Archive et photocopies	01	10	10	
	Unité de soins	01	20	20	
	Sanitaires	01	10	10	
	<b>Circulation</b>		10%	76.6	
<b>Restauration</b>	<b>01</b>		288	288	<b>Restauration : 288m<sup>2</sup></b>
<b>Internat + Service</b>	100 internes				<b>Internat +Service 288+225=513 m<sup>2</sup></b>
	Les chambres		9*23.33 5*20.56	209.97 102.8	
	dépôt des matérielles	01		20.56	
	Chambre de malade	01		20.56	
	Chambre de surveillance	01		20.56	
	Atelier matériel+ Dépôt matériel	01		57	
	Chaufferie	01		42	
	Foyer	01		66	
	Douche + Sanitaire	02		59*2=118	
	Sanitaire garçons	01	30	60	
	Sanitaire filles	01			
<b>Culture physique et sport</b>	Terrain de sport	01		919.7	<b>Culture physique et sport : 890 m<sup>2</sup></b>
	Vestiaire	02	30	60	
	<b>Circulation</b>		20%		
<b>Logements de fonction</b>	F5	01	118	118	<b>Logements de fonction : 592 m<sup>2</sup></b>
	F4	03	100	300	
	F3	02	87	174	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Enseignement et Culture : 2095 m<sup>2</sup></li> <li>• Administration : 366m<sup>2</sup></li> <li>• Internat +Service : 513 m<sup>2</sup></li> <li>• Restauration 288 m<sup>2</sup></li> <li>• Culture physique et sport : 890 m<sup>2</sup></li> <li>• Logement de fonction : 592 m<sup>2</sup></li> </ul>					
<b>SURFACE TOTALE ! 4744m<sup>2</sup></b>					

II.2.3 : Organigramme :

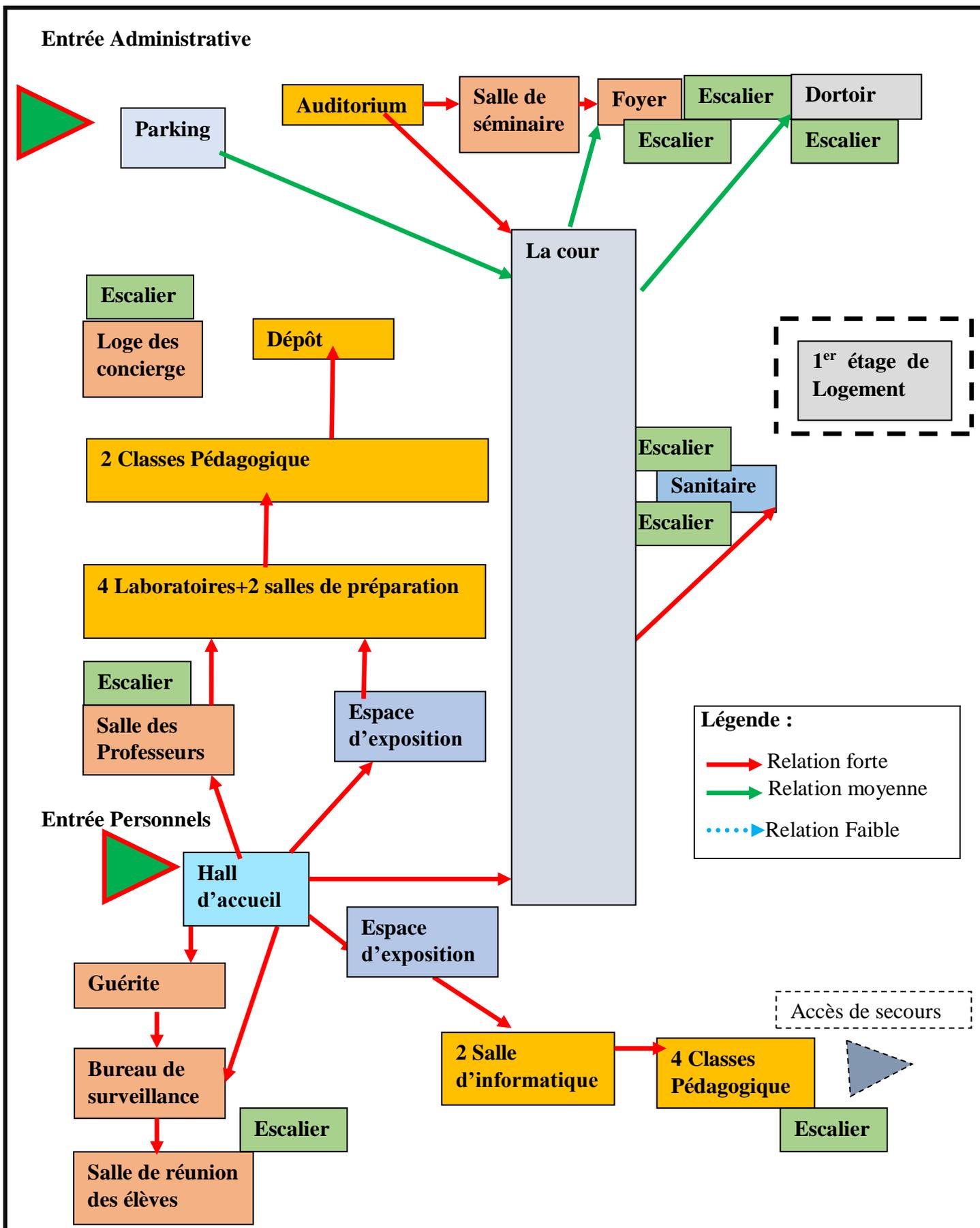
II.2.3.1 Organigramme fonctionnel :



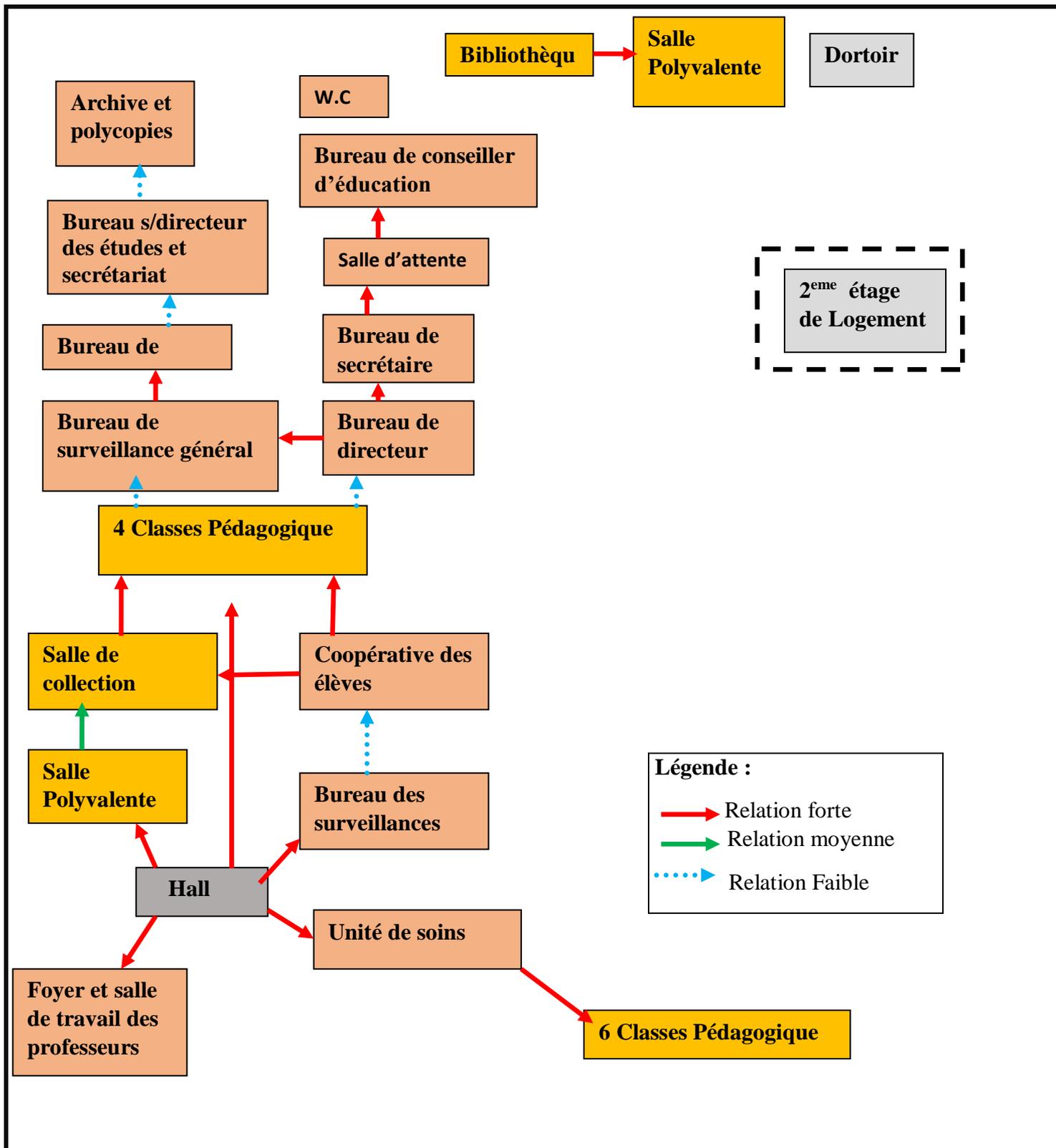
II.2.3.2 Organigramme spatial sous-sol :



II.2.3.3 Organigramme spatial du R.D.C :



## II.2.3.4 Organigramme du spatial (R+1) :



Cette analyse programmatique nous permet d'avoir les surfaces nécessaires répondant à l'ensemble des besoins des utilisateurs et usagers tout en prenant en considération des paramètres importants de conception.

### II.2.4 Genèse du projet :

#### ➤ 1<sup>er</sup> étape : la structure du terrain :

On a divisé le terrain en deux parties, la 1<sup>er</sup> partie est du niveau de (+0.00 m) tandis que la 2<sup>ème</sup> est au-dessous du niveau de sol de (-3.40 m)

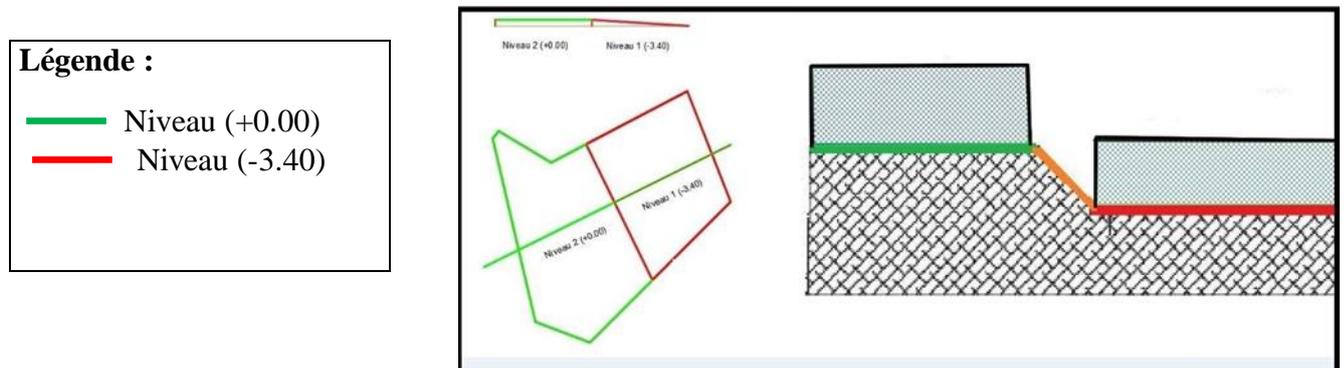


Figure II.18: la structure du terrain

#### ➤ 2<sup>ème</sup> étape : Accessibilité :

Nous avons situé l'accès mécanique au côté Nord-Ouest et au côté Nord-est ; on a projeté une voie mécanique afin de faciliter l'accessibilité au projet.

- ✓ Création des parkings pour répondre aux besoins.
- ✓ Accès au parking a été prévu dans la voie projetée pour éviter l'encombrement.
- ✓ L'accès principal piéton est percé sur le côté sud du terrain, donnant sur une voie de faible flux mécanique pour assurer la sécurité des usagers (élèves, enseignants,...), ainsi pour la visibilité et lisibilité de projet.
- ✓ Implantation des arbres pour absorber le bruit et assurer le calme.

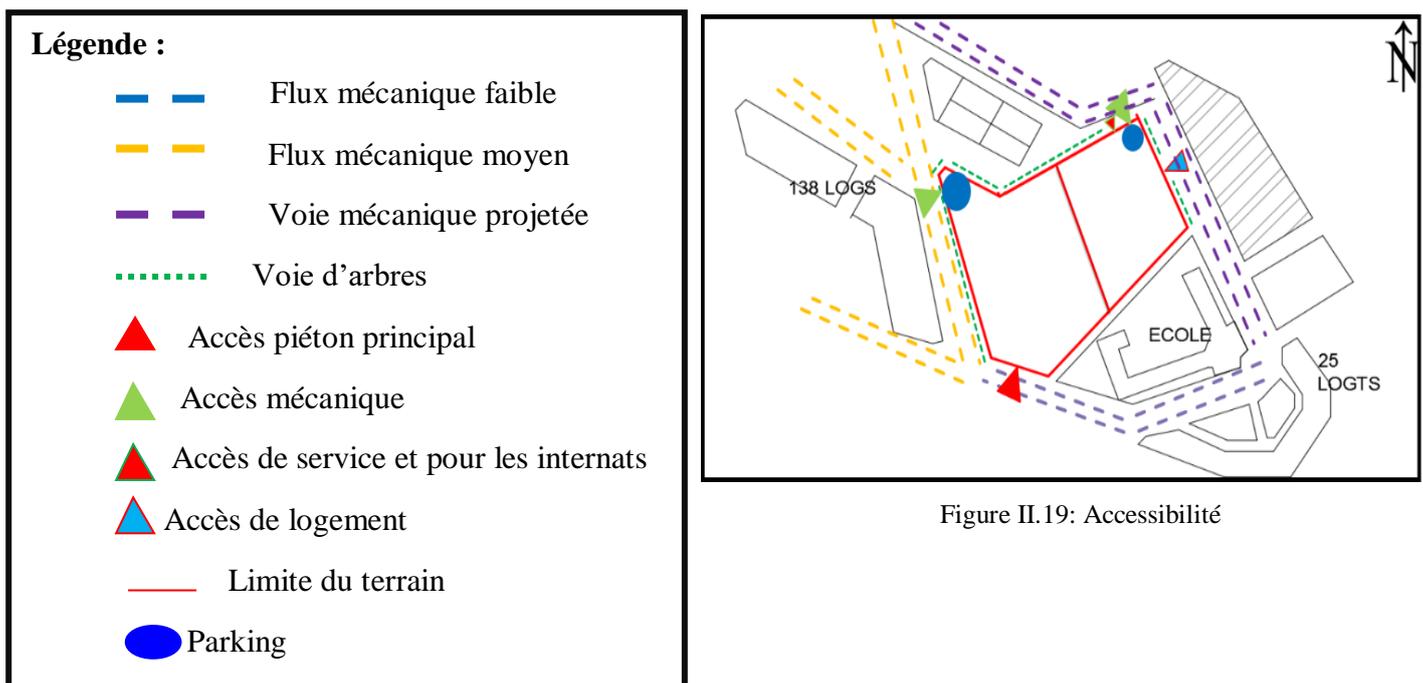


Figure II.19: Accessibilité

➤ **3<sup>ème</sup> étape : Création des espaces transitoires**

La cour et le terrain de sport sont des espaces de regroupement qui assure un accès direct aux autres blocs on privilégie de les mettre dans une position centrale

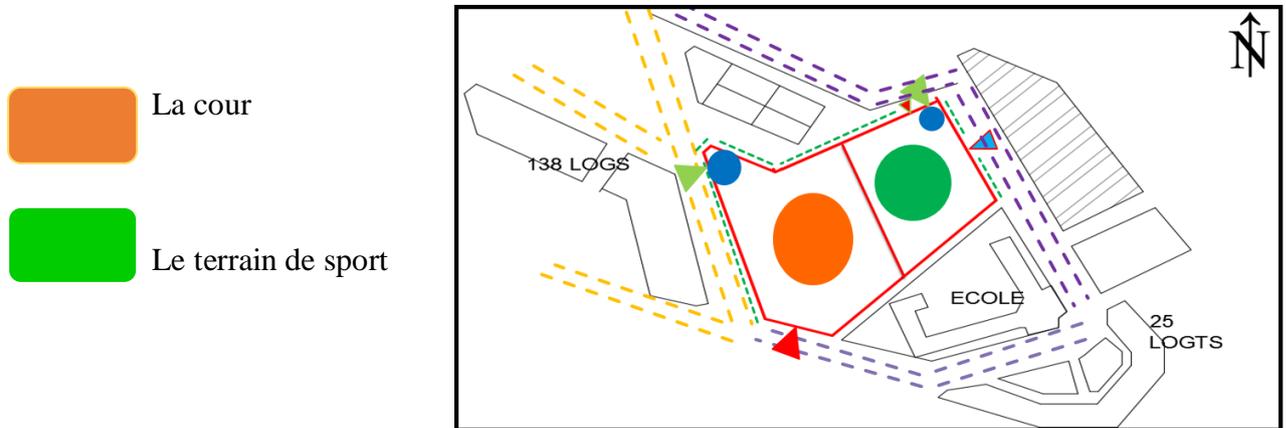


Figure II.20: Création des espaces transitoires

➤ **4<sup>ème</sup> étape :**

**A. épousé la forme de terrain :**

La forme initiale de notre bâti va se placer aux limites du terrain en épousant la forme et les contours de ce dernier, en partant du concept de centralité (cour + terrain de sport, placés au cœur de notre projet)

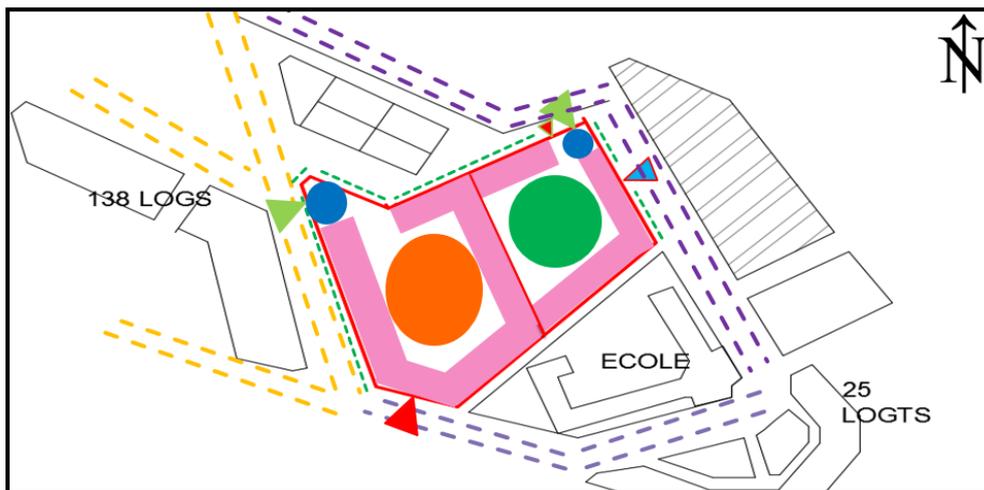


Figure II.21: épousé la forme de terrain

## B. Soustraction des espaces

Notre volume initial va subir des soustractions du côté sud pour crée des espaces verts Afin de séparer le bloc d'hébergement du reste de l'édifice.

Une autre soustraction au milieu pour séparer les deux parties de terrain et mettre la fonction de service comme une fonction centré entre les deux espaces transitaires.

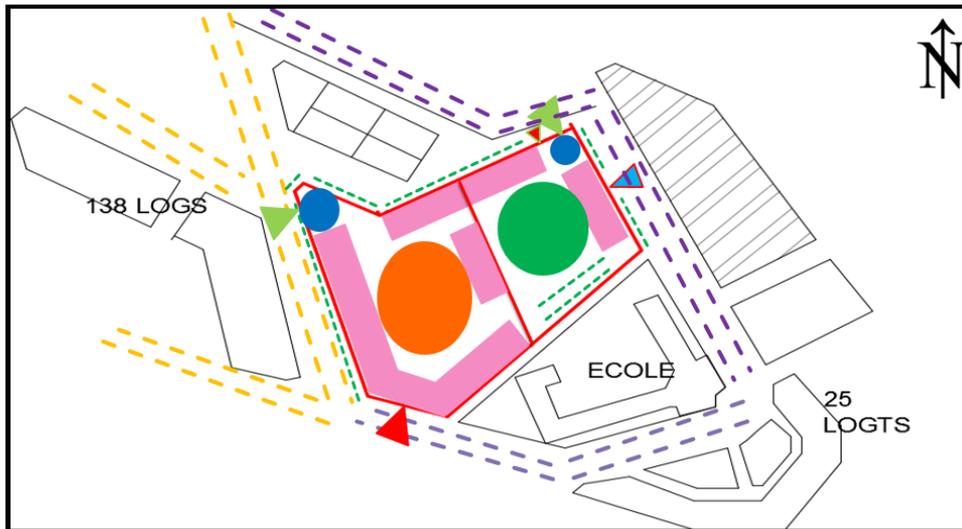


Figure II.22: soustraction des espaces

## C. Volume :

Nous obtenons un système pavillonnaire, des blocs dispatchés autour d'une cour centrale

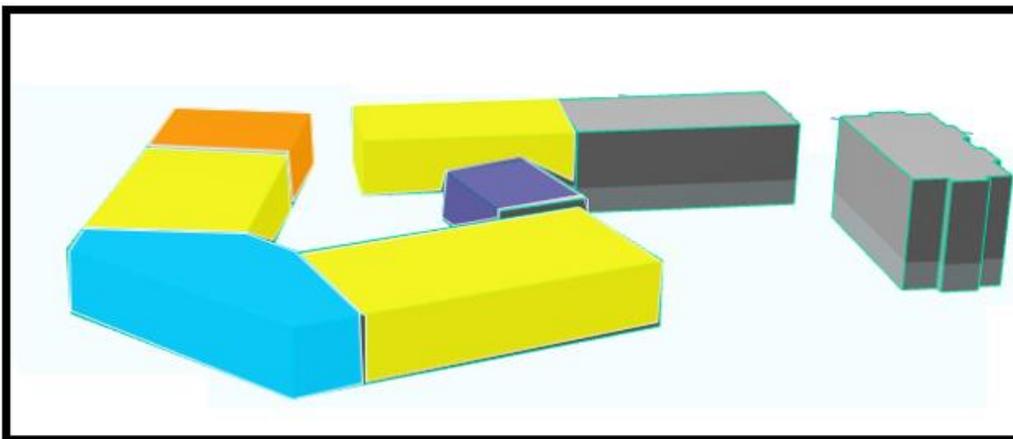


Figure II.23: volume

### D. Emplacement des fonctions (Zoning) :

Dans cette partie, nous illustrerons les principes de composition de notre projet tout en tenant compte des synthèses tirées des étapes précédentes . Donc nous essayerons de concrétiser les données théoriques recueillies en dimensions spatiales .

- Placer l'internat, le restaurant et logement de fonction sur le côté calme pour assurer l'intimité. 2étagé (restaurant dans l'entre sol et l'internat au RDC +1)
- Logement de fonction
- Réserver pour les classes et les laboratoires au RDC, et l'administration au R+1.
- côté sud Réservée pour les classes et au côté nord pour des bâtis d'enseignement et de culture
- Réserver le milieu entre le terrain de sport et la cour pour un bâtiment de service

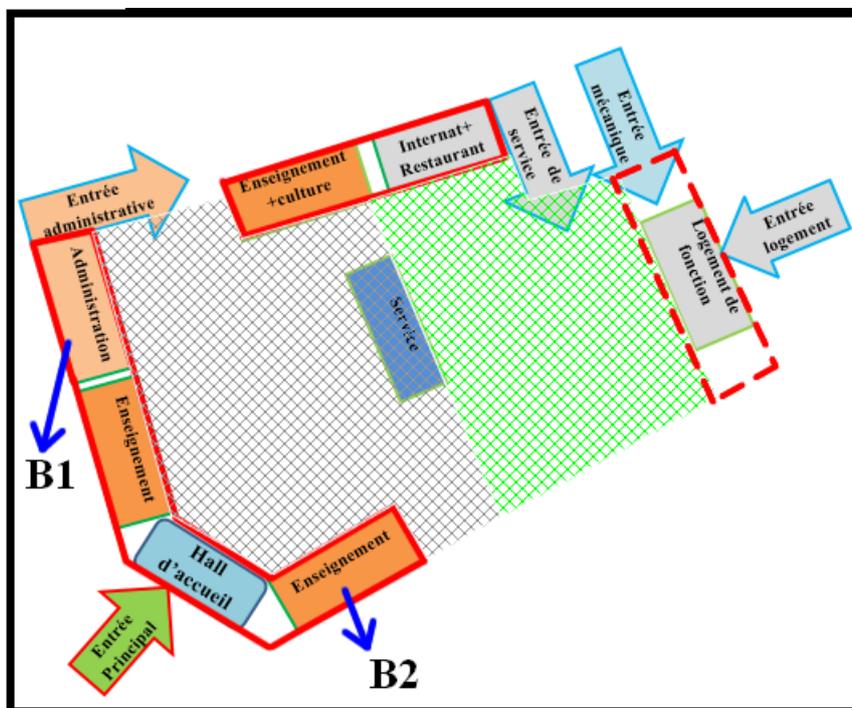


Figure II.24: Emplacement des fonctions

Les plans architectes sont situés dans l'annexe.

### Conclusion :

Le terrain d'intervention avec sa forme trapézoïdale est limité par des voies de circulation divers (faible et moyen) pour cela notre organisation spatiale était basée sur la création d'une harmonie avec l'environnement tout en assurant la flexibilité des lieux, et elle était comme suite :

L'accès principal piéton est percé sur le côté sud du terrain, donnant sur une voie de faible flux mécanique pour assurer la sécurité des usagers (élèves, enseignants,...), ainsi pour la visibilité et lisibilité de projet.

L'accès principal mécanique est placé sur la voie ouest d'un moyen de flux mécanique et piéton afin d'éviter les problèmes de circulation et d'encombrement au niveau de l'accès piéton principal.

La présence d'une pente de 3.4m de dénivelé nous a aidés à gagner plus d'espace surtout pour les blocs placés sur le côté le plus haut à l'ouest, et donc monter en R+1 ne gêne pas le skyline et l'image de l'ensemble bâti.

Les unités pédagogiques gravitent autour des locaux communs, ils s'organisent autour d'une grande cour, en créant de cette dernière une centralité principale de l'établissement.

La cour est un élément central qui assure la liaison entre les blocs, elle est un lieu de convergence.

La distribution des salles et des classes aux RDC ainsi qu'à l'étage est faite suivant le principe de la fluidité des espaces, l'accès principale donne accès à un dégagement central (hall d'accueil) qui facilite la distribution aux différentes salles (laboratoires, classes, salles de réunion...), et en même temps il mène à la cour principale.

La distribution des salles s'appuie sur la symétrie des espaces avec des couloirs de circulation.

Les parkings sont placés dans la zone de flux mécanique faible, partie nord de terrain pour les besoins de stationnement de l'équipement et pour éviter l'encombrement.

Implantation des arbres pour absorber le bruit et assurer le calme.

Placer l'hébergement sur le côté calme pour assurer l'intimité. C'est une fonction annexe

Notre façade respire la fraîcheur de modernité et suit un schéma rectiligne (des lignes droites), Cette modernité qui est représenté par l'utilisation du verre qui permet la clarté et la visibilité des espaces. Le bâtiment comme déjà expliqué au plans assure une symétrie irrégulière par rapport à une partie centrale, donc on a traité cette partie qui elle-même accentue une symétrie axial, de manière à faire de cet élément central la partie remarquable de l'établissement. On remarque aussi un rythme d'ouvertures qui se répète avec une accentuation de la verticalité de ces dernières entouré d'un cadre orange.

L'utilisation des grandes fenêtres pour favoriser la pénétration de soleil et une bonne aération. (Voir annexe)

Selon les experts l'orange, le vert, le jaune et le bleu ciel arrivent en tête et améliore de plus les comportements sociaux des étudiants, ces couleurs apporte le repos, la paix et la nostalgie des étudiant [12]

Dans le choix du système structurel d'un établissement éducatif, nous devons nous assurer qu'il répond en premier lieu à des critères particulièrement stricts de résistance et de pérennité. De ce fait nous avons choisi un type de structures : une structure (poteau-poutre) en béton armé



Figure II.25: façade principal



Figure II.26: Vue en 3D

# CHAPITRE III :

## PRÉSENTATION DU PROJET

## Introduction :

Toute étude de projet d'un bâtiment dont la structure est en béton armé, a pour but d'assurer la stabilité et la résistance des bâtiments afin d'assurer la sécurité du bâtiment. On sait que le développement économique dans les pays industrialisés privilégie la construction verticale dans un souci d'économie de l'espace.

Cependant, il existe un danger représenté par ce choix, à cause des dégâts qui peuvent lui occasionner les séismes et le vent. Pour cela, il y a lieu de respecter les normes et les recommandations parasismiques qui rigidifient convenablement la structure.

Quels que soient les types des bâtiments en béton armé, leurs études rencontrent des nombreuses difficultés dans le choix du modèle de comportement. Les règlements parasismiques Algériens définissent des modèles et des approches spécifiques à chaque type de bâtiment.

La stabilité de l'ouvrage est en fonction de la résistance des différents éléments structuraux (poteaux, poutres, voiles...) aux différentes sollicitations (compression, flexion...) dont la résistance de ces éléments est en fonction du type des matériaux utilisés et de leurs dimensions et caractéristiques.

Donc ; pour le calcul des éléments constituant un ouvrage, on va suivre des règlements et des méthodes connues (BAEL91 modifié 99, RPA99V2003) qui se basent sur la connaissance des matériaux (béton et acier) et le dimensionnement et ferrailage des éléments résistants de la structure.

### III.1 Présentation du projet :

Le projet que nous avons en train d'étudier consiste à un bâtiment scolaire, un lycée de 800 places, implanté au site BOUJLIDA wilaya de TLEMEN, Qui est une Zone de faible sismicité zone I a d'après les règles parasismiques algériennes (RPA 99 version 2003), composé de 6 blocs plus un logement de fonction.

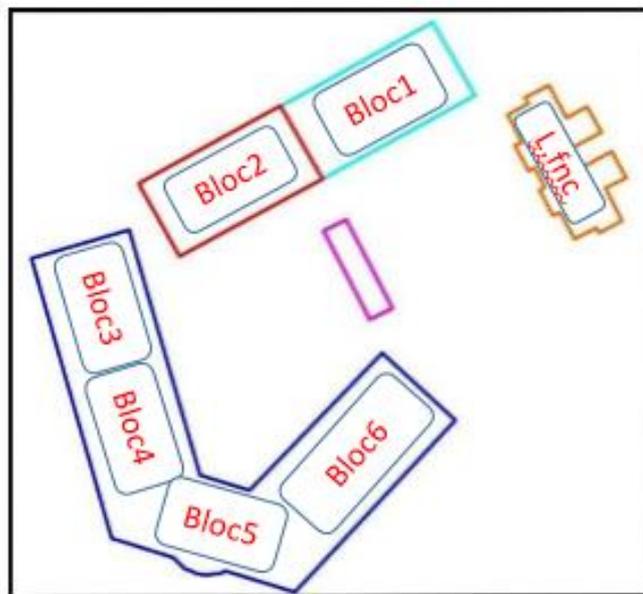


Figure III.1: disposition des blocs

Tableau III.1: fonctionnement de chaque bloc

Blocs	Etages	Fonction
Bloc 1	R.D.C	restauration
	1 <sup>er</sup> et 2 <sup>eme</sup>	Internat
Bloc 2	R.D.C	Foyer + auditorium
	1 <sup>er</sup>	Bibliothèque
Bloc 3	R.D.C	Enseignement
	1 <sup>er</sup>	Administration +Enseignement
Bloc 4	R.D.C	Enseignement science
	1 <sup>er</sup>	Enseignement
Bloc 5	R.D.C	Hall d'accueil
	1 <sup>er</sup>	Hall
Bloc 6	R.D.C	Enseignement
	1 <sup>er</sup>	Enseignement
Logement de fonction	R.D.C ; 1 <sup>er</sup> ; 2 <sup>eme</sup>	Habitations

Tableau III.2: fonction de chaque étage

Blocs	Etages	Fonctions
Bloc 1	R.D.C	Restaurant
	1 <sup>er</sup> et 2 <sup>eme</sup>	Chambre pour les internes
Bloc 2	R.D.C	Foyer ; auditorium ; salle de séminaire
	1 <sup>er</sup>	Bibliothèque ; salle polyvalente
Bloc 3	R.D.C	Classes ; dépôt ; loge de concierge
	1 <sup>er</sup>	Bureau d'administration
Bloc 4	R.D.C	Laboratoire de science et physique ; salle de préparation
	1 <sup>er</sup>	Classes, salle de collection
Bloc 5	R.D.C	Salle de professeurs ; salle de réunion des élèves ; bureau de surveillance ; loge de gardien
	1 <sup>er</sup>	Bureau de surveillance ; salle de séminaire ; foyer et salle de travail pour les professeurs ; salle polyvalente
Bloc 6	R.D.C	Salle d'informatique ; classes ; salle histoire/géo
	1 <sup>er</sup>	Classes
Logement de fonction	R.D.C ; 1 <sup>er</sup> ; 2 <sup>eme</sup>	Logement F3 ; F4 ; F5

### III.2 Caractéristique géométrique :

Tableau III.3: caractéristique géométrique

Blocs	Longueur (m)	Largeur (m)	Nombre d'étages	Hauteur du R.D.C (m)	Hauteur d'étage courante (m)	Hauteur total (m)	Surface (m <sup>2</sup> )
Bloc 1	23,10	13,40	R+2	3,4	3,4	10,2	309,54
Bloc 2	25	13,17	R+1	3,4	3,4	6,8	329,25
Bloc 3	15	16	R+1	4,4	3,4	7,8	240
Bloc 4	21,2	16	R+1	4,4	3,4	7,8	339,2
Bloc5	29	13	R+1	4,4	3,4	7,8	328,9
Bloc 6	30	16	R+1	4,4	3,4	7,8	480
Logement de fonction	21,8	9,2	R+2	3,06	3,06	9,18	200,56

### III.3 Conception de l'ouvrage :

#### ❖ Ossature :

C'est une structure auto-stable réalisée en système de portique poteaux- poutres et voiles, pour assurer la stabilité de l'ensemble sous l'effet des actions verticales et horizontales.

#### ❖ Plancher :

Dans notre cas nous avons utilisé des planchers en corps creux.

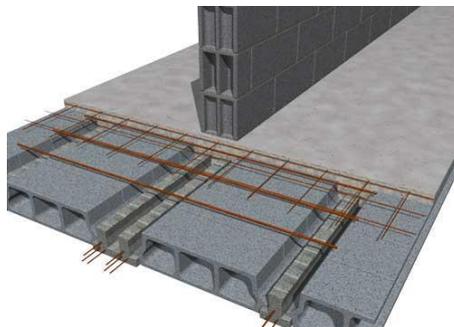


Figure III.2: plancher en corps creux

#### ❖ Les escaliers :

Ce sont des éléments non structuraux, permettant le passage d'un niveau à un autre avec deux volées et paliers inter étage en béton armé.

#### ❖ Maçonnerie :

➤ **Murs extérieurs** : sont réalisés en doubles parois en briques creuses de (15 cm ; 10 cm) d'épaisseur séparées par une lame d'air de 5 cm.

➤ **Murs intérieurs** : sont réalisés en simple parois en brique creuse de 10 cm d'épaisseur.

#### ❖ Revêtement :

➤ Enduit en ciment à l'extérieur et en plâtre à l'intérieur et les plafonds.

- Revêtement en carrelage pour les planchers et les escaliers.
- Revêtement par étanchéité multicouche pour les planchers terrasses.
- ❖ Isolation :
  - L'isolation acoustique est assurée par le vide de corps creux et la masse du plancher.
  - Au niveau de murs extérieurs l'isolation est assurée par le vide d'air entre les deux parois
  - L'isolation thermique est assurée par les couches de liège pour le plancher terrasse.
- ❖ Acrotère :

La terrasse étant inaccessible est entourée d'un acrotère en béton armé d'une hauteur de 60 cm et d'une épaisseur de 10 cm.

- ❖ Fondation :

La transmission des charges par la superstructure en sol est assurée par des semelles isolées.

### III.4 Caractéristiques géotechniques du sol :

- Le bâtiment est implanté dans une zone classée par le **RPA 99 V 2003** comme zone de faible sismicité (zone I).
- L'ouvrage appartient au groupe d'usage 1B.
- Le site est considéré comme rocheux (S1).
- le système de fondation préconisé est un système de fondation superficielle sur semelle isolée

D'après le rapport du laboratoire mécanique de sol (**LTPO**), la contrainte admissible du sol est  $\overline{\sigma}_{sol} = 4 \text{ bars}$

### III.5 Caractéristiques mécaniques des matériaux :

Le béton et l'acier seront choisis conformément aux règles de conception et calcul des structures en béton armé en vigueur en Algérie.

- ❖ Béton :
  - La résistance du béton à la compression à 28 jours :  $f_{c,28} = 25 \text{ MPa}$
  - La résistance du béton à la traction à 28 jours :  $f_{t,28} = 2,1 \text{ MPa}$
  - Le module d'élasticité instantané de béton à 28 jours :  $E_{i28} = 32164.20 \text{ MPa}$
  - Le module d'élasticité différé de béton :  $E_{v28} = 10818.87 \text{ MPa}$
  - Coefficient de poisson  $\nu = 0,2$  ELU
  - Coefficient de poisson  $\nu = 0$  ELS
  - Déformation instantané  $E_{ij} = 11000^2 \sqrt{f_{cj}}$
  - Déformation différées  $E_{vi} = 3700^2 \sqrt{f_{cj}}$
- Les états limites :
  - ELU :

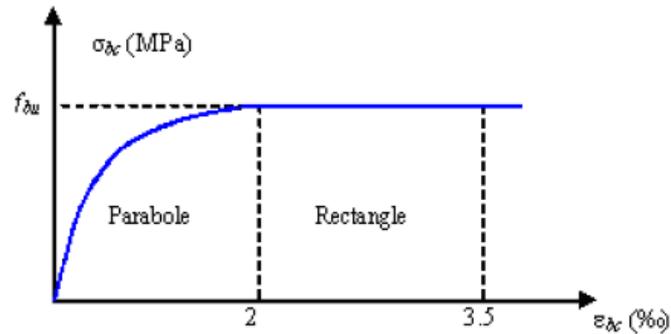


Figure III.3: Diagramme parabole rectangle

- ELS :

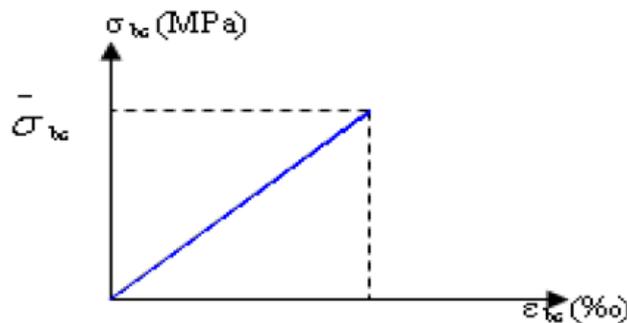


Figure III.4: Diagramme de calcul à l'état limite de service

❖ Acier :

- Armatures longitudinales :  $f_e E400 [HA] f_e = 400 MPa$
- Armatures transversales :  $f_e E 235 [RL] f_e = 235 MPa$
- Treillis soudés (pour la dalle de compression)  $150 \times 150 \text{ mm}^2$  avec  $\Phi = 6 \text{ mm}$
- Module d'élasticité longitudinal :  $E_s = 200000 \text{ MPa}$
- Etat limite ultime ELU :

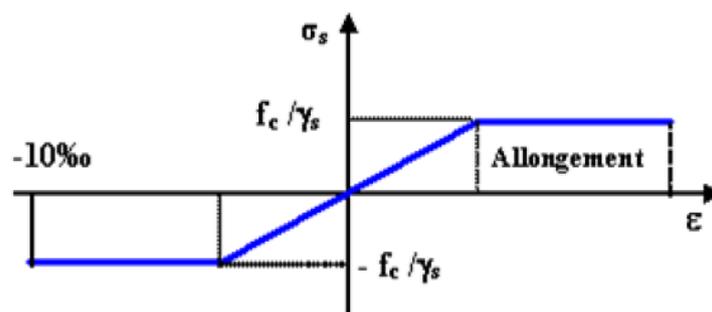


Figure III.5: Diagramme contrainte-déformation de l'acier

### III.6 Sollicitations de calcul vis-à-vis des états limites :

Les sollicitations de calcul sont déterminées à partir de la combinaison d'actions suivantes :

- Etat limite ultime (ELU) :  $1,35G+1,5Q$
- Etat limite service (ELS) :  $G+Q$

S'il y a intervention des efforts horizontaux dus au séisme, les règles parasismiques Algériennes ont prévu des combinaisons d'action suivantes :

- $G + Q \pm E$
- $G + Q \pm 1,2E$
- $0,8G \pm E$

Avec : G : charge permanente  
Q : charge d'exploitation  
E : effort de séisme

# CHAPITRE IV : DESCENTE DES CHARGES ET PRE- DIMENSIONNEMENT

## Introduction :

L'évaluation des différents éléments résistants : poteaux, poutres, voiles et autres, passent impérativement par un dimensionnement préliminaire appelé pré-dimensionnement sera fait selon les règles du B.A.E.L 91 et du RPA99 V 2003.

Pour cela nous évaluons une descente des charges et surcharge pour chaque élément porteur de tous les niveaux et jusqu'à la fondation.

### IV.1 Détermination de l'épaisseur du plancher :

Les planchers permettent de limiter les différents niveaux du bâtiment. Le rôle essentiel des planchers est d'assurer la reprise et transmission des charges verticales aux éléments porteurs. D'après les règles de **B.A.E.L 91** on doit vérifier la condition de la flèche :

$$\frac{ht}{L} \geq \frac{1}{22,5} \Rightarrow ht \geq \frac{L}{22,5}$$

Avec : ht : hauteur total du plancher  
L : La portée maximum entre nue d'appuis d'une poutrelle

On a : L= 500 cm

$$\frac{ht}{L} \geq \frac{500}{22,5} \Rightarrow ht \geq 22,5 \Rightarrow ht = 25 \text{ cm}$$

On adopte un plancher à corps creux de hauteur totale ht=25cm

Soit un plancher (20+5) cm avec : 20 cm → corps creux

5 cm → dalle de compression

### IV.2 Descente de charge :

#### IV.2.1 Plancher terrasse inaccessible :

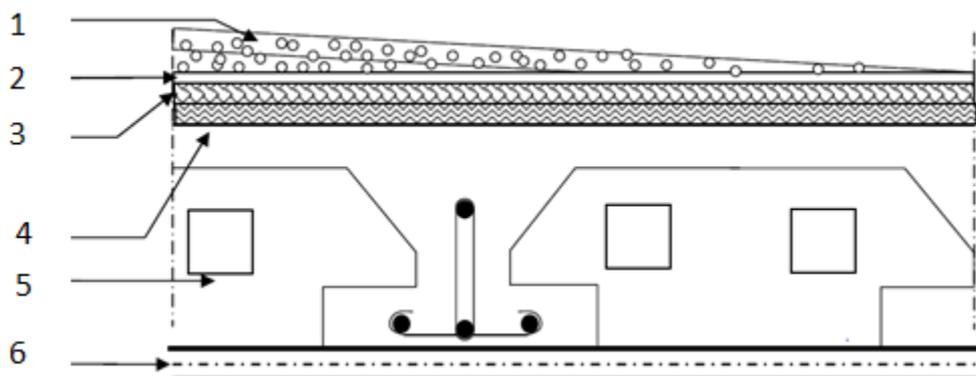


Figure IV.1: Plancher terrasse inaccessible

Tableau IV.1: Plancher terrasseb inaccessible

N <sup>0</sup>	Désignation	Epaisseur (m)	P (Kn/m <sup>3</sup> )	G (Kn/m <sup>2</sup> )
1	Gravier	0,05	17	0,85
2	Etanchéité multicouche	0,02	6	0,12
3	Forme de ponte	0,06	22	1,32
4	Isolation thermique	0,02	5	0,1
5	Dalle en corps creux	0,25	/	3,3
6	Enduit en plâtre	0,02	10	0,2
G (Kn/m <sup>2</sup> )			5,89	
Q (Kn/m <sup>2</sup> )			1	

#### IV.2.2 Plancher R.D.C :

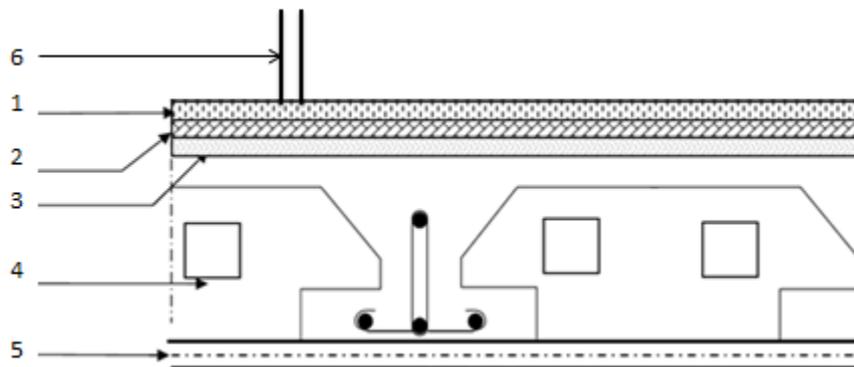


Figure IV.2: Plancher R.D.C

Tableau IV. 2: Plancher R.D.C

N <sup>0</sup>	Désignation	Epaisseur (m)	P (Kn/m <sup>3</sup> )	G (Kn/m <sup>2</sup> )
1	Carrelage	0,02	22	0,44
2	Mortier de pose	0,02	20	0,4
3	Lit de sable fin	0,02	18	0,36
4	Dalle en corps creux	0,25	/	3,3
5	Enduit plâtre	0,02	10	0,2
6	Cloison de séparation	/	/	0,75
G (Kn/m <sup>2</sup> )			5,45	

Tableau IV.3: charge d'exploitation de R.D.C

	Q (KN/m <sup>2</sup> )
Circulation (hall), escalier (block 5)	4
Salle de classe (block 1, 3, 4,6)	2,5
Bibliothèque (block 2)	4

#### IV.2.3 Mur extérieur :

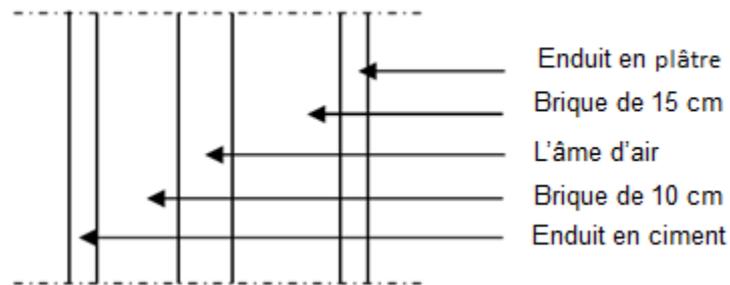


Figure IV.3: Coupe transverse du mur extérieur

Tableau IV.4: Mur extérieur double paroi

Désignation	Épaisseur (m)	P (Kn/m <sup>3</sup> )	G (Kn/m <sup>2</sup> )
Enduit ciment	0,02	20	0,4
Brique creuse de 15 cm	0,15	9	1,3
L'âme d'air	0,05	/	/
Brique creuse de 10 cm	0,1	9	0,9
Enduit plâtre	0,02	10	0,2
G (Kn/m <sup>2</sup> )		2,8	

#### IV.2.4 Mur intérieur :

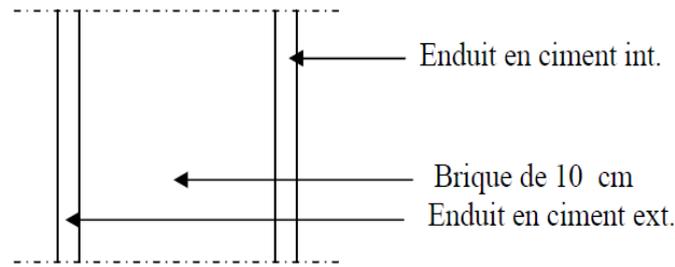


Figure IV.4: coupe transversal du mur intérieur simple parois

Tableau IV.5: Mur intérieur simple parois

Désignation	Epaisseur (m)	P (Kn/m <sup>3</sup> )	G (Kn/m <sup>2</sup> )
Enduit ciment	0,02	20	0,4
Brique creux de 10 cm	0,1	9	0,9
Enduit plâtre	0,02	10	0,2
G (Kn/m <sup>2</sup> )		1,5	

#### IV.3 Pré-dimensionnement des éléments structuraux :

##### IV.3.1 Introduction :

Pour assurer une meilleure stabilité de l'ouvrage, il faut que tous les éléments de la structure (Poteaux, Poutres) soient pré dimensionnés de telles manières à reprendre tous les sollicitations suivantes :

- Sollicitations verticales concernant les charges permanentes et les surcharges.
- Sollicitations horizontales concernant le séisme.

Le pré dimensionnements de la structure est calculé conformément aux règles B.A.E.L91 et RPA99 version 2003

##### IV.3.2 Pré-dimensionnement des poutres :

Selon le règlement de **B.A.E.L 91** les poutres seront pré-dimensionnées par le critère de rigidité :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10} \text{ et } 0,3h \leq b \leq 0,7h$$

Avec :

h : hauteur totale de la poutre.

b : largeur de la poutre.

L : distance entre axe de poteaux et on choisit la plus grande portée.

Selon **RPA99 V 2003** les dimensions des poutres doivent satisfaire les conditions suivant :

$$\left\{ \begin{array}{l} b \geq 20 \text{ cm} \\ h \geq 30 \text{ cm} \\ \frac{h}{b} \leq 4 \end{array} \right.$$

**IV.3.2.1 Les poutres principales :**

On a  $L=650$  cm

$43,33 \leq h \leq 65$  on prend  $h = 50$  cm

$15 \leq b \leq 35$  on prend  $b = 35$  cm (d'après les calculs  $b=35$ cm mais vue que la largeur des poteaux égale à 40cm donc on prend la largeur de la poutre égale à 40 cm)

$$\text{Vérification : } \left\{ \begin{array}{ll} b = 40 \text{ cm} > 20 \text{ cm} & \text{CV} \\ h = 50 \text{ cm} > 30 \text{ cm} & \text{CV} \\ \frac{h}{b} = 1,5 < 4 & \text{CV} \end{array} \right.$$

**IV.3.2.2 Les poutres secondaires (chainages) :**

On a  $L= 500$  cm

$33,3 \leq h \leq 50$  on prend  $h= 40$  cm

$12 \leq b \leq 28$  on prend  $b = 25$  cm

$$\text{Vérification : } \left\{ \begin{array}{ll} b = 25 \text{ cm} > 20 \text{ cm} & \text{CV} \\ h = 40 \text{ cm} > 30 \text{ cm} & \text{CV} \\ \frac{h}{b} = 1,6 < 4 & \text{CV} \end{array} \right.$$

Tableau IV.6 : Récapitulation de pré-dimensionnement des poutres

Blocs	Poutre principale (cm <sup>2</sup> )	Poutre secondaire (cm <sup>2</sup> )
Blocs 2	(50X80)	(25X40)
Bloc 3	(40X50)	(25X40)
Bloc 4	(40X50)	(25X40)
Bloc 5	(40X50)	(40X50)
Bloc 6	(40X50)	(25X40)

**IV.3.2.3 Pré-dimensionnement des poteaux :**

Un poteau est un organe de structure d'un ouvrage sur lequel se concentrent de façon ponctuelle les charges de la superstructure et par lequel ces charges se répartissent vers les infrastructures de cet ouvrage.

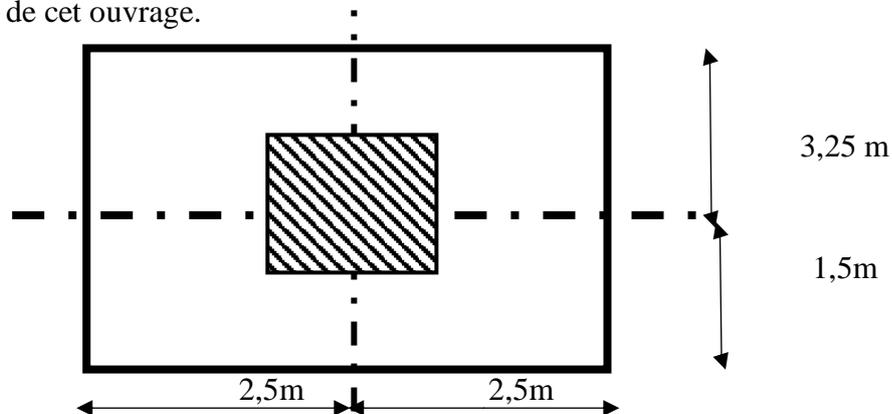


Figure IV.5: Section du poteau le plus sollicité

**S** : est la surface supportée par le poteau le plus sollicité. **S= 23,75 m<sup>2</sup>**

On suppose une charge moyenne de : **Pu = 1 t /m<sup>2</sup>**

$$Nu = Pu \times S \times N = 23,75 \text{ t}$$

**Avec :**

**Pu** : charge du plancher.

**S** : surface supporté par le poteau le plus sollicité.

**N** : nombre d'étage. (**N=1**)

- Section réduite (**Br**) : selon les règles du **B.A.E.L 91** :

$$Br \geq \frac{\beta \times Nu}{\left[ \frac{fbc}{0,9} + 0,85 \times \frac{fe}{100 \times \gamma_s} \right]}$$

$\beta$  : Coefficient de correction dépendant de l'élanement mécanique  $\lambda$  des poteaux qui prend la valeur :

$$\text{Pour } \lambda \leq 50 \quad \beta = 1 + 0,2(\lambda/35)^2$$

On fixe l'élanement mécanique  $\lambda=35$  pour rester toujours dans le domaine de la compression centrée d'où :  **$\beta = 1.2$**

$$fbc = \frac{0,85 \times fc28}{\gamma_b} = \frac{0,85 \times 25}{1,5} = 14,17 \text{ MPA}$$

Avec :

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

$\gamma_b = 1,5$  (cas général)

$$Br \geq \frac{1,2 \times 0,2375}{\left[ \frac{14}{0,9} + 0,85 \times \frac{400}{100 \times 1,15} \right]} \Rightarrow Br \geq 0,077 \text{ m}^2$$

$$\text{On a: } Br \geq (a - 0,02)^2 \Rightarrow a \geq \sqrt{Br} - 0,02$$

$$\Rightarrow a \geq 29,74 \text{ cm}$$

Donc on prend : **a=b= 40 cm**

#### IV.3.2.3.1 Vérification des conditions de RPA99 V2003 :

$$\text{Min (a; b)} \geq 25 \text{ cm} \rightarrow a = 40 \text{ cm} \geq 25 \text{ cm} \quad \text{C.V}$$

$$\text{Min (a; b)} \geq \frac{he}{40} \rightarrow a = 40 \text{ cm} \geq \frac{340}{20} = 17 \text{ cm} \quad \text{C.V}$$

$$\frac{1}{4} \leq \frac{a}{b} \leq 4 \rightarrow \frac{1}{4} \leq \frac{40}{40} = 1 \leq 4 \quad \text{C.V}$$

#### IV.3.2.3.2 Vérification au flambement :

- Calcul de moment d'inertie :

$$I_x = I_y = \frac{a^4}{12} = \frac{40^4}{12} = 213333,33 \text{ cm}^4$$

- Calcul de rayon de giration  $i_x, i_y$  :

$$i_x = i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{213333}{40^2}} = 11,54$$

Avec :  $A = 40 \times 40 = 1600 \text{ cm}^2$

- Calcul de l'élancement :

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{l_f}{i_x}$$

$$l_f = 0,7 \times l = 0,7 \times 3,40 = 2,38 \text{ m} = 238 \text{ cm}$$

Avec  $l_f$  : longueur du flambement ;  $l = 3,4 \text{ m}$

$$\lambda_x = \lambda_y = \frac{238}{10,1} = 23,56$$

On a  $\lambda_x = \lambda_y = 23,56 < 50$  C.V

#### IV.3.2.3.3 Récapitulation de pré-dimensionnement des poteaux :

Tableau V7: Récapitulation de pré-dimensionnement des poteaux

Bloc	Poteau	a=b (m)
Bloc 2	R.D.C	0,5
	1 <sup>er</sup> étage	0,5
Les autres blocs	R.D.C	0,4
	1 <sup>er</sup> étage	0,4

#### IV.3.3 Pré dimensionnement des voiles :

Le mur voile est un élément structural de contreventement soumis à une charge verticale due à la combinaison des charges permanentes, d'exploitations, et une charge horizontale due à l'action du vent, ou d'un séisme. Ce qui implique que les murs voiles seront calculés en flexion composée et au cisaillement, leurs ferrailages sont composés d'armatures verticales et d'armatures horizontales.

Le **R.P.A 99(version 2003)** considère comme voiles de contreventement les voiles satisfaisant la condition suivante :

$$\left\{ \begin{array}{l} L \geq 4. a \\ a \geq \frac{h_e}{20} \end{array} \right.$$

Avec :

L : longueur des voiles

a : épaisseur des voiles (a min = 15 cm)

$h_e$  : hauteur libre d'étage ( $h_e = 3,15 \text{ m}$ )

$$a \geq \frac{3,15}{20} \Rightarrow a = 0,25 \text{ m}$$

$$L \geq 4 \times 0,2 \Rightarrow L = 1 \text{ m}$$

# CHAPITRE V : ETUDE DES ÉLÉMENTS SECONDAIRES

## Introduction :

Les éléments secondaires sont des éléments qui ne contribuent pas directement au contreventement, dont l'étude de ces éléments est indépendante de l'action sismique.

### V.1 Etude des planchers à corps creux :

Les planchers sont des éléments horizontaux, permettent de limiter les différents niveaux du bâtiment, le rôle essentiel des planchers est d'assurer la reprise et transmission de charges verticales aux éléments porteurs. En plus de cette participation à la stabilité de l'ouvrage, ils offrent une isolation thermique, acoustique, et la protection contre l'incendie entre les différents étages.

Dans notre structure, on a un seul type de plancher :

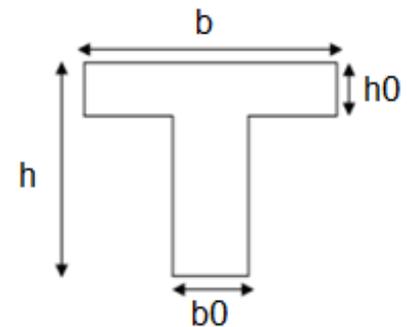
- ✓ Plancher à corps creux

Les poutrelles sont disposés perpendiculaire au sens porteur et espacées de 65 cm et sur lesquelles vient s'appuyer l'hourdis.

Hauteur du plancher  $h_t=25$  cm

Épaisseur de la nervure  $h_0=5$  cm

Largeur de la nervure  $b_0=12$  cm



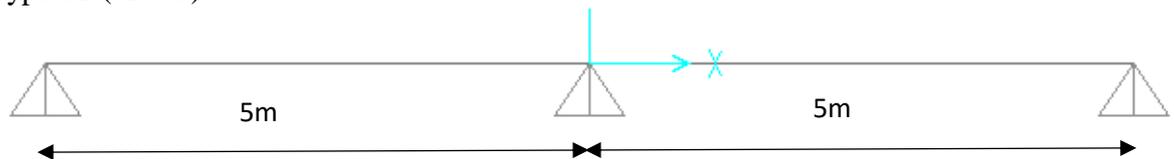
#### V.1.1 Etude des poutrelles :

Il existe plusieurs méthodes pour une étude des poutrelles. Nous allons utiliser la méthode des trois moments et le logiciel **SAP2000** pour déterminer les efforts tranchants et les moments fléchissant.

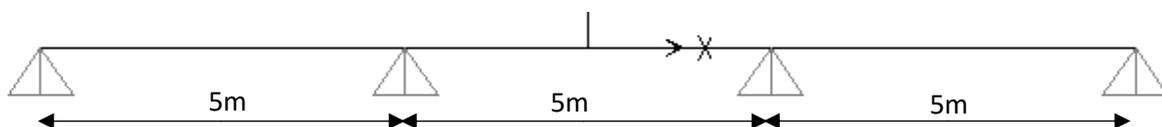
#### V.1.2 Type des poutrelles :

- ❖ 1<sup>er</sup> étage :

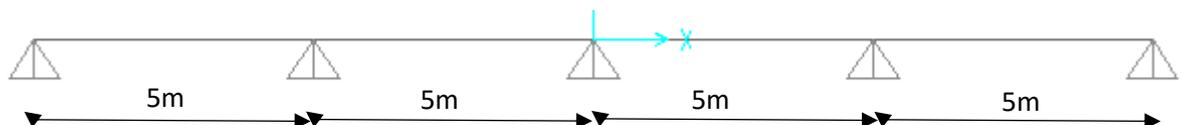
- Type 01 (bloc 3) :



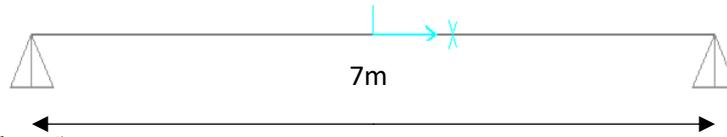
- Type 02 (bloc 3) :



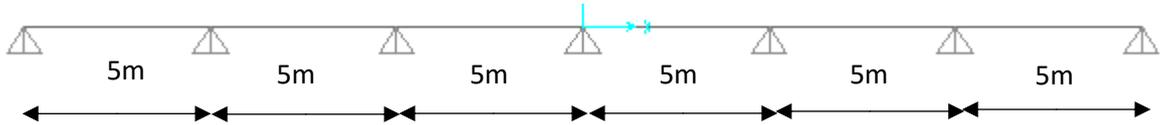
- Type 03 (bloc2) :



- Type 04 (bloc5) :

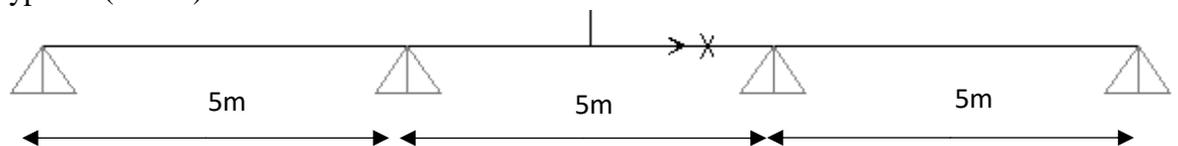


- Type 05 (bloc 6) :

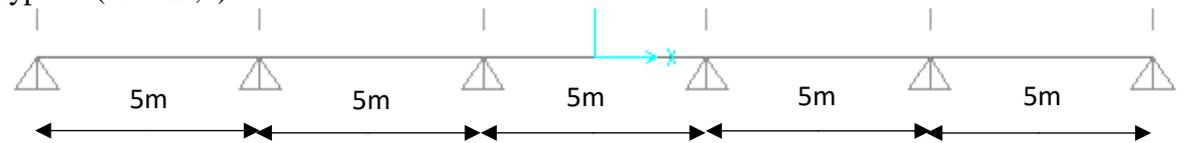


❖ Terrasse :

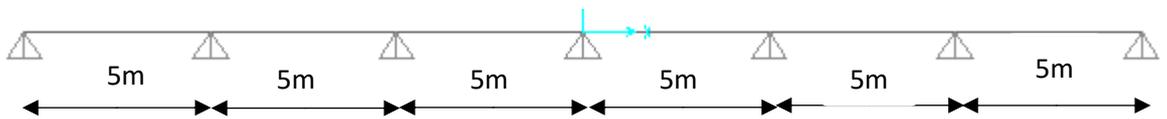
- Type 06 (bloc 3) :



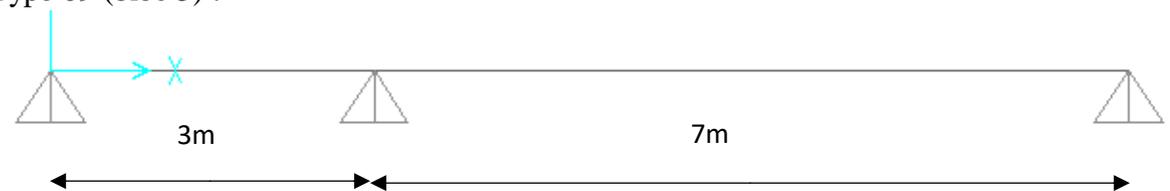
- Type 07 (bloc 2 ;4) :



- Type 08 (bloc 6) :



- Type 09 (bloc 5) :



**V.1.3 Les charge des poutrelles :**

- ✓ ELU :  
 $q_u = b \cdot (1,35G + 1,5Q)$
- ✓ ELS :  
 $q_s = b \cdot (G + Q)$

## V.1.3.1 Block 1 ; 3 ; 4 ; 6 :

Tableau V.1: charge des poutrelles du block 1 ; 3 ; 4 ; 6

	G Kn/m <sup>2</sup>	Q (Kn/m <sup>2</sup> )	B (m)	qu (Kn/ml)	qs (Kn/ml)
1 <sup>er</sup> étage	5,45	2,5	0,65	7,21	5,16
Terrasse	5,89	1	0,65	6,14	4,47

## V.1.3.2 Block 2 ; 5 :

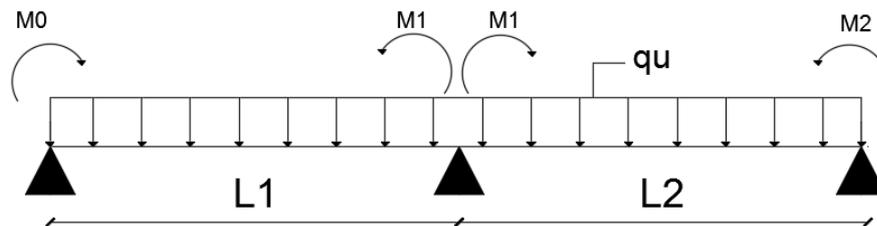
Tableau V.2: charge des poutrelles du block 2 et 5 (type 2 ; 4 ; 6 et 7) :

	G Kn/m <sup>2</sup>	Q (Kn/m <sup>2</sup> )	B (m)	qu (Kn/ml)	qs (Kn/ml)
1 <sup>er</sup> étage	5,45	4	0,65	8,68	6,2
Terrasse	5,83	1	0,65	6,14	4,47

## V.1.4 Déterminations des efforts internes :

Nous avons neuf types de poutrelles, on va déterminer les efforts internes pour le type 01 (Block 3 ,1er étage) par la méthode des trois moments et les autres sont calculés directement par logiciel SAP2000.

➤ ELU :



$$M_0 \cdot L_1 + 2 \cdot M_1 \cdot (L_1 + L_2) + M_2 \cdot L_2 = -6 \cdot EI \cdot (R_{g1} - R_{d1})$$

$$\begin{cases} R_{g1} = \frac{-ql^3}{24 \cdot EI} \\ R_{d1} = \frac{ql^3}{24 \cdot EI} \end{cases}$$

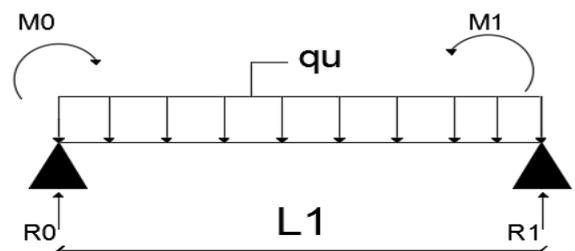
$M_0 = M_2 = 0$  (condition limites)

$L_1 = L_2 = 5\text{m}$

$q_u = 7,21 \text{ Kn/ml}$

$$M_1 = \frac{-(q \cdot l_1^3 + q \cdot l_2^3)}{8(L_1 + L_2)} = -22,53 \text{ Kn.m}$$

✓ Travée 1-1 :  $0 \leq x \leq 5$



$$R_0 + R_1 - q_u \cdot L_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad R_0 + R_1 = 36,05 \text{ Kn}$$

$$\Sigma M/1 = 0 \Rightarrow R_0 = \frac{q_u \cdot L_1}{2} + \frac{M_1}{L}$$

$$\Rightarrow R_0 = 13,51 \text{ Kn}$$

$$\Rightarrow R_1 = 22,55 \text{ Kn}$$

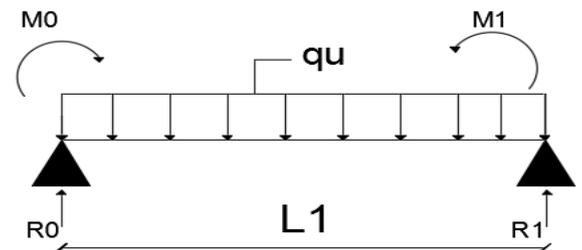
$$M_x = R_0 \cdot x - q_u \cdot \frac{x^2}{2} \Rightarrow M_x = \begin{cases} M(0) = 0 \\ M(5) = -22,53 \text{ Kn.m} \end{cases}$$

$$T_x = R_0 - q_u \cdot x \Rightarrow T_x = \begin{cases} T(0) = 13,51 \text{ kn} \\ T(5) = -22,55 \text{ kn} \end{cases}$$

▪  $M_{\max}$  :

$$\text{Si } T_x = 0 \Rightarrow x = \frac{R_0}{q_u}$$

$$\Rightarrow x = 1,873 \Rightarrow M_{\max} = 12,65 \text{ Kn.m}$$



✓ Travée 2-2 :  $0 \leq x \leq 5$

$$R_0 + R_1 - q_u \cdot L_1 = 0 \Rightarrow R_0 + R_1 = 36,05 \text{ Kn}$$

$$\Sigma M/1 = 0 \Rightarrow R_0 = \frac{q_u \cdot L_1}{2} + \frac{M_1}{L}$$

$$\Rightarrow R_0 = 13,51 \text{ Kn}$$

$$\Rightarrow R_1 = 22,55 \text{ Kn}$$

$$M_x = R_0 \cdot x - q_u \cdot \frac{x^2}{2} \Rightarrow M_x = \begin{cases} M(0) = 0 \\ M(5) = -22,53 \text{ Kn.m} \end{cases}$$

$$T_x = R_0 - q_u \cdot x \Rightarrow T_x = \begin{cases} T(0) = 13,51 \text{ kn} \\ T(5) = -22,55 \text{ kn} \end{cases}$$

▪  $M_{\max}$  :

$$\text{Si } T_x = 0 \Rightarrow x = \frac{R_0}{q_u}$$

$$\Rightarrow x = 1,873 \Rightarrow M_{\max} = 12,65 \text{ Kn.m}$$

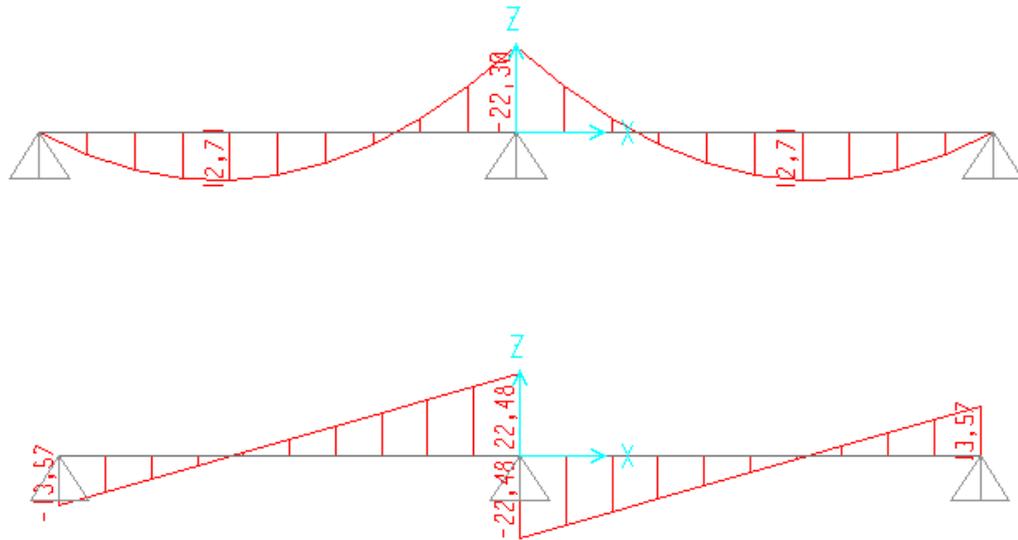
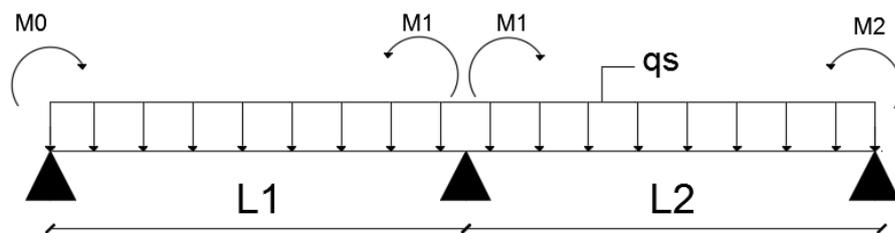


Figure V.1: Diagrammes des moments fléchissant et des efforts tranchants 1er étage (type 01, block 3) SAP2000

➤ ELS :



$$M_0 \cdot L_1 + 2 \cdot M_1 \cdot (L_1 + L_2) + M_2 \cdot L_2 = -6 \cdot EI \cdot (R_{g1} - R_{d1})$$

$$\begin{cases} R_{g1} = \frac{-ql^3}{24 \cdot EI} \\ R_{d1} = \frac{ql^3}{24 \cdot EI} \end{cases}$$

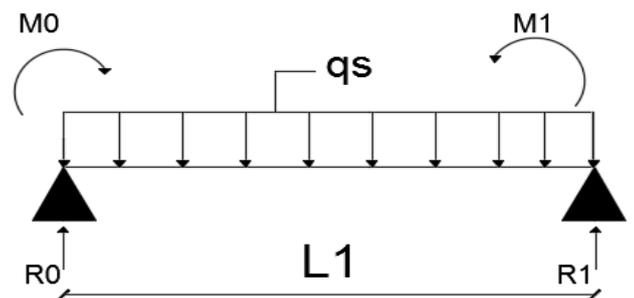
$M_0 = M_2 = 0$  (condition limites)

$L_1 = L_2 = 5\text{m}$

$q_s = 5,16 \text{ Kn/ml}$

$$M_1 = \frac{-(q \cdot l_1^3 + q \cdot l_2^3)}{8(L_1 + L_2)} = -16,125 \text{ Kn.m}$$

✓ Travée 1-1 :  $0 \leq x \leq 5$



$$R_0 + R_1 - q_s \cdot L_1 = 0 \quad \Rightarrow \quad R_0 + R_1 = 25,8 \text{ Kn}$$

$$\Sigma M/1 = 0 \quad \Rightarrow \quad R_0 = \frac{q_s \cdot L_1}{2} + \frac{M_1}{L}$$

$$\Rightarrow R_0 = 9,67 \text{ Kn}$$

$$\Rightarrow R_1 = 16,13 \text{ Kn}$$

$$M_x = R_0 \cdot x - q_s \cdot \frac{x^2}{2} \quad \Rightarrow M_x = \begin{cases} M(0)=0 \\ M(5)=-16,15 \text{Kn.m} \end{cases}$$

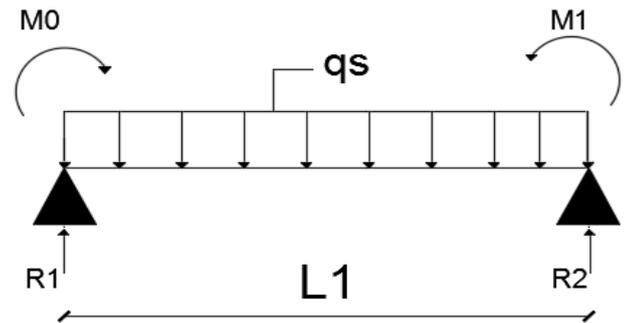
$$T_x = R_0 - q_s \cdot x \quad \Rightarrow T_x = \begin{cases} T(0)=9,67 \text{ kn} \\ T(5)=-16,13 \text{ kn} \end{cases}$$

▪  $M_{\max}$ :

$$\text{Si } T_x = 0 \Rightarrow x = \frac{R_0}{q_s}$$

$$\Rightarrow x = 1,874 \Rightarrow M_{\max} = 9,06 \text{ Kn.m}$$

✓ Travée 2-2 :  $0 \leq x \leq 5$



$$R_0 + R_1 - q_s \cdot L_1 = 0 \quad \Rightarrow R_0 + R_1 = 25,8 \text{ Kn}$$

$$\Sigma M/1 = 0 \quad \Rightarrow R_0 = \frac{q_s \cdot L_1}{2} + \frac{M_1}{L}$$

$$\Rightarrow R_0 = 9,67 \text{ Kn}$$

$$\Rightarrow R_1 = 16,13 \text{ Kn}$$

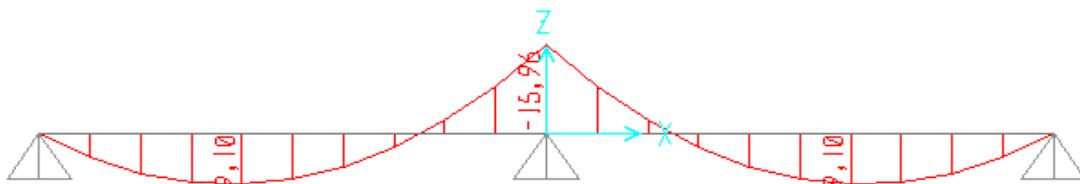
$$M_x = R_0 \cdot x - q_s \cdot \frac{x^2}{2} \quad \Rightarrow M_x = \begin{cases} M(0)=0 \\ M(5)=-16,15 \text{Kn.m} \end{cases}$$

$$T_x = R_0 - q_s \cdot x \quad \Rightarrow T_x = \begin{cases} T(0)=9,67 \text{ kn} \\ T(5)=-16,13 \text{ kn} \end{cases}$$

▪  $M_{\max}$ :

$$\text{Si } T_x = 0 \Rightarrow x = \frac{R_0}{q_s}$$

$$\Rightarrow x = 1,874 \Rightarrow M_{\max} = 9,06 \text{ Kn.m}$$



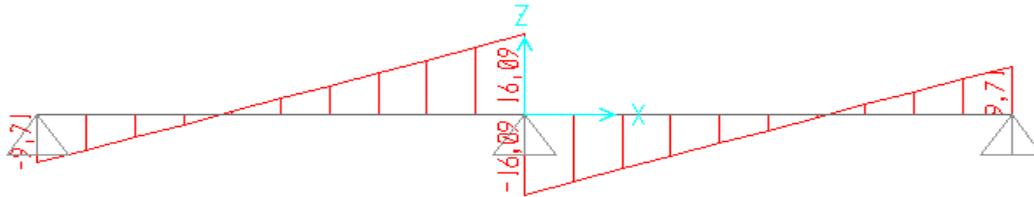


Figure V.2: Diagrammes des moments fléchissant et des efforts tranchants 1er étage (type 01, block 3) SAP2000

### V.2.5 Récapitulation des $M_{\max}$ et $T_{\max}$ :

Les résultats obtenus par **SAP2000**

Tableau V.3: Récapitulation des  $M_{\max}$  et  $T_{\max}$ 

		ELU			ELS		
	type	M (app) (Kn.m)	M (tr) (Kn.m)	$T_{\max}$ (Kn)	M (app) (Kn.m)	M (tr) (Kn.m)	$T_{\max}$ (Kn)
1 <sup>er</sup> étage	01	22,3	12,7	22,48	15,96	9,10	16,09
	02	21,16	17,40	26,02	15,43	12,43	18,59
	03	19,14	13,97	21,85	13,7	10	15,64
	04	0,	53,17	30,38	0	37,98	21,7
	05	18,92	14,06	21,81	13,54	10,06	15,61
Terrasse	06	16,51	13,29	19,88	12,05	9,7	14,51
	07	17,32	12,96	20,04	12,65	9,46	14,63
	08	17,51	13,03	20,21	12,7	9,44	14,64
	09	30,51	27	27,74	22,11	19,57	20,10

### V.2.6 Ferrailages des poutrelles :

On prend l'exemple de poutrelle type 01 du 1<sup>er</sup> étage block n°=1

➤ ELU :

❖ En travée :

$$M_{u,max} = 12,7 \text{ Kn.m} = 0,0127 \text{ Mn.m}$$

Moment qui équilibre la table :

$$M_t = b \cdot h_0 \cdot f_{bc} \left( d - \frac{h_0}{2} \right)$$

$$M_t = 0,65 \times 0,05 \times 14,17 \times \left( 0,9 \cdot 0,25 - \frac{0,05}{2} \right) = 0,092 \text{ Mn.m}$$

$$M_t = 0,092 > M_{u,max} = 0,0127$$

⇒ Donc ; la table n'est pas entièrement comprimée ce qui veut dire que l'axe neutre se trouve dans la table.

- on considère notre section (Section **Te**) comme section rectangulaire de hauteur ( $h=25\text{cm}$ ) et de largeur ( $b=65\text{cm}$ ) dans les calculs des armatures.

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}}$$

$$\mu_u = \frac{0,0127}{0,65 \times (0,9 \times 0,25)^2 \times 14,17} = 0,027$$

$$\mu_u = 0,027 < \mu_R = 0,392 \Rightarrow \text{section simple armature}$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaire.

$$\alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \Rightarrow \alpha = 0,034$$

$$Z = d \cdot (1 - 0,4 \cdot \alpha) \Rightarrow Z = 0,221$$

$$A_{ST} = \frac{M_u}{Z \cdot \sigma_{ST}} = \frac{12,7 \cdot 10^{-3}}{0,221 \times 347,826} = 1,65 \text{ cm}^2$$

On adopte **2T12 = 2,26 cm<sup>2</sup>**

✓ Condition de non fragilité :

La section minimal

$$A_{min} \geq \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 65 \times 0,9 \times 25 \times 2,1}{400} = 1,98 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} > 1,98 \text{ cm}^2$$

❖ En appuie :

$$M_{u,max} = 22,3 \text{ Kn.m} = 0,0223 \text{ Mn.m}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}}$$

$$\mu_u = \frac{0,0223}{0,65 \times (0,9 \times 0,25)^2 \times 14,17} = 0,047$$

$$\mu_u = 0,047 < \mu_R = 0,392 \Rightarrow \text{section simple armature}$$

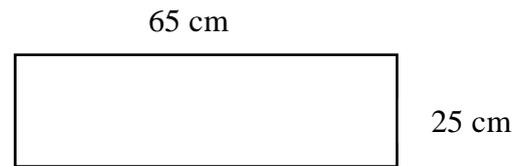
Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaire.

$$\alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \Rightarrow \alpha = 0,06$$

$$Z = d \cdot (1 - 0,4 \cdot \alpha) \Rightarrow Z = 0,219$$

$$A_{ST} = \frac{M_u}{Z \cdot \sigma_{ST}} = \frac{22,3 \cdot 10^{-3}}{0,219 \times 347,826} = 2,92 \text{ cm}^2$$

On adopte **3T12 = 3,39 cm<sup>2</sup>**



✓ Condition de non fragilité :

La section minimal

$$A_{min} \geq \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 65 \times 0,9 \times 25 \times 2,1}{400} = 1,98 \text{ cm}^2$$

$$A_{st} > 1,98 \text{ cm}^2$$

➤ Verification a ELS :

❖ En travée :

• Position de l'axe neutre :

$$\frac{b \cdot x^2}{2} - n \cdot A_{ST} \cdot (d - x) = 0 \Rightarrow \frac{65 \cdot x^2}{2} - 15 \times 2,26 \times (0,9 \times 25 - x) = 0$$

$$\Rightarrow \sqrt{\Delta} = 316,71$$

$$\Rightarrow x = 4,35 \text{ cm} < h_0 = 5 \text{ cm} \Rightarrow \text{l'axe neutre se trouve dans la table}$$

• Inertie :

$$I = \frac{b \cdot x^3}{2} - \frac{b - b_0}{2} \cdot (x - h_0)^3 + n \cdot A_{ST} \cdot (d - x)^2 = 1,38 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

• Calcul des contraintes :

✚ Béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_S \cdot x}{I} = \frac{9,1 \times 10^{-3} \times 0,0435}{1,38 \times 10^{-4}} = 2,86 \text{ MPa}$$

✚ Acier :

$$\sigma_{ST} = \frac{n \cdot M_S \cdot (d - x)}{I} = \frac{15 \times 9,1 \times 10^{-3} \times (0,9 \times 0,25 - 0,0435)}{1,38 \times 10^{-4}} = 179,52 \text{ MPa}$$

• Calcul des contraintes admissibles :

✚ Béton :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

✚ Acier :

$$\overline{\sigma}_{ST} = \text{pas de limite (fissuration non prejuduciable)}$$

• Verification des contraintes :

✚ Béton :

$$\sigma_{bc} = 2,86 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \quad \text{C.V}$$

$$\sigma_{ST} = 179,52 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{ST} (\text{pas de limite}) \text{C.V}$$

❖ En appuie :

• Position de l'axe neutre :

$$\frac{b_0 \cdot x^2}{2} - n \cdot A_{ST} \cdot (d - x) = 0 \Rightarrow \frac{12 \cdot x^2}{2} - 15 \times 3,39 \times (0,9 \times 25 - x) = 0$$

$$\Rightarrow \sqrt{\Delta} = 173,33$$

$$\Rightarrow x = 10,2 \text{ cm}$$

- Inertie :

$$I = \frac{b_0 \cdot x^3}{3} + n \cdot A_{ST} \cdot (d - x)^2 = \frac{12 \times 10,2^3}{3} + 15 \times 3,39 \times (0,9 \times 25 - 10,2)^2 = 1,4 \cdot 10^{-4} m^4$$

- Calcul des contraintes :

✚ Béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_S \cdot x}{I} = \frac{15,96 \times 10^{-3} \times 0,0435}{1,38 \times 10^{-4}} = 5,03 \text{ MPa}$$

✚ Acier :

$$\sigma_{ST} = \frac{n \cdot M_S \cdot (d - x)}{I} = \frac{15 \times 15,96 \times 10^{-3} \times (0,9 \times 0,25 - 0,0435)}{1,38 \times 10^{-4}} = 314,86 \text{ MPa}$$

- Calcul des contraintes admissibles :

✚ Béton :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 \cdot f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

✚ Acier :

$$\overline{\sigma}_{ST} = \text{pas de limite (fissuration non prejuduciable)}$$

- Vérification des contraintes :

✚ Béton :

$$\sigma_{bc} = 2,86 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{bc} = 15 \text{ MPa} \quad \text{C.V}$$

$$\sigma_{ST} = 314,86 \text{ MPa} < \overline{\sigma}_{ST} (\text{pas de limite}) \text{C.V}$$

- Vérification de cisaillement :

$$\tau_\mu = \frac{T_u}{b \cdot d} = \frac{16,09 \times 10^{-3}}{0,65 \times 0,9 \times 0,25} = 0,11 \text{ MPa}$$

$$\overline{\tau} = \min\left(\frac{0,2f_{cj}}{\gamma_b}; 5 \text{ MPa}\right) \rightarrow \text{fissuration peu prejuduciable}$$

$$\overline{\tau} = \min(3,3 \text{ MPa}; 5 \text{ MPa}) = 3,3 \text{ MPa}$$

$$\tau_u < \overline{\tau} \quad \text{C.V}$$

- Calcul des armatures transversales :

$$\emptyset \leq \min\left(\frac{h}{35}; \emptyset \text{ min}; \frac{b}{10}\right)$$

$$\Rightarrow \emptyset \leq \min\left(\frac{25}{35}; 1,2; \frac{12}{10}\right)$$

$$\Rightarrow \emptyset \leq 0,71 \text{ cm}$$

Donc : on choisit  $\emptyset = 6 \text{ cm}$

- Calcul d'espacement des cadres : D'après **RPA99 V 2003**

✚ Zone nodale :

$$St \leq \min\left(\frac{h}{4}; 12. \varnothing_{min}; 30cm\right)$$

$$\Rightarrow St \leq 6,25 \text{ cm} \Rightarrow \mathbf{St = 6 \text{ cm}}$$

✚ Zone courante :

$$St \leq \frac{h}{2}$$

$$\Rightarrow St \leq 12,5 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow St = 12 \text{ cm}$$

- Vérification au glissement : (en appuie)

$$T_u - \frac{M_u}{0,9.d} \leq 0$$

$$\Rightarrow 16,09 - \frac{22,3}{0,9 \times 0,9 \times 0,25} = -94,03$$

$$\Rightarrow -94,03 < 0 \quad C.V$$

- Condition de la flèche :

D'après **B.A.E.L.91** :  $f \leq f_{adm}$

Tel que  $f_{adm} = \frac{L_{max}}{500}$  avec  $L_{max}=500\text{cm}$

$$\Rightarrow f_{adm} = 1\text{cm}$$

$$f_i = \frac{M_s \cdot L^2}{10 \cdot E_i \cdot I_{fi}}$$

$$E_i = 11000 \sqrt[3]{f_{c.28}} = 32164,19 \text{ MPa}$$

$$I_0 = \frac{b \cdot h^3}{12} + A_{st} \cdot \left(\frac{h}{2} - d'\right)^2 = 8,48 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$\lambda_i = \frac{0,05 \cdot f_{t.28}}{\rho \cdot \left(2 + \frac{3 \cdot b_0}{b}\right)}$$

$$\text{Avec : } \rho = \frac{A_{ST}}{b_0 \cdot d} = \frac{2,26 \cdot 10^{-4}}{0,12 \times 0,9 \times 0,25} = 0,0083$$

$$\lambda_i = \frac{0,05 \times 2,1}{0,0083 \times \left(2 + \frac{3 \times 0,12}{0,65}\right)} = 4,95$$

$$\mu = 1 - \frac{1,75 \cdot f_{t.28}}{4 \cdot \rho \cdot \sigma_{ST} + f_{t.28}} = 0,65$$

$$I_{fi} = \frac{1,1 \cdot I_0}{1 + \lambda \cdot \mu} = 2,21 \cdot 10^{-4} m^4$$

$$f_i = \frac{9,1 \times 10^{-3} \times 5^2}{10 \times 32164,2 \times 2,21 \times 10^{-4}} = 0,0032 m$$

$$f_i = 0,0032 < f_{adm} = 0,01 m \quad C.V$$

Tableau V.4: Récapitulation du ferrailage des poutrelles

	type	Travée			Appuie			Armatures transversales (mm)	Espacement (cm)
		Ast calcule (cm <sup>2</sup> )	choix	Ast choisis (cm <sup>2</sup> )	Ast calcule (cm <sup>2</sup> )	choix	Ast choisis (cm <sup>2</sup> )		
1 <sup>er</sup> étage	01	1,66	<b>2T12</b>	2,26	2,92	<b>3T12</b>	3,39	Φ6	12⇒zone courante 6⇒ zone nodale
	02	2,27	<b>3T12</b>	3,39	2,77	<b>3T12</b>	3,39		
	03	1,81	<b>2T12</b>	2,26	2,5	<b>3T12</b>	3,39		
	04	7,24	<b>5T14</b>	7,7	/	/	/		
	05	1,82	<b>2T12</b>	2,26	2,47	<b>3T12</b>	3,39		
Terrasse	06	1,72	<b>2T12</b>	2,26	2,14	<b>3T12</b>	3,39	Φ6	12⇒zone courante 6⇒ zone nodale
	07	1,68	<b>2T12</b>	2,26	2,26	<b>3T12</b>	3,39		
	08	1,69	<b>2T12</b>	2,26	2,28	<b>3T12</b>	3,39		
	09	3,56	<b>3T14</b>	4,62	4,04	<b>4T14</b>	6,16		

➤ L'ancrage des armatures :

$$L_S = \frac{\phi \cdot f_e}{4 \cdot \tau_S}$$

$$\tau_S = 0,6 \cdot \Psi_S^2 \cdot f_{t.28} \quad \text{avec } \Psi=1,5 \text{ (acier H.A)}$$

$$L_1 = 10 \cdot \phi \quad \text{pour } (\theta = 90^\circ) ; L_2 = L_S - \alpha \cdot L_1 - \beta \cdot r ; r = 5,5 \cdot \phi$$

$$L = L_2 + r + \frac{\phi}{2}$$

Un crochet de 90° :  $\alpha = 1,87$  ;  $\beta = 2,19$

Tableau V.5: L'ancrage des armatures des poutrelles

Φ (mm)	τ <sub>S</sub> (MPa)	L <sub>S</sub> (cm)	L <sub>1</sub> (cm)	r (cm)	L <sub>2</sub> (cm)	L (cm)
12	2,835	42,33	12	6,6	5,43	15
14	2,835	49,38	14	7,7	6,34	15

### V.3 Etude des escaliers :

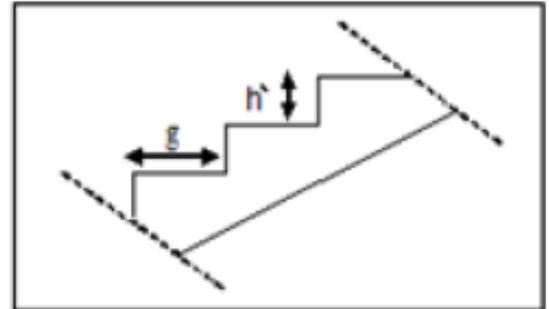
L'escalier est une succession de gradins, il sert à relier deux niveaux différents d'une construction, permettant le passage à pied d'un niveau à un autre en montant et descendant. Notre structure présente des hauteurs d'étage différentes, et pour cela on distingue deux types d'escalier, chacune est constitués de trois volées séparées par un palier de repos.

Figure IV.3 : Schéma d'un escalier

#### V.3.1 Schéma d'un escalier :

Un escalier se compose :

- ✓ La marche : c'est la partie sur laquelle on pose le pied pour monter ou descendre.
- ✓ La contre marche : c'est la partie verticale d'une marche
- ✓ Emmarchement : c'est la longueur d'une marche.
- ✓ Le giron : c'est la largeur d'une marche.
- ✓ La paillasse : c'est la dalle qui monte sous les marches



Palier situé entre deux volées et limitant le nombre de marches

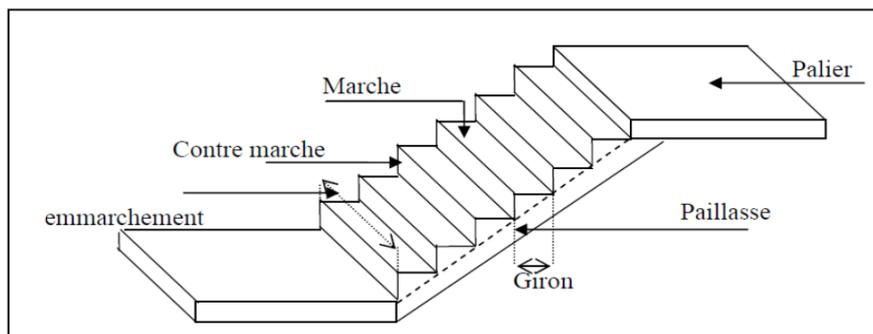


Figure V.3: coupe transversal des escaliers

#### V.3.2 Calcul des escaliers :

Pour les dimensions des marches "g" et contre marches "h'", on utilise la formule de **BLONDEL** :

$$59 \text{ cm} \leq g + 2h' \leq 66 \text{ cm}$$

Avec :

h' : hauteur de la marche (contre marche : h'= 17 cm)

g : largeur de la marche.

$$\text{Nombres des contres marches : } n = \frac{He}{h'}$$

$$\text{Nombres des marches : } n' = n - 1$$

$$\text{La longueur de la ligne de foulée : } L = g \times (n - 1)$$

#### VI.3.3 Escalier de type 01 (entre R.D.C et 1<sup>er</sup> étage) :

$$n = \frac{He}{h'} = \frac{170}{17} = 10$$

$$n' = n - 1 = 10 - 1 = 9$$

$$\tan \alpha = \frac{Z}{L}$$

Tableau V.6: Escalier

Volée	L (m)	Z (m)	$\alpha$	n	n'
Volée A	2,7	1,7	32,19	10	9
Volée B	2,7	1,7	32,19	10	9

- ❖ Epaisseur de pallier (ep) :

$$\frac{L}{20} \leq ep \leq \frac{L}{15} \quad L (\text{pallier}) = 1,5 \text{ m}$$

$$\frac{150}{20} \leq ep \leq \frac{150}{15}$$

7,5 ≤ ep ≤ 10 ⇒ On prend ep = 20 cm (pour les vérifications)

- ❖ Epaisseur de la paillasse :

$$\frac{L}{30} \leq ev \leq \frac{L}{20} \quad \text{Avec } L = 2,7 \text{ m}$$

$$\frac{270}{30 \times \cos 32,19} \leq ev \leq \frac{270}{20 \times \cos 32,19}$$

10,63 ≤ ev ≤ 15,59 ⇒ On prend ev = 20 cm (pour les vérifications)

### V.3.3.1 Evaluation des charges et surcharges :

- ❖ Paillasse :

Tableau V.7: charge et surcharge de paillasse

Désignation	Epaisseur (m)	P (Kn/m <sup>3</sup> )	G (Kn/m <sup>2</sup> )
Carrelage horizontal	0,02	22	0,44
Mortier de ciment horizontal	0,02	20	0,4
Lit de sable	0,02	17	0,34
Carrelage vertical	0,02	22	0,44
Mortier de ciment vertical	0,02	20	0,4
Poids propre de paillasse	0,2	25	5
Poids propre de marche	/	22	1,87
Garde-corps	/	/	0,1
Enduit plâtre	0,02	20	0,4
G (Kn/m <sup>2</sup> )		9,69	
Q (KN/m <sup>2</sup> )		4	

## ❖ Pallier :

Tableau V.8: charge et surcharge de pallier

désignation	Epaisseur (m)	P (Kn/m <sup>3</sup> )	G (Kn/m <sup>2</sup> )
Poids propre du pallier	0,2	25	5
Carrelage	0,02	22	0,44
Mortier de pose	0,02	20	0,4
Lit de sable	0,02	17	0,34
Enduit plâtre	0,02	20	0,4
G (Kn/m <sup>2</sup> )		6,58	
Q (Kn/m <sup>2</sup> )		4	

Tableau V.9: charge et surcharge de pallier et paillasse

Escalier	$\alpha$	G (Kn/m <sup>2</sup> )	Q (Kn/m <sup>2</sup> )
Paillasse	32,19	$\frac{G}{\cos\alpha} = 11,45$	4
Pallier	32,19	6,58	4

**V.3.3.2 Calcul des sollicitations :**

Le calcul du moment fléchissant et l'effort interne se fait par la modélisation en **SAP2000**

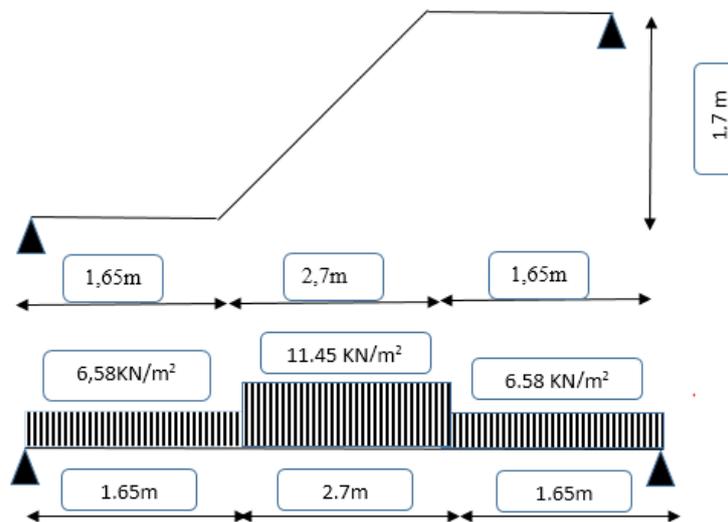


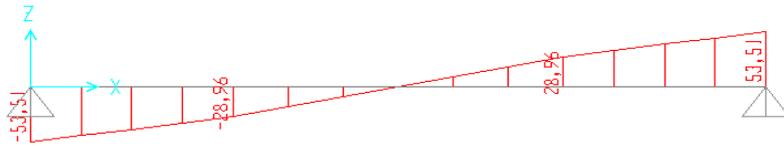
Figure V.4: schéma statique des escaliers

## ❖ ELU :

- ✓ Diagramme de moment fléchissant :

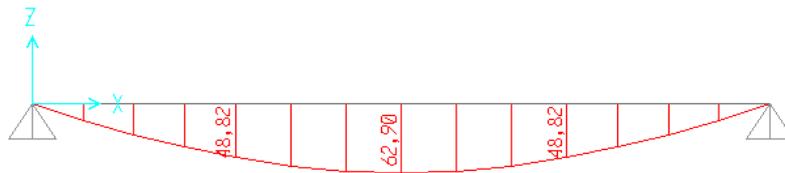


✓ Diagramme des efforts tranchants :



❖ ELS :

✓ Diagramme de moment fléchissant :



✓ Diagramme des efforts tranchants :

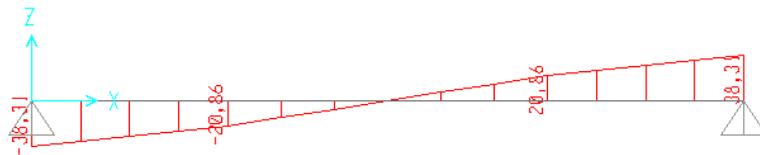


Tableau V.10 : sollicitations des escaliers

Escalier	ELU		ELS	
	M <sub>max</sub> (Kn.ml)	T <sub>max</sub> (Kn)	M <sub>max</sub> (Kn.ml)	T <sub>max</sub> (Kn)
Type 01	87,59	53,51	62,90	38,31

**V.3.3.3 Calcul de ferrailage :**

Le calcul se fait manuellement et selon les conditions d'appuis :

0,85M<sub>0</sub> ⇒ En travée

0,5M<sub>0</sub> ⇒ En appuie

A. ELU :

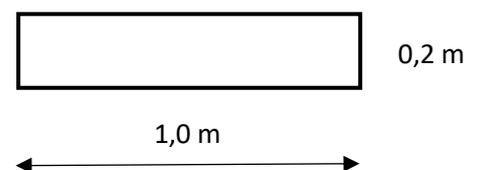
❖ En travée :

M<sub>0</sub>= 87,59 Kn.ml

0,85M<sub>0</sub>= 74,45 Mn.ml

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{74,45 \times 10^{-3}}{1 \times (0,9 \times 0,2)^2 \times 14,17}$$

μ<sub>u</sub>=0,16 < μ<sub>R</sub>=0,392 ⇒ section simple armature



Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0,21$$

$$Z = d(1 - 0,4\alpha) = 0,165$$

$$A_{st} = \frac{M_\mu}{Z \cdot \sigma_{ST}} = \frac{74,45 \times 10^{-3}}{0,165 \times 347,826} = 12,97 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$\text{Avec : } \sigma_{ST} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 347,826$$

En prend : **8T16=16,08cm<sup>2</sup>**

❖ Armature de répartition :

$$A_r = \frac{A_{ST}}{4} = \frac{16,08}{4} = 4,02 \text{ cm}^2$$

En prend : **3T16=6,03cm<sup>2</sup>**

❖ Condition de non fragilité :

$$A_{min} \geq \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 100 \times 0,18 \times 2,1}{400} = 2,17 \text{ cm}^2 \quad \text{C.V}$$

❖ Espacement :

$$\text{On a } 8T16 \Rightarrow st = \frac{100 - ((2 \times 3) + (8 \times 1,6))}{8} = 10 \text{ cm}$$

$$st \leq \min(3 \cdot h; 33 \text{ cm}) \Rightarrow \min(3 \times 20; 33) \Rightarrow 33 \text{ cm}$$

$$10 \text{ cm} < 33 \text{ cm} \quad \text{C.V}$$

Pour Ar en prend st = 30cm

❖ En appuie :

$$M_0 = 87,59 \text{ Kn.ml}$$

$$0,5M_0 = 43,79 \text{ Kn.ml}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{43,79 \times 10^{-3}}{1 \times (0,9 \times 0,2)^2 \times 14,17}$$

$$\mu_u = 0,095 < \mu_R = 0,392 \Rightarrow \text{section simple armature}$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0,125$$

$$Z = d(1 - 0,4\alpha) = 0,171$$

$$A_{sa} = \frac{M_\mu}{Z \cdot \sigma_{ST}} = \frac{43,79 \times 10^{-3}}{0,171 \times 347,826} = 7,36 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

En prend : **4T16=8,04 cm<sup>2</sup>**

❖ Armature de répartition :

$$A_r = \frac{A_{sa}}{4} = \frac{8,04}{4} = 2,01 \text{ cm}^2$$

En prend : **3T16=6,03 cm<sup>2</sup>**

❖ Espacement :

$$\text{On a } 4T16 \Rightarrow st = \frac{100 - ((2 \times 3) + (4 \times 1,6))}{8} = 22 \text{ cm}$$

$$st \leq \min(3 \cdot h; 33 \text{ cm}) \Rightarrow \min(3 \times 20; 33) \Rightarrow 33 \text{ cm}$$

$$22 \text{ cm} < 33 \text{ cm} \quad \text{C.V}$$

Pour Ar en prend St= 30 cm

### B. Vérification a ELS

❖ En travée :

❖ Position de l'axe neutre :

$$\frac{bx^2}{2} - n \cdot A_{ST} \cdot (d - x) = 0 \Rightarrow 100 \cdot \frac{x^2}{2} - 15 \times 8,04 \times (18 - x) = 0$$

$$\Rightarrow \sqrt{\Delta} = 669,85$$

$$\Rightarrow x = 5,49 \text{ cm}$$

❖ Moment d'inertie :

$$I = \frac{b \cdot x^3}{3} + n \cdot A_{ST} \cdot (d - x)^2$$

$$I = 4,05 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

❖ Calcul des contraintes :

• Béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{Ms \cdot x}{I} = \frac{53,46 \times 10^{-3} \times 0,0721}{4,05 \times 10^{-4}} = 9,51 \text{ MPa}$$

• Acier :

$$\sigma_{ST} = \frac{n \cdot Ms \cdot (d - x)}{I} = \frac{15 \times 53,46 \cdot 10^{-3} \times (0,18 - 0,0721)}{4,05 \times 10^{-4}} = 198,64 \text{ MPa}$$

❖ Calcul des contraintes admissibles :

• Béton :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

• Acier :

$$\overline{\delta}_{ST} = \min\left(\frac{2}{3} f_e; 110 \sqrt{j \cdot f_{t28}}\right) = 201,63$$

❖ Vérification :

$$\delta_{bc} = 9,51 \text{ MPa} < \overline{\delta}_{bc} = 15 \text{ MPa} \quad \text{C.V}$$

$$\delta_{ST} = 198,64 \text{ MPa} < \overline{\delta}_{ST} = 201,63 \text{ MPa} \quad \text{C.V}$$

❖ Vérification au cisaillement :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b \cdot d} \leq \overline{\tau}_u$$

$$\tau_u = \min\left(\frac{0,15 \cdot f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa}\right) = 2,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{Fissuration préjudiciable}$$

$$\tau_u = \frac{53,51 \times 10^{-3}}{1 \times 0,18} = 0,29 \text{ MPa} < \tau_u = 2,5 \text{ MPa} \quad C.V$$

❖ Vérification de la flèche :

$$\frac{h}{l} > \frac{1}{16} \Rightarrow \frac{3,4}{6} = 0,56 > 0,625 \quad C.V$$

Avec : h : hauteur de la cage d'escalier

L : distance entre appuie

$$\frac{A_{ST}}{b \cdot d} \leq \frac{4,2}{fe} \Rightarrow \frac{16,08^{-4}}{1 \times 0,18} = 0,008 \leq \frac{4,2}{400} = 0,0105 \quad C.V$$

$$\frac{h}{l} \geq \frac{M_t}{10 \cdot M_x} \Rightarrow \frac{3,4}{6} = 0,56 > \frac{62,9}{10 \times 53,46} = 0,11 \quad C.V$$

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

❖ En appuie :

❖ Position de l'axe neutre :

$$\frac{bx^2}{2} - n \cdot A_{ST} \cdot (d - x) = 0 \Rightarrow 100 \cdot \frac{x^2}{2} - 15 \times 16,08 \times (18 - x) = 0$$

$$\Rightarrow \sqrt{\Delta} = 962,5$$

$$\Rightarrow x = 7,21 \text{ cm}$$

❖ Moment d'inertie :

$$I = \frac{b \cdot x^3}{3} + n \cdot A_{ST} \cdot (d - x)^2$$

$$I = 4,05 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

❖ Calcul des contraintes :

• Béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{Ms \cdot x}{I} = \frac{53,46 \times 10^{-3} \times 0,0721}{4,05 \times 10^{-4}} = 9,51 \text{ MPa}$$

• Acier :

$$\sigma_{ST} = \frac{n \cdot Ms \cdot (d - x)}{I} = \frac{15 \times 53,46 \cdot 10^{-3} \times (0,18 - 0,0721)}{4,05 \times 10^{-4}} = 198,64 \text{ MPa}$$

❖ Calcul des contraintes admissible :

• Béton :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

• Acier :

$$\overline{\delta}_{ST} = \min\left(\frac{2}{3} fe; 110 \sqrt{j \cdot f_{t28}}\right) = 201,63$$

❖ Vérification :

$$\delta_{bc} = 9,51 \text{ MPa} < \overline{\delta}_{bc} = 15 \text{ MPa} \quad C.V$$

$$\overline{\delta}_{ST} = 198,64 \text{ MPa} < \delta_{ST} = 201,63 \text{ MPa} \quad C.V$$

Tableau V.11: Récapitulation du ferrailage des escaliers

	$A_{ST}$ ( $cm^2/ml$ )	$A_{ST}$ choisis ( $cm^2/ml$ )	$St$ ( $cm$ )	$Ar$ ( $cm^2/ml$ )	$Ar$ choisis ( $cm^2/ml$ )	$St$ ( $cm$ )
Travée	12,97	8T16=16,08	10	4,02	3T16=6,03	30
Appuie	7,36	4T16	22	2,01	3T16=6,03	30

### V.3.4 Etude de la poutre palière :

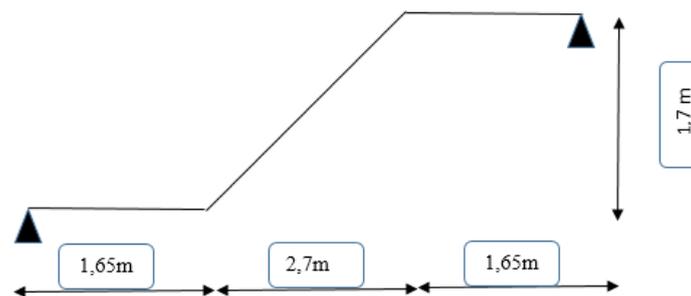


Figure V.5 : schéma statique de la poutre palière

#### ❖ Pré-dimensionnement :

Selon le **B.A.E.L 91**, la poutre sera pré-dimensionnée par le critère de rigidité :

$$L=5m$$

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10} \Rightarrow 33,33 \leq h \leq 50 \text{ On prend } h = 40 \text{ cm}$$

$$0,3h \leq b \leq 0,7h \Rightarrow 12 \leq b \leq 28 \text{ On prend } b = 30 \text{ cm}$$

Selon **RPA99 V 2003** les dimensions des poutres doivent satisfaire les conditions suivant :

$$\left\{ \begin{array}{ll} b=30\text{cm} > 20\text{cm} & \text{C.V} \\ h=40\text{cm} > 30\text{cm} & \text{C.V} \\ \frac{h}{b} = 1,33 < 4 & \text{C.V} \end{array} \right.$$

#### ❖ Charge supporte par la poutre palière :

- Poids propre de la poutre palière :  
 $Pp = 0,4 \times 0,3 \times 25 = 3 \text{ Kn/m}$
- Poids du mur situe sur la poutre palière :  
 $Pm = 2,8 \times 1,2 = 3,36 \text{ Kn/m}$
- Réaction du pallier sur la poutre :  
 $R_b = \frac{2.T}{L} = 21,4 \text{ Kn/m}$

$$ELU=1,35.G+R_b+1.5.Q= 35,98 \text{ Kn/m}$$

$$ELS=G+R_b+Q= 31,78 \text{ KN/m}$$

Les calculs sont obtenus à l'aide de logiciel **SAP2000**

Tableau V.12: Les sollicitations de la poutre palière

	$M_{\max}$ (KN/m)	$T_{\max}$ (Kn)
ELU	112,44	89,95
ELS	99,31	79,45

❖ Calcul de ferrailage a ELU :

Le calcul se fait manuellement et selon les conditions d'appuis :

$$0,85M_0 \Rightarrow \text{En travée}$$

$$0,5M_0 \Rightarrow \text{En appuie}$$

❖ En travée :

$$M_0 = 112,44 \text{ Kn.ml}$$

$$0,85M_0 = 95,57 \text{ Mn.ml}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{95,57 \times 10^{-3}}{1 \times (0,9 \times 04)^2 \times 14,17}$$

$$\mu_u = 0,052 < \mu_R = 0,392 \Rightarrow \text{section simple armature}$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0,066$$

$$Z = d(1 - 0,4\alpha) = 0,35$$

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z \cdot \sigma_{ST}} = \frac{95,57 \times 10^{-3}}{0,35 \times 347,826} = 7,85 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$\text{Avec : } \sigma_{ST} = \frac{f_e}{\gamma_s} = \frac{400}{1,15} = 347,826$$

$$\text{En prend : } \underline{\underline{3T14+3T12=8,01\text{cm}^2}}$$

❖ Armature de répartition :

$$A_r = \frac{A_{ST}}{4} = \frac{8,01}{4} = 2,01\text{cm}^2$$

$$\text{En prend : } \underline{\underline{3T12=3,39\text{cm}^2}}$$

❖ Condition de non fragilité :

$$A_{min} \geq \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 100 \times 0,36 \times 2,1}{400} = 4,34 \text{ cm}^2 \quad \text{C.V}$$

❖ Espacement :

$$s_t = \frac{100 - ((2 \times 3) + (3 \times 1,4) + (3 \times 1,2))}{5} = 25\text{cm}$$

$$s_t \leq \min(3 \cdot h; 33 \text{ cm}) \Rightarrow \min(3 \times 20 ; 33) \Rightarrow 33 \text{ cm}$$

$$25\text{cm} < 33 \text{ cm} \quad \text{C.V}$$

Pour Ar en prend  $st = 30\text{cm}$

❖ En appuie :

$$M_0 = 112,44 \text{ Kn.ml}$$

$$0,5M_0 = 56,22 \text{ Kn.ml}$$

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{56,22 \times 10^{-3}}{1 \times (0,9 \times 0,4)^2 \times 14,17}$$

$$\mu_u = 0,03 < \mu_R = 0,392 \Rightarrow \text{section simple armature}$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0,03$$

$$Z = d(1 - 0,4\alpha) = 0,35$$

$$A_{sa} = \frac{M_\mu}{Z \cdot \sigma_{ST}} = \frac{56,22 \times 10^{-3}}{0,35 \times 347,826} = 4,61 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

En prend : **3T14=4,62 cm<sup>2</sup>**

❖ Armature de répartition :

$$A_r = \frac{A_{sa}}{4} = \frac{4,62}{4} = 1,15 \text{ cm}^2$$

En prend : **3T12=3,39 cm<sup>2</sup>**

❖ Espacement :

$$\text{On a } 3T14 \Rightarrow st = \frac{100 - ((2 \times 3) + (3 \times 1,4))}{3} = 30 \text{ cm}$$

$$st \leq \min(3 \cdot h; 33 \text{ cm}) \Rightarrow \min(3 \times 20; 33) \Rightarrow 33 \text{ cm}$$

$$30\text{cm} < 33 \text{ cm} \quad \text{C.V}$$

Pour Ar en prend  $St = 30 \text{ cm}$

❖ Vérification a ELS :

❖ En travée :

❖ Position de l'axe neutre :

$$\frac{bx^2}{2} - n \cdot A_{ST} \cdot (d - x) = 0 \Rightarrow 30 \cdot \frac{x^2}{2} - 15 \times 10,05 \times (36 - x) = 0$$

$$\Rightarrow \sqrt{\Delta} = 590,2$$

$$\Rightarrow x = 24,69 \text{ cm}$$

❖ Moment d'inertie :

$$I = \frac{b \cdot x^3}{3} + n \cdot A_{ST} \cdot (d - x)^2$$

$$I = 1,69 \times 10^{-3} \text{ m}^4$$

❖ Calcul des contraintes :

- Béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_s \cdot x}{I} = \frac{84,41 \times 10^{-3} \times 0,2469}{1,69 \times 10^{-3}} = 12,33 \text{ MPa}$$

- Acier :

$$\sigma_{ST} = \frac{n \cdot M_s \cdot (d - x)}{I} = \frac{15 \times 84,41 \cdot 10^{-3} \times (0,36 - 0,2469)}{1,69 \times 10^{-3}} = 84,73 \text{ MPa}$$

❖ Calcul des contraintes admissible :

- Béton :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 \text{ MPa}$$

- Acier :

$$\delta_{ST} = \text{pas de limite (fissuration peu prejudiciable)}$$

❖ Vérification :

$$\delta_{bc} = 12,35 \text{ MPa} < \overline{\delta}_{bc} = 15 \text{ MPa} \quad C.V$$

$$\delta_{ST} = 84,73 \text{ MPa} < \delta_{ST} = \text{Pas de limite} \quad C.V$$

❖ Vérification au cisaillement :

$$\tau_u = \frac{T_u}{b \cdot d} \leq \overline{\tau}_u$$

$$\tau_u = \min\left(\frac{0,15 \cdot f_{c28}}{\gamma_b}; 4 \text{ MPa}\right) = 2,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{Fissuration peu préjudiciable}$$

$$\tau_u = \frac{89,95 \times 10^{-3}}{1 \times 0,36} = 0,24 \text{ MPa} < \tau_u = 2,5 \text{ MPa} \quad C.V$$

❖ Vérification de la flèche :

$$\frac{h}{l} > \frac{1}{16} \Rightarrow \frac{3,4}{6} = 0,56 > 0,0625 \quad C.V$$

Avec : h : hauteur de la cage d'escalier

L : distance entre appuie

$$\frac{A_{ST}}{b \cdot d} \leq \frac{4,2}{f_e} \Rightarrow \frac{10,05 \times 10^{-4}}{0,3 \times 0,36} = 0,009 \leq \frac{4,2}{400} = 0,0105 \quad C.V$$

$$\frac{h}{l} \geq \frac{M_t}{10 \cdot M_x} \Rightarrow \frac{3,4}{6} = 0,56 > \frac{112,44}{10 \times 95,57} = 0,11 \quad C.V$$

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

❖ En appuie :

❖ Position de l'axe neutre :

$$\frac{bx^2}{2} - n \cdot A_{ST} \cdot (d - x) = 0 \Rightarrow 30 \cdot \frac{x^2}{2} - 15 \times 6,03 \times (36 - x) = 0$$

$$\Rightarrow \sqrt{\Delta} = 451,16$$

$$\Rightarrow x = 18,05 \text{ cm}$$

- ❖ Moment d'inertie :

$$I = \frac{b \cdot x^3}{3} + n \cdot A_{ST} \cdot (d - x)^2$$

$$I = 8,79 \times 10^{-4} m^4$$

- ❖ Calcul des contraintes :

- Béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{M_s \cdot x}{I} = \frac{49,65 \times 10^{-3} \times 0,1805}{8,79 \times 10^{-4}} = 10,19 MPa$$

- Acier :

$$\sigma_{ST} = \frac{n \cdot M_s \cdot (d - x)}{I} = \frac{15 \times 49,65 \cdot 10^{-3} \times (0,36 - 0,1805)}{8,79 \times 10^{-4}} = 152,08 MPa$$

- ❖ Calcul des contraintes admissibles :

- Béton :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6 f_{c28} = 15 MPa$$

- Acier :

$$\delta_{ST} = \text{pas de limite (fissuration peu préjudiciable)}$$

- ❖ Vérification :

$$\delta_{bc} = 9,51 MPa < \overline{\delta}_{bc} = 15 MPa \quad C.V$$

$$\delta_{ST} = 152,08 MPa < \text{pas de limite} \quad C.V$$

- ❖ Calcul des armatures transversales :

$$\emptyset \leq \min\left(\frac{h}{35}; \emptyset_{min}; \frac{b}{10}\right) \Rightarrow \min\left(\frac{40}{35}; 1,6; \frac{30}{10}\right) \Rightarrow \emptyset = 1,14 cm$$

Donc on choisit :  $\emptyset=6mm$

- ❖ Calcul d'espacement des cadres :

D'après **RPA99V2003** :

- Zone nodale :

$$S_t \leq \min\left(\frac{h}{4}; 12\emptyset_{min}; 30cm\right) \Rightarrow S_t = 10 cm$$

- Zone courante :

$$S_t \leq \frac{h}{2} \Rightarrow S_t = 20 cm$$

Donc  $S_t=12cm$

Tableau V.13: Récapitulation du ferrailage de la poutre palière

	$A_{st}$ (cm <sup>2</sup> /ml)	$A_{st}$ choisis (cm <sup>2</sup> /ml)	$A_r$ (cm <sup>2</sup> /ml)	$A_r$ choisis (cm <sup>2</sup> /ml)	$S_t/A_{st}$ (cm)	$S_t/A_r$ (cm)	$S_t$ cadre (cm)
Travée	7,85	3T14 + 3T12=80,1	2,01	3T12=3,39	17	30	Zone nodal = 10
Appuie	4,61	3T14=6,03	1,15	3T12=3,39	30	30	Zone courant = 12

### V.4 Etude de l'acrotère :

L'acrotère est un élément de sécurité qui se situe au niveau de la terrasse, il forme en quelque sorte un petit garde-corps. Il est considéré comme une console encastrée au niveau du plancher terrasse inaccessible.

IL a pour rôle de :

- Empêche l'écoulement de l'eau.
- A un aspect esthétique.
- Protection des personnes

#### V.4.1 Principe de calcul :

Le calcul se fera en flexion composée car elle est sollicitée par son poids propre (G) et une poussée horizontale, dans la section d'encastrement pour une bande de 1m linéaire.

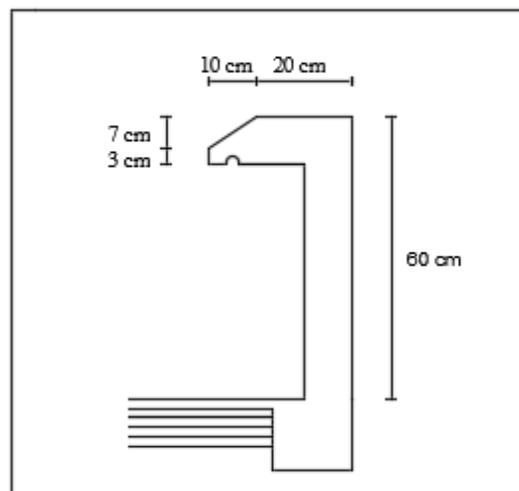


Figure V.6 :schéma de l'acrotère

#### ❖ Calcul des charges :

➤ Charge permanente :

$$G = \rho \times S \quad \text{Avec :} \quad \rho : \text{poids volumique du béton}$$

$S$  : surface de l'acrotère

$$S = (0,6 \times 0,1) + \left( (0,2 \times 0,1) - \frac{0,07 \times 0,1}{2} \right)$$

$$S = 0,0765 \text{ m}^2$$

$$G = 25 \times 0,0765$$

$$G = 1,91 \text{ Kn/ml}$$

➤ Charge d'exploitation :

D'après le **RPA99V2003** :  $Q = F_p = 4 \times A \times C_p \times W_p$

$A = 0,12$  (coefficient d'accélération de la zone)

$C_p = 0,8$  Kn (facteur de la force horizontale)

$W_p = 1,9125$  Kn/ml (poids de l'acrotère)

$$Q = 4 \times 0,12 \times 0,8 \times 1,9125$$

$$Q = 0,73 \text{ Kn/ml}$$

## ❖ Calcul des sollicitations :

Le calcul se fait par rapport l'encastrement. Moments et efforts normaux :

## ➤ ELU :

$$N_U = 1,35 \times G = 2,58 \text{ Kn}$$

$$M_U = 1,5 \times Q \times \frac{l^2}{2} = 0,197 \text{ Kn/ml}$$

## ➤ ELS :

$$N_S = G = 1,91 \text{ KN}$$

$$M_S = Q \times \frac{l^2}{2} = 0,131 \text{ Kn/ml}$$

Tableau V.14 :calcul des sollicitations

	N(Kn)	M (Kn/ml)
ELU	2,58	0,197
ELS	1,91	0,131

## ❖ Calcul d'excentricité :

$$e = \frac{M_U}{N_U} = \frac{0,197}{2,58} \rightarrow e = 7,6 \text{ cm}$$

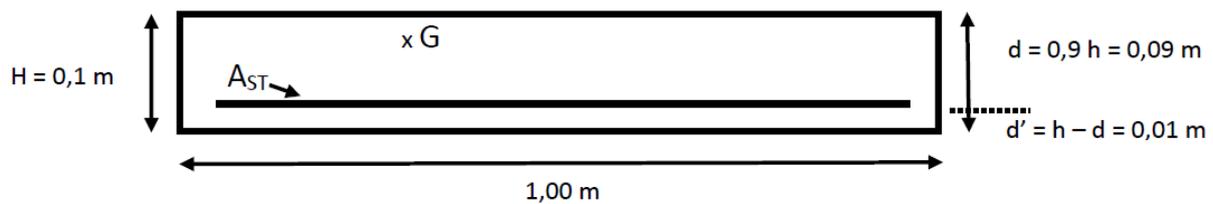
$$\frac{h}{6} = \frac{10}{6} = 1,66 \text{ cm}$$

$e > \frac{h}{6}$  Section partiellement comprimé parce que le centre de pression est appliqué à l'extérieur du noyau central.

## ❖ Calcul de ferrailage :

## ➤ ELU :

$$f_{c28}=25 \text{ MPa} ; f_{t28}=2,1 \text{ MPa} ; f_{bc}=14,17 \text{ MPa} ; \sigma_{st}=347,83 \text{ MPa}$$



## • Moment de flexion fictif :

$$M_A = M_u + N_u \left( d - \frac{h}{2} \right)$$

$$M_A = 0,197 + 2,580 \left( 0,9 \times 0,1 - \frac{0,1}{2} \right)$$

$$M_A = 0,30 \text{ KN/ml}$$

- Moment réduit :

$$\mu_u = \frac{M_A}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = \frac{0.30 \times 10^{-3}}{1 \times (0.9 \times 0.1)^2 \times 14.17}$$

$$\mu_u = 0.0026 < \mu_R = 0.392 \quad (\text{SSA})$$

$$A_{sc} = 0$$

$$A_{st} = \frac{1}{\sigma_{st}} \left( \frac{M_A}{Z} - N_u \right)$$

$$\alpha = 1.25 \left( 1 - \sqrt{1 - 2 \mu_u} \right) = 0.0033$$

$$z = d(1 - 0.4 \alpha) = 0.09$$

$$A_{st} = \frac{1}{347.83} \left( \frac{0.30 \times 10^{-3}}{0.09} - 2.58 \times 10^{-3} \right)$$

$$A_{st} = 0.02 \text{ cm}^2$$

- Condition de non fragilité :

$$A_{st \min} \geq 0.23 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{st \min} \geq 1.09 \text{ cm}^2/\text{ml} \quad \text{Donc on adopte } \mathbf{4T8} \text{ de section } \mathbf{2.01 \text{ cm}^2/\text{ml}}$$

- Vérification a ELS :

$$e = \frac{M_s}{N_s} = \frac{0.13}{1.913} \rightarrow e = 6.8 \text{ cm}$$

$$\frac{h}{6} = 1.66 \text{ cm} < e = 6.8 \text{ cm}$$

$$\text{Donc } x = \frac{h}{2} + e_1 - e$$

$$e_1: \text{ sera défini par l'équation du 3ème degré suivante : } e_1^3 + p e_1 + q = 0$$

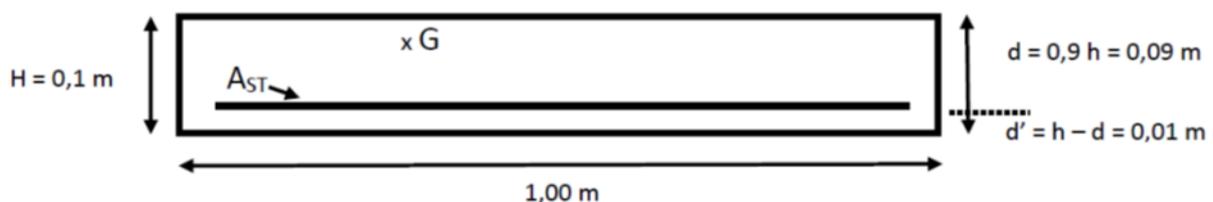
$$p = -3 \left( e - \frac{h}{2} \right)^2 + \frac{6 \cdot n \cdot A_{st}}{b} \times \left( e - \frac{h}{2} + d \right)$$

$$\Rightarrow p = 0.00098 \text{ m}^2$$

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

$$\Rightarrow q = -0.0002 \text{ m}^3$$

- Méthode des interactions successives :



$$\text{On a } e_1 = \sqrt[3]{(-p e_1 - q)}$$

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

$$\begin{array}{l} e_1=0.5\text{m} \longrightarrow -0.066 \\ -0.066 \longleftarrow \longrightarrow 0.064 \\ 0.064 \longleftarrow \longrightarrow 0.051 \\ 0.051 \longleftarrow \longrightarrow 0.053 \\ 0.053 \longleftarrow \longrightarrow 0.053 \end{array}$$

Donc on prend  $e_1 = 0.053 \text{ m} = 5.3 \text{ cm}$

$$x = \frac{10}{2} + 5.3 - 6.8 \Rightarrow x = 3.5 \text{ cm}$$

❖ Calcul des contraintes :

➤ Béton :

$$\sigma_{bc} = \frac{N_s \cdot x}{S}$$

$$\text{Avec : } S = \frac{b x^2}{2} - n \cdot A_{st} \cdot (d - x)$$

$$S = 4.46 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\sigma_{bc} = \frac{1.913 \times 10^{-3} \times 0.035}{4.46 \times 10^{-4}} = 0.15 \text{ MPa}$$

➤ Acier :

$$\sigma_{st} = \frac{n \cdot N_s \cdot (d - x)}{S}$$

$$\sigma_{st} = \frac{15 \times 1.913 \times 10^{-3} \times (0.9 \times 0.1 - 0.035)}{4.46 \times 10^{-4}} = 3.54 \text{ MPa}$$

❖ Calcul des contraintes admissibles :

➤ Béton :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{c28}$$

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0.6 \times 25 = 15 \text{ MPa}$$

➤ Acier :

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

$$\overline{\sigma}_{st} = \min\left(\frac{2}{3} \times 400 ; 110 \sqrt{1.6 \times 2.1}\right) = 201.63 \text{ MPa}$$

**Vérification :**

**Béton :**  $\overline{\sigma}_{bc} = 0.15 \text{ MPa} < \sigma_{bc} = 15 \text{ MPa}$  **CV**

**Acier :**  $\overline{\sigma}_{st} = 3.54, \text{ MPa} < \sigma_{st} = 201.63 \text{ MPa}$  **CV**

❖ Armatures de répartition :

$$A_r = \frac{A_{ST}}{4} = \frac{2,01}{4} = 0,5 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

On choisit 4T6 = 1,13 cm<sup>2</sup>/ml

❖ Espacement :

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

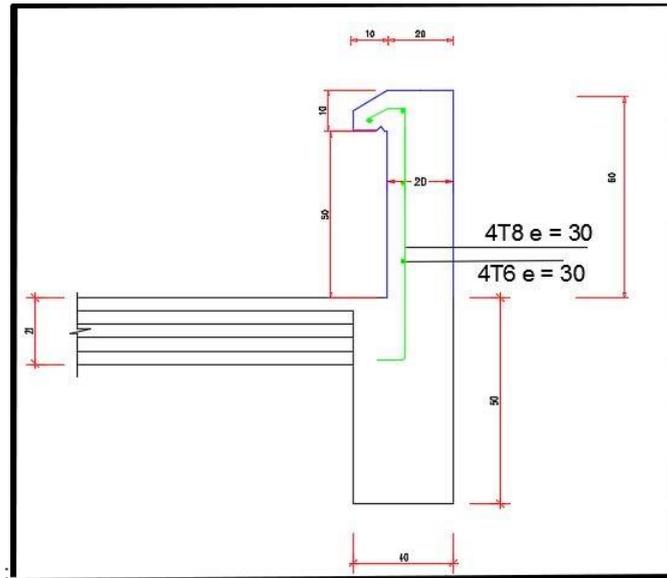


Figure V.7 : ferrailage de l'acrotère

# CHAPITRE VI : ETUDE DYNAMIQUE

## VI.1 : objectif de l'étude dynamique :

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

L'objectif initial de cette étude est la détermination des caractéristiques dynamiques propres de la structure lors de ses vibrations.

### VI.1.1 : Méthode de calcul :

Plusieurs méthodes ont été élaborées pour le calcul des sollicitations sismiques. D'après le **RPA 99 V 2003**, on citera :

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

#### VI. 1.1.1 : Choix de la méthode :

On utilise la méthode d'analyse modale spectrale

➤ Principe de la méthode :

Le principe de cette méthode réside dans la détermination des modes propres de vibrations de la structure et le maximum des effets engendrés par l'action sismique, celle-ci étant représentée par un spectre de réponse de calcul. Ces effets sont par la suite combinés pour obtenir la réponse de la structure. Les modes propres dépendent de la masse de la structure, de l'amortissement et des forces d'inerties.

➤ Domaine d'application :

La méthode dynamique est une méthode générale, et en particulier, dans le cas où la méthode statique équivalente n'est pas permise.

#### VI. 1.1.2 : Combinaison d'action :

Pour le calcul, on utilise les combinaisons d'action aux états limites suivantes : « Ultime, Service, et Accidentel ».

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

#### VI. 1.2 : Modélisation de la structure :

Avec une modélisation adéquate de la structure, on peut aboutir à une meilleure définition des caractéristiques dynamiques propres d'une structure donnée.

Dans cette étude nous allons utiliser le logiciel **SAP2000 version 14.2.2** pour les modélisations et l'analyse de l'ouvrage qui permettent de simplifier suffisamment le problème

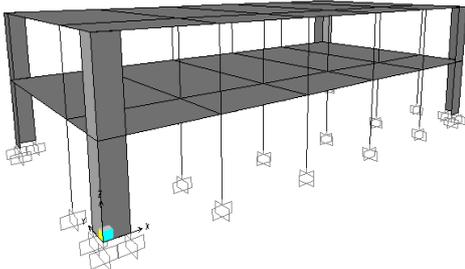
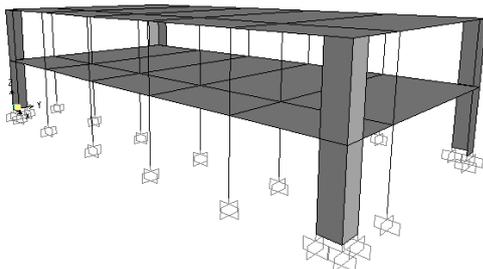


Figure VI.1: modélisation du bloc 2

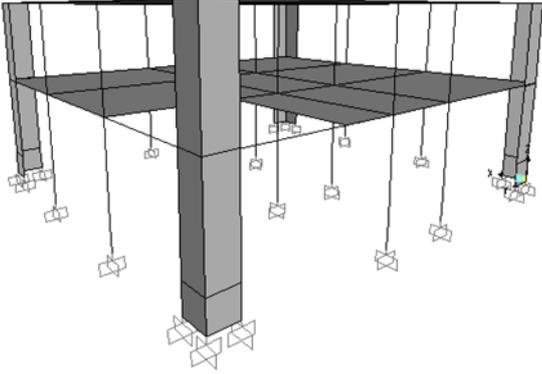
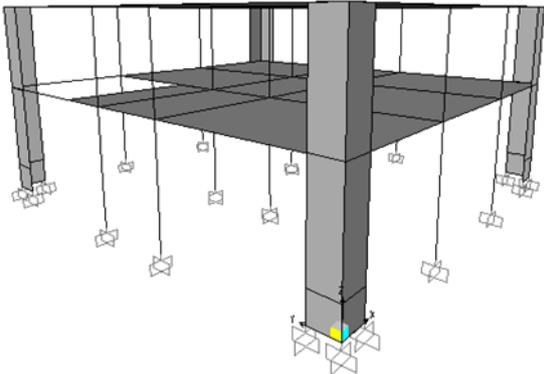


Figure VI.2: modélisation du bloc 3

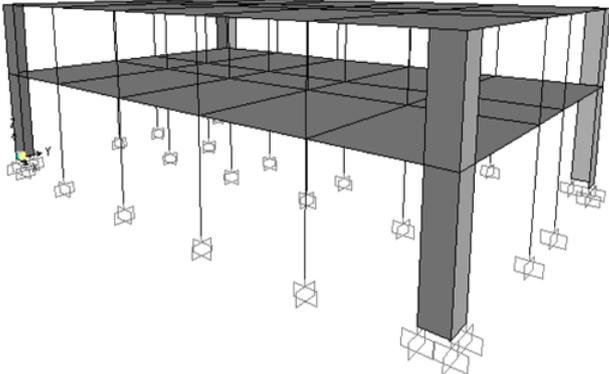
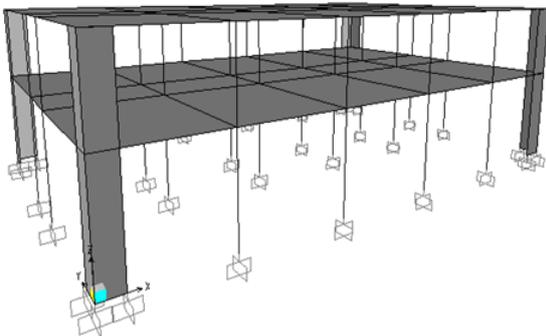


Figure VI.3: modélisation du bloc 4

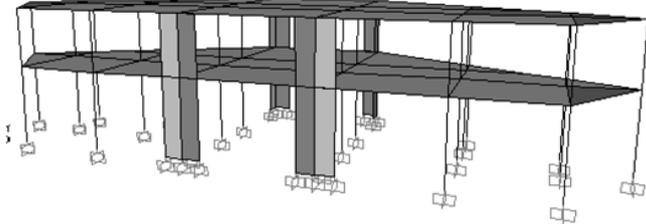
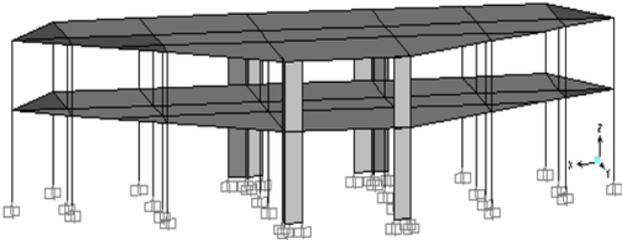


Figure VI.4 : modélisation du bloc 5(hall)

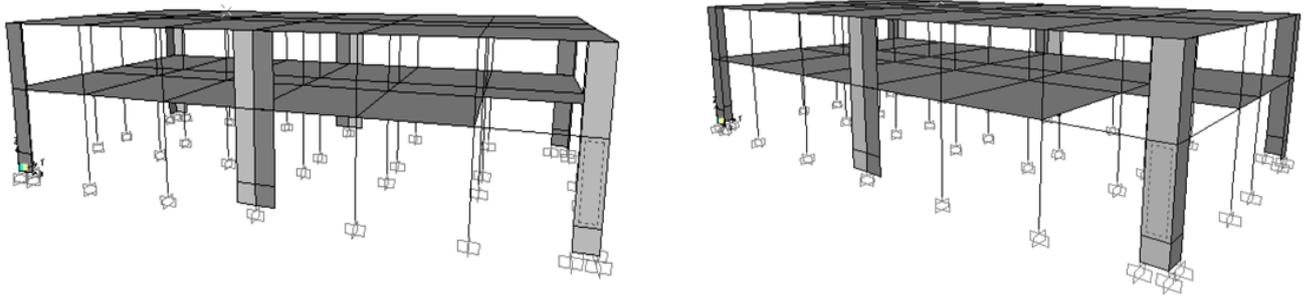


Figure VI5: modélisation du bloc 6

### VI.1.2.1 : période fondamentale de la structure :

❖ Période fondamentale de la structure (T) :

D'après **RPA99 V 2003** :

$$T = \min(T1 = C_T \cdot H_n^{3/4}; T2 = \frac{0,09 \cdot H_n}{\sqrt{D_x}}; T3 = \frac{0,09 \cdot H_n}{\sqrt{D_y}})$$

Avec :

H<sub>n</sub> : hauteur mesurée en mètre à partir de la base de la structure jusqu'au dernier niveau.

D : dimension du bâtiment mesurée à la base dans la direction de calcul considéré.

C<sub>T</sub> : coefficient, fonction du système de contreventement et du type de remplissage. Il est donné par le tableau 4.6 du **RPA99 V 2003**.

C<sub>T</sub> = 0,05 → Portique auto stable en béton armé ou en acier avec remplissage en maçonnerie.

❖ Période T1 et T2 :

Période caractéristique associées à la catégorie de site :

$$\text{Un site rocheux S1} \Rightarrow \begin{cases} T1 = 0,15 \text{ s} \\ T2 = 0,3 \text{ s} \end{cases}$$

Tableau VI.1: les périodes fondamentaux pour les blocs

Les blocs	H <sub>n</sub> (m)	D <sub>x</sub> (m)	D <sub>y</sub> (m)	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	T <sub>x</sub> = min (T1 ; T2)	T <sub>y</sub> = min (T1 ; T3)
Bloc 2	6,8	25	12,8	0,21	0,12	0,17	0,12	0,17
Bloc 3	7,8	15	16	0,23	0,18	0,17	0,18	0,17
Bloc 4	7,8	25	16	0,23	0,14	0,14	0,14	0,14
Bloc 5 (hall)	7,8	35	13	0,23	0,11	0,19	0,11	0,19
Bloc 6	7,8	30	16	0,23	0,12	0,17	0,12	0,17

### VI.2.2 : Détermination du poids de chaque bloc :

Le poids de chaque bloc est déterminé à l'aide du logiciel **SAP2000**

Tableau VI.2: Les poids du bloc

Blocs	Poids (T)		Somme	Hauteur (m)		W.H		ΣW.H
	1 <sup>er</sup> étage	terrasse		1 <sup>er</sup> étage	Terrasse	1 <sup>er</sup> étage	Terrasse	
Bloc 2	325	310,04	635,04	3,4	6,8	1105	2108,27	3213,27
Bloc 3	237,11	242,51	479,62	4,4	7,8	1043,28	1891,57	2934,85
Bloc 4	398,6	386,96	785,56	4,4	7,8	1753,84	3018,28	4772,12
Bloc 5 (hall)	355,46	321,95	677,41	4,4	7,8	1564,02	2511,21	4075,23
Bloc 6	417,72	446,02	863,74	4,4	7,8	1837,96	3478,95	5352,91

### VI.1.2.3 : Pourcentage et participation massique :

➤ Bloc 2 :

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
	MODAL	Mode	1	0,236768	0,81135	0	0	0,81135	0
	MODAL	Mode	2	0,222438	0	0,81532	0,0000006384	0,81135	0,81532
	MODAL	Mode	3	0,16542	0,00094	0	1,105E-20	0,81229	0,81532
	MODAL	Mode	4	0,049769	0,18613	1,747E-20	1,156E-14	0,99843	0,81532
▶	MODAL	Mode	5	0,049353	0	0,17925	0,00039	0,99843	0,99457

Figure VI.6: Pourcentage et participation massique pour bloc 2

Mode 5 :

$$\text{Somme. UX} = 0,99 > 90\%$$

$$\text{Somme. UY} = 0,99 > 90\%$$

➤ Bloc 3 :

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
	MODAL	Mode	1	0,265226	0,8457	0,00003174	0,0000002882	0,8457	0,00003174
	MODAL	Mode	2	0,256877	0,00003171	0,84772	0,0000009643	0,84573	0,84775
	MODAL	Mode	3	0,190763	0,0003	0,00002472	0,000001612	0,84602	0,84777
	MODAL	Mode	4	0,056798	0,00186	0,11106	0,00001375	0,84788	0,95883
▶	MODAL	Mode	5	0,056664	0,11391	0,00186	0,00001658	0,96179	0,96069

Figure VI.7: Pourcentage et participation massique pour bloc 3

Mode 5 :

$$\text{Somme. UX} = 0,96 > 90\%$$

$$\text{Somme. UY} = 0,96 > 90\%$$

## ➤ Bloc 4 :

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
	MODAL	Mode	1	0,282482	0,87193	0	2,567E-19	0,87193	0
	MODAL	Mode	2	0,277155	0	0,87209	1,625E-18	0,87193	0,87209
	MODAL	Mode	3	0,208295	0	0	1,387E-20	0,87193	0,87209
	MODAL	Mode	4	0,059105	1,886E-18	0,12473	1,943E-14	0,87193	0,99682
▶	MODAL	Mode	5	0,059041	0,12707	2,997E-18	3,041E-16	0,99901	0,99682

Figure VI.8: Pourcentage et participation massique pour bloc 4

Mode 5 :

$$\text{Somme. UX} = 0,99 > 90\%$$

$$\text{Somme. UY} = 0,99 > 90\%$$

## ➤ Bloc 5 (hall) :

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
	MODAL	Mode	1	0,249418	0,01942	0,5671	0,0000004934	0,01942	0,5671
	MODAL	Mode	2	0,241614	0,05203	0,30835	0,0000006011	0,07145	0,87545
	MODAL	Mode	3	0,219176	0,79435	0,0006	0,00000004092	0,86581	0,87605
	MODAL	Mode	4	0,059839	0,00462	0,00772	0,0000009486	0,87043	0,88377
	MODAL	Mode	5	0,05562	0,00053	0,11185	0,000002829	0,87096	0,99562
▶	MODAL	Mode	6	0,045055	0,12693	0,00002287	0,000001017	0,9979	0,99564

Figure VI.9: Pourcentage et participation massique pour bloc 5

Mode 6 :

$$\text{Somme. UX} = 0,99 > 90\%$$

$$\text{Somme. UY} = 0,99 > 90\%$$

## ➤ Bloc 6 :

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless
	MODAL	Mode	1	0,294718	0,00002173	0,88262	0,0000006444	0,00002173	0,88262
	MODAL	Mode	2	0,285568	0,89232	0,00002158	0,0000009331	0,89234	0,88264
	MODAL	Mode	3	0,213936	0,00003972	0,00006492	0,000001368	0,89238	0,88271
	MODAL	Mode	4	0,069745	0,0000004041	0,09544	0,0000003573	0,89238	0,97815
▶	MODAL	Mode	5	0,057345	0,08682	0,000003153	0,0000001826	0,9792	0,97815

Figure VI.10: Pourcentage et participation massique pour bloc 6

Mode 5 :

$$\text{Somme. UX} = 0,97 > 90\%$$

$$\text{Somme. UY} = 0,97 > 90\%$$

## VI.2Analyse modale :

Notre structure est contreventée par une ossature mixte portique-voile. Le choix de la position des voiles doit satisfaire à un certain nombre de condition :

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

Pour les structures représentées par des modèles plans dans deux directions orthogonales, le nombre de modes de vibration à retenir dans chacune des deux directions d'excitation doit être tel que :

- ✓ La somme des masses modales effectives pour les modes retenus soit égale à 90 % au moins de la masse totale de la structure.
- ✓ Les périodes calculées à partir des méthodes numériques ne doivent pas dépasser celles des formules empiriques au plus de 30 %.

La période fondamental doit être :  $T_f \leq 1.3 T$

Tableau VI.3: Verification de T

Les blocs	T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	Tx = min (T1 ; T2)	Ty = min (T1 ; T3)	1,3*T	Tf	Observation
Bloc 2	0,21	0,12	0,17	0,12	0,17	0,27	0,23	C.V
Bloc 3	0,23	0,18	0,17	0,18	0,17	0,29	0,26	C.V
Bloc 4	0,23	0,14	0,14	0,14	0,14	0,29	0,28	C.V
Bloc 5 (hall)	0,23	0,11	0,19	0,11	0,19	0,29	0,24	C.V
Bloc 6	0,23	0,12	0,17	0,12	0,17	0,29	0,29	C.V

### VI.2.1 Détermination du paramètre de spectre de réponse :

#### ❖ Coefficient d'accélération A :

Zone I, groupe 1B, (D'après la classification sismique de wilaya d'TLEMCCEN : RPA 99version 2003) ; alors d'après les deux critères précédents on obtient : **A=0,12**

#### ❖ Coefficient de comportement global de la structure R :

La valeur de R est donnée par le « **tableau 4.3** » RPA99 V 2003 en fonction du système de contreventement tel qu'il est défini dans « **l'article 3.4** » du **RPA99 V 2003**. Dans tous les blocs 2 et 6 on a un système de portique contreventé par des voiles. Alors **R=4**

#### ❖ Facteur de qualité Q :

La valeur de Q est déterminée par la formule :  $Q = 1 + \sum Pq$  (4.4).

Pq : est la pénalité à retenir selon que le critère de qualité q « est satisfait ou non »

Tableau VI.4: Pénalité correspondante au critère de qualité

critère q	Blocs	
	Sens-X	Sens-Y
Condition minimales sur les files de contreventement	0,00	0,00
Redondance en plan	0,00	0,00
régularité en plan	0,00	0,00
régularité en élévation	0,00	0,00
contrôle de la qualité des matériaux	0,05	0,05
contrôle de la qualité de l'exécution	0,10	0,10
La somme	0,15	0,15

$$Q = 1 + \sum Pq$$

$$Q = 1 + 0,15 = 1,15$$

**Q=1,15** pour tous les blocs et dans les deux sens.

❖ **Facteur de correction d'amortissement "n" :**

$$n = \sqrt{\frac{7}{2 + \zeta}} \geq 0,7 \quad \Rightarrow \quad n = \sqrt{\frac{7}{2 + 7}} = 0,88 > 0,7$$

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

$\zeta = 7\%$  pour les portiques en béton armé avec un remplissage dense.

❖ **Facteur d'amplification dynamique moyen (D):**

En fonction de la catégorie de site, du facteur de correction d'amortissement (n) et de la période fondamentale de la structure (T).

$$\left\{ \begin{array}{l} D = 2,5 \cdot n \quad 0 \leq T \leq T_2 \\ D = 2,5 \cdot n \cdot \left(\frac{T_2}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \quad T_2 \leq T \leq 3 \text{ s} \\ D = 2,5 \cdot n \cdot \left(\frac{T_2}{3,0}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot \left(\frac{3,0}{T}\right)^{\frac{5}{3}} \quad T \geq 3 \text{ s} \end{array} \right.$$

Dans tous les cas on  $0 \leq T_x \leq T_2 = 0,3 \text{ s}$  et  $0 \leq T_y \leq T_2 = 0,3 \text{ s}$  donc

$$D_x = D_y = 2,5n$$

$$\Rightarrow D_x = D_y = 2,5 \times 0,88 = 2,2$$

### VI.2.2 Spectre de réponse de calcul :

L'action sismique est représentée par le spectre de calcul suivant (**art 4-13 du RPA 99 V2003**) :

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

S<sub>a</sub> : Accélération spectrale.

g : Accélération de la pesanteur = 9,81 m/s<sup>2</sup>.

Pour tous les blocs on le même spectre de réponse

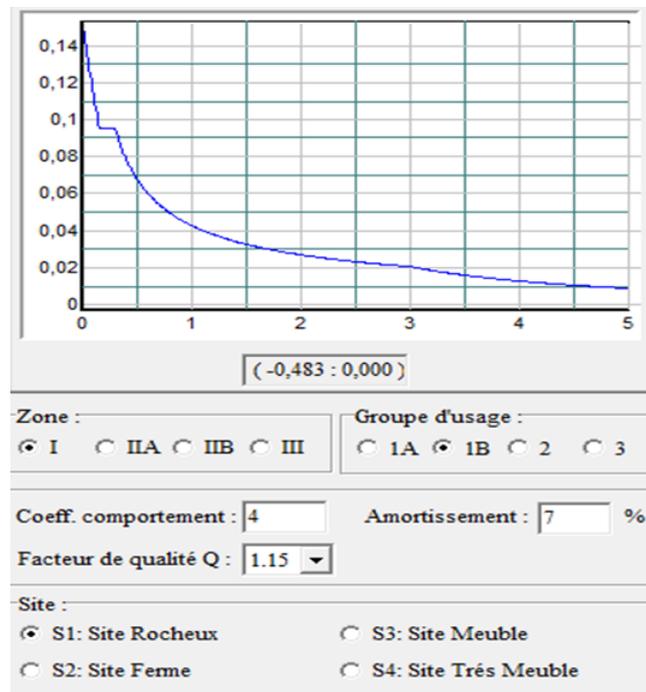


Figure VI.11: spectre de reponse de calcul utilise par **RPA** pour tous les blocs

### VI.2.3 : Détermination de l'effort tranchant (V) et la force sismique (F) de chaque bloc :

❖ L'effort tranchant (V) :

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

Tableau VI.5: l'effort tranchant de chaque bloc

Blocs	V <sub>x</sub> =V <sub>y</sub> (Kn)
Bloc 2	481,9
Bloc 3	364,03
Bloc 4	596,24
Bloc 5 (hall)	514,15
Bloc 6	655,57

❖ La force sismique de chaque bloc (F) :

Les forces sismiques de chaque niveau est donnée par la formule (RPA99 V 2003).

$$F = \frac{(V - F_t). W. h_i}{\sum W_i. h_i}$$

Pour les deux blocks on a  $T < 0,7 \text{ s} \Rightarrow F_t = 0$

$$\Rightarrow F = \frac{V. W. H_i}{\sum W_i. H_i}$$

Blocs	Blocs 2		Blocs 3		Blocs 4		Blocs 5 (hall)		Bloc 6	
	1 <sup>er</sup> étage	terrasse								
F <sub>x</sub> =F <sub>y</sub>	165,71	316,18	129,4	234,62	219,12	377,11	197,32	316,82	225,09	430,46
Somme	481,89		364,02		596,23		514,14		655,55	

Tableau VI.6: force sismique de chaque niveau pour les blocs

#### VI.2.4 : Comparaison entre la force dynamique et statique :

Il faut que

$$\frac{P. dyn}{V. stq} \geq 80\%$$

Tableau VI.7: Comparaison entre force dynamique et statique

Blocs	P.dynamique (Kn)		P.statique (KN) V <sub>x</sub> = V <sub>y</sub>	P.dyn/Psta (%)		vérification
	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>		Sens-X	Sens-Y	
Bloc 2	504,499	505,013	481,9	1,04	1,04	C.V
Bloc 3	405,255	405,846	364,03	1,11	1,11	C.V
Bloc 4	650,927	650,594	596,24	1,09	1,09	C.V
Bloc 5	621,55	639,93	514,15	1,2	1,24	C.V
Bloc 6	754,176	746,99	655,57	1,15	1,13	C.V

#### VI.2.5 Vérification du RPA concernant l'analyse modale :

##### VI.2.5.1 Vérification du coefficient du comportement R :

On doit vérifier la condition suivante :

$$\frac{V_{voile}}{V_{globale}} = 100\%$$

Avec :

V. voile : l'effort tranchant repris par les voiles

V. globale : l'effort tranchant a la base

Tableau VI.8: vérification du coefficient de comportement R

Blocs	V. voile		V. globale		V. voile/V. globale		Vérification
	Sens X	Sens-Y	Sens X	sens-Y	Sens X	Sens-Y	
Bloc 2	504,499	505,013	504,499	505,013	1	1	C.V
Bloc 3	405,255	405,846	405,255	405,846	1	1	C.V
Bloc 4	650,927	650,594	650,927	650,594	1	1	C.V
Bloc 5	621,55	639,93	621,55	639,93	1	1	C.V
Bloc 6	754,176	746,99	754,176	746,99	1	1	C.V

**VI.2.5.2 : Vérification Vis-à-vis des déformations (déplacement) :**

Le déplacement horizontal à chaque niveau "k" de la structure est calculé comme suit :

$$\delta_K = R \cdot \delta_{eK}$$

Avec :

$\delta_{eK}$  : Déplacement dû aux forces sismiques  $F_i$  (y compris l'effet de torsion).

R : coefficient de comportement.

Le déplacement relatif au niveau "k" par rapport au niveau "k-1" est égal à :

$$\Delta_K = \delta_K - \delta_{K-1}$$

D'après l'article [5.10 RPA99 V 2003] les déplacements relatifs latéraux d'un étage par rapport aux étage qui lui sont adjacents, et tels que calculés selon le paragraphe 4.4.3, ne doivent pas dépasser 1.0% de la hauteur d'étage.

$$\overline{\Delta}_K = 0,01 \cdot h_i$$

Tableau VI.9: Vérification Vis-à-vis des déformations (déplacement)

Blocs	Etage	U1 (cm)	U2 (cm)	R.U1	R.U2	$\Delta k1$	$\Delta k2$	1%.H (cm)	Observe
Bloc 2	1 <sup>er</sup> étage	0,05	0,05	0,2	0,2	0,44	0,36	3,4	C.V
	2ere étage	0,16	0,14	0,64	0,56	0,64	0,56	3,4	C.V
Bloc 3	1 <sup>er</sup> étage	0,09	0,085	0,36	0,34	0,44	0,38	4,4	C.V
	2ere étage	0,2	0,18	0,8	0,72	0,8	0,72	3,4	C.V
Bloc 4	1 <sup>er</sup> étage	0,1	0,09	0,4	0,36	0,48	0,48	4,4	C.V
	2ere étage	0,22	0,21	0,88	0,84	0,88	0,84	3,4	C.V
Bloc 5	1 <sup>er</sup> étage	0,46	0,48	1,84	1,92	0,96	0,8	4,4	C.V
	2ere étage	0,7	0,68	2,8	2,72	2,8	2,72	3,4	C.V
Bloc 6	1 <sup>er</sup> étage	0,12	0,12	0,48	0,48	0,4	0,48	4,4	C.V
	2ere étage	0,22	0,24	0,88	0,96	0,88	0,96	3,4	C.V

**VI.2.5.3 : Vérification de l'effet P-Delta :**

$$\Theta_k = \frac{P \cdot \Delta_k}{V \cdot h}$$

P : c'est présenter dans le tableau par  $W_k$  c'est des étages cumules

$\Delta_k$  : déterminer dans le tableau précédent

V : l'effort tranchant cumules

H : hauteur de chaque étage

$\Theta_k < 0,1$  : l'effet P-D peut être négligé

$0,1 < \Theta_k < 0,2$  : amplifiant les efforts de  $\frac{1}{1-\theta_k}$

$\Theta_k > 0,2$  : structure instable et doit être redimensionnées

Tableau VI.10: Vérification de l'effet P-Delta

Blocs	Etage	Hauteur (m)	$\Delta k_2$	V (Kn)	W	W (cumulus)	$\Theta_k$
Bloc 2	2eme étage	3,4	0,36	316,18	325	325	0,001
	1 <sup>er</sup> étage	3,4	0,56	481,89	310,04	635,04	0,002
Bloc 3	2eme étage	3,4	0,38	234,62	237,11	237,11	0,001
	1 <sup>er</sup> étage	4,4	0,72	364,02	242,51	479,62	0,002
Bloc 4	2eme étage	3,4	0,48	377,11	398,6	398,6	0,001
	1 <sup>er</sup> étage	4,4	0,84	596,23	386,96	785,56	0,002
Bloc 5	2eme étage	3,4	0,8	316,82	355,46	355,46	0,001
	1 <sup>er</sup> étage	4,4	2,72	514,14	321,95	677,41	0,002
Bloc 6	2eme étage	3,4	0,48	430,46	417,72	417,72	0,001
	1 <sup>er</sup> étage	4,4	0,96	655,55	446,02	863,74	0,002

D'après les résultats obtenus l'effet de P-D est négligé.

**VI.2.5.4 : Vérification au renversement :**

Le moment de renversement qui peut être causé par l'action sismique doit être calculé par rapport au niveau de contact sol fondation.

Le moment stabilisant sera calculé en prenant en compte le poids total équivalent au poids de la construction, au poids des fondations et éventuellement au poids du remblai.

Donc il faut vérifier que :

$$\frac{M}{N} \leq \frac{B}{4}$$

$$N = N_{a \text{ la basse}} + 10\% \cdot N_{a \text{ la base}}$$

$$M_x = F_{1x} \cdot X_1 + \dots + F_{n.x} \cdot X_n = M_y$$

M : moment renversant de l'ouvrage

Tableau VI.11: valeur de M suivant X et Y

Blocs	Etage	X (m)	F <sub>x</sub> =F <sub>y</sub> (Kn)	M (Kn.m)	Somme
Bloc 2	1 <sup>er</sup> étage	3,4	165,71	563,414	1638,426
	2 <sup>e</sup> étage	3,4	316,18	1075,012	
Bloc 3	1 <sup>er</sup> étage	4,4	129,4	569,36	1367,068
	2 <sup>e</sup> étage	3,4	234,62	797,708	
Bloc 4	1 <sup>er</sup> étage	4,4	219,12	964,128	2246,302
	2 <sup>e</sup> étage	3,4	377,11	1282,174	
Bloc 5	1 <sup>er</sup> étage	4,4	197,32	868,208	1945,396
	2 <sup>e</sup> étage	3,4	316,82	1077,188	
Bloc 6	1 <sup>er</sup> étage	4,4	225,09	990,396	2453,96
	2 <sup>e</sup> étage	3,4	430,46	1463,564	

Tableau VI.12: valeur de N

Blocs	1,1*N
Bloc 2	698,544
Bloc 3	527,582
Bloc 4	864,116
Bloc 5	745,151
Bloc 6	950,114

Tableau VI.13: Vérification au renversement suivant X

Blocs	M/N	B <sub>x</sub>	B <sub>x</sub> /4	Vérification
Bloc 2	2,34	12,8	3,2	C.V
Bloc 3	2,59	16	4	C.V
Bloc 4	2,59	16	4	C.V
Bloc 5	2,61	13	3,25	C.V
Bloc 6	2,04	16	4	C.V

Tableau VI.14 Vérification au renversement suivant Y

Blocs	M/N	B <sub>y</sub>	B <sub>y</sub> /4	Vérification
Bloc 2	2,34	25	6,25	C.V
Bloc 3	2,59	15	3,75	C.V
Bloc 4	2,59	25	6,25	C.V
Bloc 5	2,61	35	8,75	C.V
Bloc 6	2,04	30	7,5	C.V

# CHAPITRE VII : ETUDE DES ÉLÉMENTS STRUCTURAUX

## Introduction :

Notre structure est un ensemble tridimensionnel constitué des poteaux, poutres et voiles, liés rigidement et capables de reprendre la totalité des forces verticales et horizontales (ossature auto stable).

Pour pouvoir ferrailer les éléments de la structure, on a utilisé l'outil informatique à travers le logiciel d'analyse des structures (**SAP2000**), qui permet la détermination des différents efforts internes de chaque section des éléments pour les différentes combinaisons de calcul.

## VII.1 Les poteaux :

Les poteaux sont des éléments verticaux, assurant essentiellement la transmission des charges des niveaux aux fondations, ils sont soumis à un effort normal « N » et à un moment de flexion « M » dans les deux sens longitudinal et transversal. Donc, ils sont calculés en flexion composée.

### VII.1.1 Combinaison des charges :

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

**Selon BAEL 91** : [Combinaisons fondamentales]

- ELU : 1.35 G + 1.5 Q
- ELS : G + Q

**Selon RPA99V2003** : [Combinaisons accidentelles]

- 0.8 G ± E
- G + Q ± E

### VII.1.2 Vérification spécifique sous sollicitations normales :

Le calcul de ferrailage doit être mené d'une vérification prescrite par le **RPA 99V2003**, dans le but d'éviter ou de limiter le risque de rupture fragile sous sollicitation d'ensemble dues au séisme. L'effort normal de compression est limité par la condition suivante :

$$V = \frac{N}{B \cdot f_{c.28}} \leq 0,3$$

$$B = (40 \times 40) \text{ cm} \quad f_{c.28} = 25 \text{ MPa}$$

Tableau VII.1: Vérification spécifique sous sollicitations normales

Blocs	P (Kn)	V	Vérification
Bloc 2	63,137	0,01	C.V
Bloc 3	96,955	0,02	C.V
Bloc 4	52,812	0,013	C.V
Bloc 5	807,414	0,2	C.V
Bloc 6	178,688	0,04	C.V

### VII.1.3 Vérification spécifique sous sollicitations tangentes :

La contrainte de cisaillement conventionnelle de calcul dans le béton sous combinaison sismique doit être inférieure ou égale à la valeur limite suivante :

$$\tau_u \leq \tau_{bu}$$

Avec :

$\tau_u$ : La contrainte de cisaillement de calcul sous combinaison sismique.

$$\tau_u = \frac{v}{b \cdot d}$$

$$\tau_{b.u} = \rho_d \cdot f_{c.28} \text{ RPA99V2003}$$

$$\text{Avec } \rho_d = \begin{cases} 0,075 & \Rightarrow \gamma_g \geq 5 \\ 0,04 & \Rightarrow \gamma_g < 5 \end{cases}$$

$\gamma_g$ : L'élanement géométrique du poteau.

$$\gamma_g = \left( \frac{l_f}{a} \text{ ou } \frac{l_f}{b} \right) \text{ RPA99V2003}$$

Avec :

a et b : dimensions de la section droite du poteau dans la direction de déformation considérée.

$$l_f = 0,7 \cdot l_0 \text{ (Longueur de flambement du poteau)}$$

$$l_f = 0,7 \times 3,4 = 2,38 \text{ m}$$

Tableau VII.2: Vérification spécifique sous sollicitations tangentes

Blocs	V (Kn)	b.d (m)	$\tau_u$ (MPa)	$\lambda_g$	$\rho.d$	$\tau_{bu}$ (MPa)	observation
Bloc 2	63,137	0,144	0,438	5,95	0,075	1,875	C.V
Bloc 3	96,955	0,144	0,673	5,95	0,075	1,875	C.V
Bloc 4	52,812	0,144	0,366	5,95	0,075	1,875	C.V
Bloc 5	807,414	0,144	1,76	5,95	0,075	1,875	C.V
Bloc 6	178,688	0,144	1,24	5,95	0,075	1,875	C.V

#### VII.1.4 Calcul du ferrailage longitudinal :

D'après le **RPA 99 V 2003** (article 7.4.2.1) :

- Les armatures longitudinales doivent être à haute adhérence droites et sans crochets
- Leur pourcentage minimal sera de 0.7 % (zone I).
- 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  $40 \Phi$  (zone I)
- La distance entre les barres verticales dans une surface du poteau ne doit pas dépasser 25 cm (zone I).

On va prendre un seul type de poteau et on fait le calcul en flexion composée car le poteau est sollicité par un effort normal « N » et un moment fléchissant « M », et les autres sont calculés à l'aide de logiciel **SAP 2000**.

Tableau VII.3: Sollicitations des poteaux (ELU)

Blocs	Poteaux	$M_{\max}$ (Kn.m)	$N_{\max}$ (KN)
Bloc 2	1 <sup>er</sup> étage	12,187	6,48
Bloc 3	1 <sup>er</sup> étage	9	4,89
Bloc 4	1 <sup>er</sup> étage	9,01	4,87
Bloc 5	1 <sup>er</sup> étage	15,989	9,134
Bloc 6	1 <sup>er</sup> étage	9,16	4,97

Notre exemple de calcul sera un poteau de 1<sup>er</sup> étage du bloc 5, on a pris ce poteau car il est le plus sollicité.

Tableau VII.4: Sollicitations du poteau de 1er étage du bloc 5

Poteaux	M (Kn.m)	N (KN)	V (KN)
40 x 40	15,989	9,134	807,414

$$b=h=0,4 \text{ m} ; d=0,9.h=0,9.0,4=0,36 \text{ m} ; d'=0,1.h=0,1.0,4=0,04 \text{ m}$$

$$f_{bc}=14,17 \text{ MPa}$$

$$e = \frac{M_u}{N_u} = \frac{15,989}{9,134} = 1,75 \text{ m}$$

$$e_a = e + \frac{h}{2} - d' = 1,91 \text{ m}$$

➤ Moment fictive :

$$M_a = N \cdot e_a = 17,44 \text{ Kn.m}$$

$$N_u \cdot (d - d') - M_a \leq (0,337 - 0,81 \cdot \frac{d'}{d}) \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{bc}$$

$$\Rightarrow -14,51 < 0,022 \quad C.V$$

Donc la section est partiellement comprimée avec armature inférieure tendue ( $A_{sc} = 0$ )

➤ Moment réduit :

$$\mu_u = \frac{M_a}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}} = 0,023 < \mu_R = 0,392$$

$$\mu_u < \mu_R \Rightarrow \text{Section simple armature}$$

$$A_2 = 0$$

$$A_1 = \frac{1}{\sigma_{st}} \cdot \left( \frac{M_a}{Z} - N_u \right)$$

$$\alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) = 0,029$$

$$Z = d \cdot (1 - 0,4 \cdot \alpha) = 0,35$$

$$A_1 = \frac{1}{347,826} \times \left( \frac{17,44 \times 10^{-3}}{0,35} - 9,134 \times 10^{-3} \right) = 1,16 \text{ cm}^2$$

➤ Condition de non fragilité :

$$A_{min} \geq \frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e} = \frac{0,23 \times 0,4 \times 0,36 \times 2,1}{400} = 1,73 \text{ cm}^2$$

➤ Mini de RPA :

$$A_1 = 0,7\%, S = \frac{0,7 \times 40^2}{100} = 11,2 \text{ cm}^2$$

On ferrailé avec min de RPA

Tableau VII.5: Ferrailage longitudinal des poteaux

Blocs	A <sub>Sc</sub> (cm <sup>2</sup> )	Min RPA (cm <sup>2</sup> )	Ferrailage	
			Choix	Section (cm <sup>2</sup> )
Bloc 2	0,89	17,5	6T20	18,85
Bloc 3	0,66	11,2	8T14	12,32
Bloc 4	0,7	11,2	8T14	12,32
Bloc 5	1,16	11,2	8T14	12,32
Bloc 6	0,73	11,2	8T14	12,32

#### VII.1.4.1 Calcul du ferrailage transversal :

Les armatures transversales des poteaux sont calculées à l'aide de la formule :

$$\frac{A_t}{t} = \frac{\rho \cdot V_u}{h_1 \cdot f_e} \text{RPA99V2003}$$

Avec :

V<sub>u</sub> : effort tranchant de calcul.

h<sub>1</sub> : hauteur total de la section brute.

f<sub>e</sub> : contrainte limite élastique de l'acier d'armature transversale f<sub>e</sub> = 235 MPa.

ρ<sub>a</sub> : coefficient correcteur qui tient compte du monde fragile de la rupture par effort tranchant.

ρ<sub>a</sub> = 2.5 si l'élanement géométrique λg ≥ 5

ρ<sub>a</sub> = 3.75 si l'élanement géométrique λg < 5

$$\phi_t = \min\left(\frac{h}{35}; \frac{b}{10}; \phi_l\right) \text{BAEL91 modifier 99}$$

Avec :

Φ<sub>t</sub> : diamètre minimal des armatures longitudinales du poteau.

t : espacement des armatures transversales, la valeur max de cet espacement est fixée comme suit d'après **RPA99V2003** :

- Zone nodale :  $t \leq \min(10. \phi_l; 15 \text{ cm})$  Zone I
- Zone courante :  $t' \leq 15. \phi_l$

Tableau VII.6: Ferrailage transversal des poteaux

Blocs	H (cm)	Vu (Kn)	$\lambda_g$	$\rho_a$	t (cm)	t' (cm)	At (cm)	$\Phi_t$ (cm)
Bloc 2	40	63,137	5,95	2,5	15	24	0,025	$\Phi 8$
Bloc 3	40	96,955	5,95	2,5	15	24	0,038	$\Phi 8$
Bloc 4	40	52,812	5,95	2,5	15	24	0,021	$\Phi 8$
Bloc 5	40	807,414	5,95	2,5	15	24	0,32	$\Phi 8$
Bloc 6	40	178,688	5,95	2,5	15	24	0,07	$\Phi 8$

#### VII.1.4.2 Recouvrement :

La longueur de recouvrement minimal donnée par le **RPA99 V 2003** est de : **40 $\phi$  en zone I**

Tableau VI.7 : Longueurs de recouvrement

$\Phi$ (cm)	Lr (cm)	Lr choisi (cm)
1,4	56	60
2	80	80

## VII.2 Les poutres :

Les poutres sont des éléments sollicités par des moments de flexion et des efforts tranchants. Le calcul se fera en flexion simple à partir du règlement **B.A.E.L 91**, puis on se rapportera au règlement **RPA99 V 2003** pour vérifier le ferrailage minimum qui est en fonction de la section du béton.

### VII.2.1 Combinaison des charges :

- Selon **BAEL91** : [combinaisons fondamentales]
  - ELU :  $1.35 G + 1.5 Q$
- Selon **RPA99 V 2003** : [Combinaisons accidentelles]
  - $G + Q \pm E$
  - $0.8 G \pm E$

#### VII.2.1.1 Recommandation du RPA99 V 2003 :

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

Le pourcentage total maximum des aciers longitudinaux est de :

- 4% en zone courante.
- 6 % en zone de recouvrement.

Les poutres supportant de faibles charges verticales et sollicitées principalement par les forces latérales sismiques doivent avoir des armatures symétriques avec une section en travée au moins égale à la moitié de la section sur appui.

La longueur minimale de recouvrement est de :  $40\phi$  en zone I.

### VII.2.2 Ferrailages des poutres principales :

Tableau VII.8: Sollicitations des poutres principales

Blocs	M. appuis (KN.m)	M. Travée (KN.m)	V(KN)
Bloc 2	242,1	205,3	213,1
Bloc 3	212,91	131,05	207,31
Bloc 4	213,16	130,95	207,32
Bloc 5	134,30	87,27	190,24
Bloc 6	213,01	130,98	207,26

#### VII.2.2.1 Ferrailage longitudinal :

On va prendre comme exemple de calcul la poutre principale situé au plancher du 1er étage du bloc 2.

Tableau VII.9: Sollicitation de la poutre principale du bloc 2

Section (cm <sup>2</sup> )	ELU		ELS		G+Q+EX		0,8.G+EX	
	Mt (Kn.m)	Ma (Kn.m)						
80*50	205,3	242,1	147,62	177,35	147,58	170,66	99,12	107,15
V (Kn)	213,1		153,05		153,73		96,25	

➤ En travée :

a. ELU :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 f_{bc}}$$

$$\mu_u = \frac{0,205}{0,5 \times (0,9 \times 0,8)^2 \times 14,17} = 0,05$$

$$\mu_u = 0,05 < \mu_R = 0,392 \Rightarrow \text{section simple armature}$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaire.

$$\alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \Rightarrow \alpha = 0,06$$

$$Z = d \cdot (1 - 0,4 \cdot \alpha) \Rightarrow Z = 0,7$$

$$A_{ST} = \frac{M_u}{Z \cdot \sigma_{ST}} = \frac{205,37 \cdot 10^{-3}}{0,71 \times 347,826} = 8,41 \text{ cm}^2$$

➤ Condition de non fragilité :

$$A_{st} \geq \max\left(\frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e}; \frac{b \cdot h}{1000}\right) = \max(4,34; 4) = 4,34 \text{ cm}^2$$

$$8,413 \text{ cm}^2 > 4,34 \text{ cm}^2 \quad C.V$$

b. ELS :

$$\text{Il faut vérifier que : } \alpha \leq \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100}$$

$$\text{Avec : } \gamma = \frac{M_u}{M_s} = \frac{205,3}{147,62} = 1,4$$

$$\alpha = 0,107 < 0,45 \quad CV$$

Donc : il n'est pas nécessaire de vérifier la contrainte du béton :  $\sigma_{bc} < \overline{\sigma_{bc}}$

L'armature calculée à l'ELU convient pour l'ELS.

➤ En appui :

a. ELU :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 \cdot f_{bc}}$$

$$\mu_u = \frac{0,2421}{0,5 \times (0,9 \times 0,8)^2 \times 14,17} = 0,06$$

$$\mu_u = 0,06 < \mu_R = 0,392 \Rightarrow \text{section simple armature}$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \Rightarrow \alpha = 0,07$$

$$Z = d \cdot (1 - 0,4 \cdot \alpha) \Rightarrow Z = 0,69$$

$$A_{ST} = \frac{M_u}{Z \cdot \sigma_{ST}} = \frac{242,1 \cdot 10^{-3}}{0,69 \times 347,826} = 10,08 \text{ cm}^2$$

➤ Condition de non fragilité :

$$A_{st} \geq \max\left(\frac{0,23 \cdot b \cdot d \cdot f_{t28}}{f_e}; \frac{b \cdot h}{1000}\right) = \max(4,34; 4) = 4,34 \text{ cm}^2$$

$$10,08 \text{ cm}^2 > 4,34 \text{ cm}^2 \quad C.V$$

c. ELS :

$$\text{Il faut vérifier que : } \alpha \leq \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100}$$

$$\text{Avec : } \gamma = \frac{M_u}{M_s} = \frac{242,1}{177,35} = 1,36$$

$$\alpha = 0,225 < 0,43 \quad CV$$

Donc : il n'est pas nécessaire de vérifier la contrainte du béton :  $\sigma_{bc} < \overline{\sigma_{bc}}$

L'armature calculée à l'ELU convient pour l'ELS.

- Armature minimale :

Selon **RPA99V2003** :

- $A_{min} = 0,4\% \cdot (b \cdot h) = 18 \text{ cm}^2$  (zone courante)
- $A_{min} = 0,6\% \cdot (b \cdot h) = 24 \text{ cm}^2$  (zone de recouvrement)

➤ Le choix :

- En travée : **6T20** de section : **18,85 cm<sup>2</sup>**
- En appuie : **8T20** de section : **25,13 cm<sup>2</sup>**

➤ Vérification de l'effort tranchant :

$$T_{max} = 360,82 \text{ Kn}$$

$$\tau_u = \frac{T_{max}}{b \cdot d} = \frac{213,1}{0,5 \times 0,9 \times 0,8} = 0,591 \text{ MPa}$$

$$\overline{\tau_u} = \min\left(\frac{0,15 \cdot f_{c28}}{\gamma_b} : 5 \text{ MPa}\right) = 2,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{Fissuration peu préjudiciable}$$

$$\tau_u < \overline{\tau_u} \quad C.V$$

➤ L'espacement des armatures transversales :

D'après le **RPA99 V 2003** :

- Zone nodale :  $S_t \leq \min\left(\frac{h}{4}; 12\phi_{l.min}; 30 \text{ cm}\right) = 20 \text{ cm} \Rightarrow S_t = 20 \text{ cm}$
- Zone courante :  $S_{t'} \leq \frac{h}{2} = 40 \text{ cm} \Rightarrow S_{t'} = 30 \text{ cm}$

Avec :  $\Phi_{l.min}$  Diamètre minimale des armatures longitudinales de la poutre principale

➤ Diamètre des armatures transversales :

D'après le **B.A.E.L91** :

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35}; \frac{b}{10}; \phi_{l.min}\right) = 1,42 \text{ cm}$$

On prend  $\Phi_t = 8 \text{ mm}$

Tableau VII.10: Récapitulation du ferrailage des poutres principales

Blocs	Asc (cm <sup>2</sup> )		Min.RPA (cm <sup>2</sup> )		Ferrailage travée (cm <sup>2</sup> )		Ferrailage appuie (cm <sup>2</sup> )	
	Travée	Appuie	Travée	Appuie	Choix	Section	Choix	Section
Bloc 2	8,41	10,08	18	24	6T20	18,85	8T20	25,13
Bloc 3	8,97	15,11	8	12	6T14	9,24	8T14	13,85
Bloc 4	8,96	15,13	8	12	6T14	9,24	8T14	13,85
Bloc 5	5,83	9,19	8	12	6T14	9,24	8T14	13,85
Bloc 6	8,96	15,12	8	12	6T14	9,24	8T14	13,85

**VII.2.2.1.1 Recouvrement :**

La longueur de recouvrement minimal donnée par le **RPA99 V 2003** est de : **40 $\phi$  en zone I**

Tableau VII.11: Recouvrement des poutres principales

$\Phi$ (cm)	Lr (cm)	Lr choisi (cm)
1,4	56	60
2	80	80

**VII.2.3 Ferrillages des poutres secondaires :**

Tableau VII.12: Sollicitations des poutres secondaires

Blocs	M <sub>appuis</sub> (Kn.m)	M <sub>travée</sub> (Kn.m)	V (Kn)
Bloc 2	14,84	7,17	17,69
Bloc 3	14,28	8,22	17,94
Bloc 4	15,27	7,81	18,19
Bloc 5	32,31	23,09	36,79
Bloc 6	14,39	8,15	17,97

**VIII.2.3.1 Ferrillages longitudinales :**

On va prendre comme exemple de calcul la poutre secondaire du bloc 5.

Tableau VII.13: Sollicitations de la poutre secondaire du bloc 5

Section (cm <sup>2</sup> )	ELU		ELS		G+Q+EX		0,8.G+EX	
	Mt (Kn.m)	Ma (Kn.m)	Mt (Kn.m)	Ma (Kn.m)	Mt (Kn.m)	Ma (Kn.m)	Mt (Kn.m)	Ma (Kn.m)
25*40	23,09	32,31	16,49	23,19	39,04	51,89	40,5	53,28
V (Kn)	36,79		26,44		41,49		43	

➤ En travée :

a. ELU :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b \cdot d^2 f_{bc}}$$

$$\mu_u = \frac{0,0405}{0,25 \times (0,9 \times 0,4)^2 \times 14,17} = 0,088$$

$$\mu_u = 0,088 < \mu_R = 0,392 \Rightarrow \text{section simple armature}$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1,25 \cdot (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \Rightarrow \alpha = 0,11$$

$$Z = d. (1 - 0,4. \alpha) \Rightarrow Z = 0,34$$

$$A_{ST} = \frac{M_u}{Z. \sigma_{ST}} = \frac{40,5.10^{-3}}{0,34 \times 347,826} = 3,42 \text{ cm}^2$$

➤ Condition de non fragilité :

$$A_{st} \geq \max\left(\frac{0,23. b. d. f_{t28}}{f_e}; \frac{b. h}{1000}\right) = \max(1,086; 1) = 1,086 \text{ cm}^2$$

$$3,42 \text{ cm}^2 > 1,086 \text{ cm}^2 \quad C.V$$

b. ELS :

$$\text{Il faut vérifier que : } \alpha \leq \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100}$$

$$\text{Avec : } \gamma = \frac{M_u}{M_s} = \frac{32,31}{16,49} = 1,95$$

$$\alpha = 0,107 < 0,72 \quad C.V$$

Donc : il n'est pas nécessaire de vérifier la contrainte du béton :  $\sigma_{bc} < \overline{\sigma_{bc}}$

L'armature calculée à l'ELU convient pour l'ELS.

➤ En appuie :

a. ELU :

$$\mu_u = \frac{M_u}{b. d^2 f_{bc}}$$

$$\mu_u = \frac{0,053}{0,25 \times (0,9 \times 0,4)^2 \times 14,17} = 0,11$$

$$\mu_u = 0,11 < \mu_R = 0,392 \Rightarrow \text{section simple armature}$$

Donc les armatures comprimées ne sont pas nécessaires.

$$\alpha = 1,25. (1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \Rightarrow \alpha = 0,14$$

$$Z = d. (1 - 0,4. \alpha) \Rightarrow Z = 0,33$$

$$A_{ST} = \frac{M_u}{Z. \sigma_{ST}} = \frac{53,28.10^{-3}}{0,33 \times 347,826} = 4,64 \text{ cm}^2$$

➤ Condition de non fragilité :

$$A_{st} \geq \max\left(\frac{0,23. b. d. f_{t28}}{f_e}; \frac{b. h}{1000}\right) = \max(1,086; 1) = 1,086 \text{ cm}^2$$

$$4,64 \text{ cm}^2 > 1,086 \text{ cm}^2 \quad C.V$$

b. ELS :

Il faut vérifier que :  $\alpha \leq \frac{\gamma-1}{2} + \frac{f_{c28}}{100}$

$$\text{Avec : } \gamma = \frac{M_u}{M_s} = \frac{32,13}{23,19} = 1,38$$

$$\alpha = 0,225 < 0,454 \quad CV$$

Donc : il n'est pas nécessaire de vérifier la contrainte du béton :  $\sigma_{bc} < \overline{\sigma}_{bc}$

L'armature calculée à l'ELU convient pour l'ELS.

- Armature minimale :

Selon **RPA99V2003** :

- $A_{min} = 0,4\% . (b . h) = 4 \text{ cm}^2$  (zone courante)
- $A_{min} = 0,6\% . (b . h) = 6 \text{ cm}^2$  (zone de recouvrement)
- Le choix :
  - En travée : **3T14** de section : **4,62cm<sup>2</sup>**
  - En appui : **4T14** de section : **6,16cm<sup>2</sup>**

- Vérification de l'effort tranchant :

$$T_{max} = 360,82 \text{ Kn}$$

$$\tau_u = \frac{T_{max}}{b . d} = \frac{36,79}{0,25 \times 0,9 \times 0,4} = 0,408 \text{ MPa}$$

$$\overline{\tau}_u = \min\left(\frac{0,15 . f_{c28}}{\gamma_b} ; 5 \text{ MPa}\right) = 2,5 \text{ MPa} \rightarrow \text{Fissuration peu préjudiciable}$$

$$\tau_u < \overline{\tau}_u \quad C.V$$

- L'espacement des armatures transversales :

D'après le **RPA99 V 2003** :

- Zone nodale :  $S_t \leq \min\left(\frac{h}{4} ; 12\phi_{l.min} ; 30 \text{ cm}\right) = 10 \text{ cm} \Rightarrow S_t = 10 \text{ cm}$
- Zone courante :  $S_t \leq \frac{h}{2} = 20 \text{ cm} \Rightarrow S_t = 20 \text{ cm}$

Avec :  $\phi_{l.min}$  Diamètre minimale des armatures longitudinales de la poutre principale

- Diamètre des armatures transversales :

D'après le **B.A.E.L91** :

$$\phi_t \leq \min\left(\frac{h}{35} ; \frac{b}{10} ; \phi_{l.min}\right) = 1,2 \text{ cm}$$

On prend  $\phi_t = 8 \text{ mm}$

### VII.2.3.2 Recouvrement :

La longueur de recouvrement minimal donnée par le **RPA99 V 2003** est de : **40 $\phi$  en zone I**

Tableau VII.14: Recouvrement des poutres secondaires

$\Phi$ (cm)	Lr (cm)	Lr choisi (cm)
1,4	56	60

### VII.3 Les murs voiles :

Le mur voile est un élément structural de contreventement soumis à une charge verticale due à la combinaison des charges permanentes, d'exploitations, et une charge horizontale due à l'action du vent, ou d'un séisme. Ce qui implique que les murs voiles seront calculés en flexion composée et au cisaillement, leurs ferrailages sont composés d'armatures verticales et d'armatures horizontales.

#### VII.3.1 Calcul des murs voiles :

Pour le ferrailage des voiles, il faut satisfaire certaines conditions imposées par le **RPA99V2003** :

Le pourcentage minimum d'armatures verticales et horizontales est:

- Globalement dans la section du voile de 0.15%.
- En zone courante 0.10%.

L'espacement des barres horizontales et verticales  $\leq \min(1.5 a ; 30 \text{ cm})$ .

Les longueurs des recouvrements doivent être égales :

- $40 \Phi$  pour les barres situées dans les zones où le recouvrement du signe des efforts est positif.
- $20 \Phi$  pour les barres situées dans les zones comprimées sous l'action de toutes les Combinaisons d'actions.

#### VII.3.1.1 Caractéristiques des murs voiles :

Tableau VII.15: caractéristique des murs voiles

Voiles	e (m)	L (m)	A (m <sup>2</sup> )	I (m <sup>4</sup> )
	0,25	1	0,25	0,02

#### VII.3.1.2 Vérification des contraintes tangentielles :

Le calcul se fait en flexion composée, (0.25x1 ml), les contraintes tangentielles doivent vérifier les conditions suivantes :

$$\tau_b = \frac{\bar{v}}{b_0 \cdot d} \leq \bar{\tau}_b = 0,2 \cdot f_{c,28}$$

Avec :

$$\bar{v} = 1,4 \cdot v$$

Tableau VII.16: Vérification des contraintes tangentielles

Blocs	Combinaisons	V (Kn)	$\tau_b$ (MPa)	$\tau_b$ (MPa)	Observation
Bloc 2	<b>ELU</b> <b>(1.35G+1.5Q)</b>	7,17	0,013	5	C.V
	ELA <b>(G+Q ± EX)</b>	1,46	0,002	5	C.V
	ELA <b>(G+Q ± EY)</b>	1,46	0,002	5	C.V
	ELA <b>(0.8G ± EX)</b>	0,77	0,0014	5	C.V
	ELA <b>(0.8G EY)</b>	2,76	0,005	5	C.V
	<b>ELU</b> <b>(1.35G+1.5Q)</b>	7,06	0,0105	5	C.V

Bloc 3	ELA (G+Q ± EX)	1,29	0,002	5	C.V
	ELA (G+Q ± EY)	5,95	0,01	5	C.V
	ELA (0.8G ± EX)	1,12	0,002	5	C.V
	ELA (0.8G EY)	11,22	0,02	5	C.V
Bloc 4	ELU (1.35G+1.5Q)	3,16	0,005	5	C.V
	ELA (G+Q ± EX)	1,31	0,002	5	C.V
	ELA (G+Q ± EY)	1,74	0,003	5	C.V
	ELA (0.8G ± EX)	0,99	0,0018	5	C.V
	ELA (0.8G EY)	1,12	0,002	5	C.V
Bloc 5	ELU (1.35G+1.5Q)	2,67	0,004	5	C.V
	ELA (G+Q ± EX)	3,14	0,005	5	C.V
	ELA (G+Q ± EY)	15,13	0,027	5	C.V
	ELA (0.8G ± EX)	2,91	0,005	5	C.V
	ELA (0.8G EY)	14,97	0,027	5	C.V
Bloc 6	ELU (1.35G+1.5Q)	28,59	0,05	5	C.V
	ELA (G+Q ± EX)	1,26	0,002	5	C.V
	ELA (G+Q ± EY)	14,49	0,02	5	C.V
	ELA (0.8G ± EX)	1,25	0,002	5	C.V
	ELA (0.8G EY)	14,47	0,026	5	C.V

### VII.3.2 Ferrailage des murs voiles :

#### VII.3.2.1 Calcul des armatures longitudinales :

$$A_{min} = 0,15. \% . b . h = 0,15. \% \times 0,25 \times 1$$

$$A_{min} = 3,75 \text{ cm}^2$$

#### VII.3.2.2 Calcul des armatures transversales :

D'après RPA99 V 2003 :

$$\tau_b \leq 0,025 . f_{c.28} \Rightarrow A_t \geq 0,15. \% . b . h$$

$$\tau_b > 0,025 . f_{c.28} \Rightarrow A_t \geq 0,25\% . b . h$$

$$\text{On a } \tau_b < 0,025 . f_{c.28} = 0,625 \Rightarrow A_t \geq 0,15. \% . b . h$$

$$A_t \geq 0,15. \% \times 0,25 \times 1 = 3,75 \text{ cm}^2$$

On adopte **4T16** de section : **6 ,16cm<sup>2</sup>**

**VII.3.2.3 Diamètre :**

$$\phi \leq \frac{b}{10} = 25 \text{ mm} \Rightarrow \phi = 10 \text{ mm}$$

**VII.3.2.4 Espacement :**

$$\text{RPA99V2003} : S_t \leq \min(1,5 \cdot b; 30 \text{ cm}) = 30 \text{ cm}$$

$$\text{BAEL} : S_t \leq \min(2 \cdot b; 33 \text{ cm}) = 33 \text{ cm}$$

$$S_t \leq \min(\text{RPA}; \text{BAEL}) \Rightarrow S_t = 20 \text{ cm}$$

**VII.3.3 Vérification de l'effort normal réduit :**

D'après **RPA99 V 2003**, il faut vérifier la condition :

$$V = \frac{N}{B \cdot f_{c.28}} \leq 0,3$$

B (1 \*0,25)

Tableau VII.17: Vérification de l'effort normal réduit

Blocs	N (Kn)	V	Vérification
Bloc 2	261,97	0,04	C.V
Bloc 3	192,83	0,03	C.V
Bloc 4	138,99	0,02	C.V
Bloc 5	258,17	0,04	C.V
Bloc 6	279,33	0,04	C.V

**VII.3.4 Recouvrement des murs voiles:**

Tableau VIII.18 : Recouvrement des murs voiles:

$\Phi$ (cm)	Lr (cm)	Lr choisi (cm)
1,6	48	50

# CHAPITRE VII : ÉTUDE DE L'INFRASTRUCTURE

## Introduction :

Les fondations d'une construction sont constituées par les parties de l'ouvrage qui sont en contact avec le sol auquel elles transmettent les charges de la superstructure par les éléments de la structure (poteaux, poutres, murs, voiles), soit directement (le cas des semelles reposant sur le sol ou le cas des radiers), soit par l'intermédiaire d'autres organes (le cas des semelles sur pieux ou puits). Elles constituent donc la partie essentielle de l'ouvrage puisque de leurs bonnes conception et réalisation découle la bonne tenue de l'ensemble.

### VIII.1 Choix du type de fondation :

D'après l'étude géotechnique de l'excise de notre projet, le système de fondation préconisé est un système de fondation superficielle sur une semelle isolée avec ancrage .le taux de travail du sol est de **4 bars**.

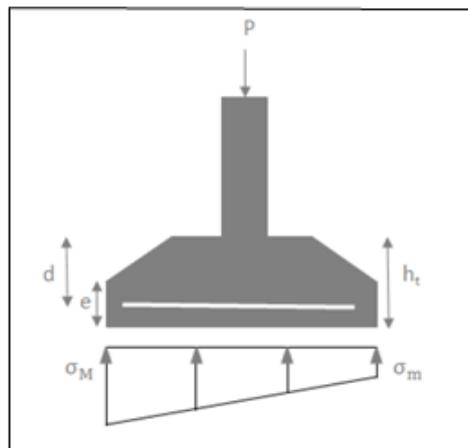


Figure VIII.1: Diagramme des contraintes agissant sur les fondations

### VIII.2 Les sollicitations des semelles isolées :

L'analyse des portiques par le **SAP2000** a donné les résultats suivants :

Tableau VIII.1: Récapitulation des efforts internes M et N

Blocs		Efforts	ELU	G+Q+E	0,8.G+E	ELS
Bloc 2	Semelles d'angle (S1)	M (Kn.m)	21,79	36,38	36,4	15,67
		N (KN)	502,335	560,621	454,757	365,14
	Semelle intermédiaire (S2)	M (Kn.m)	44,33	21,56	21,06	31,53
		N (KN)	1287,725	933,118	578,818	930,509
Bloc 3	Semelles d'angle (S1)	M (Kn.m)	22,07	19,91	24,38	15,81
		N (KN)	465,861	414,25	382,408	332,62
	Semelle intermédiaire (S2)	M (Kn.m)	12,33	14,76	18,11	8,83
		N (KN)	673,96	496,465	330,36	489,52
Bloc 4	Semelles d'angle (S1)	M (Kn.m)	20,83	20,3	20,03	14,92
		N (KN)	675,884	492,620	326,789	490,971
	Semelle intermédiaire (S2)	M (Kn.m)	10,61	42,84	42,38	7,59
		N (KN)	367,418	544,889	469,069	268,003
Bloc 5		M (Kn.m)	4,4	115,45	114,51	3,17

	Semelles d'angle (S1)	N (KN)	214,455	496,098	452,92	153,97
	Semelle intermédiaire (S2)	M (Kn.m)	15,55	1650,84	1497,2	13,65
N (KN)		735,331	74,62	72,2	531,97	
Bloc 6	Semelles d'angle (S1)	M (Kn.m)	34,36	24,005	16,56	22,48
		N (KN)	375,94	265,443	167,005	274,08
	Semelle intermédiaire (S2)	M (Kn.m)	42,61	30,6	17,029	30,52
		N (KN)	676,476	500,156	331,542	491,32

### VIII.3 Dimensionnement des semelles isolées :

$$\sigma < \sigma_{sol}$$

$$\frac{N_S}{A \cdot B} \leq \sigma_{sol} \Rightarrow A = B = \sqrt{\frac{N_S}{\sigma_{sol}}}$$

$$d > \frac{B - b}{4} ; b = 40cm$$

$$h = d + 5cm$$

Tableau VIII.2: les dimensions des semelles isolées

Blocs	semelle d'angle S1			Semelle intermédiaire S2		
	A, B (m)	d(m)	h(m)	A, B (m)	d(m)	h(m)
Bloc 2	1	0,2	0,25	2	0,5	0,55
Bloc 3	1	0,2	0,25	1	0,2	0,25
Bloc 4	1,2	0,25	0,3	1	0,2	0,25
Bloc 5	0,7	0,1	0,15	1,2	0,25	0,3
Bloc 6	1	0,2	0,25	1,2	0,25	0,3

On adopte les dimensions suivant pour tous les blocs :

Blocs	semelle d'ange S1			Semelle intermédiaire S2		
	A, B (m)	d(m)	h(m)	A, B (m)	d(m)	h(m)
	1,2	0,25	0,3	2	0,5	0,55

➤ Vérification :

$$\sigma = \frac{N_S}{A \cdot B} \pm \frac{M \cdot V}{I} \leq \sigma_{sol}$$

$$\text{Avec : } I = \frac{B^4}{12} ; V = \frac{B}{2}$$

✓ S1 :

$$\sigma = \frac{490,97}{1,2^2} + \frac{14,92 \times 0,6}{0,172} = 3,92 \text{ bar} < 4 \text{ bar} \quad C.V$$

✓ S2 :

$$\sigma = \frac{930,509}{2^2} + \frac{15,67 \times 1}{1,3} = 2,36 \text{ bar} < 4 \text{ bar} \quad C.V$$

#### VIII.4 Détermination du ferrailage des semelles :

On utilise la méthode de **Bielles** :

➤ S1 :

On prend l'exemple du bloc 4

$$e = \frac{M_S}{N_S} = \frac{14,92}{490,971} = 0,03 \text{ m}$$

$$p'_S = P_S \cdot \left(1 + 3 \cdot \frac{e}{B}\right) = 490,971 \times \left(1 + 3 \times \frac{0,03}{1,2}\right) = 494,653 \text{ Kn}$$

$$p'_U = P_U \cdot \left(1 + 3 \cdot \frac{e}{B}\right) = 675,884 \times \left(1 + 3 \times \frac{0,03}{1,2}\right) = 680,953 \text{ Kn}$$

$$A_a = \frac{P' \cdot (A - a)}{8 \cdot d \cdot \sigma_{ST}} \rightarrow \begin{cases} ELU = 7,25 \text{ cm}^2 \\ ELS = 5,86 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

On adopte **8T12** de section **9,03 cm<sup>2</sup>**

➤ S2 :

On prend l'exemple du bloc 2

$$e = \frac{M_S}{N_S} = \frac{31,53}{930,5} = 0,03 \text{ m}$$

$$p'_S = P_S \cdot \left(1 + 3 \cdot \frac{e}{B}\right) = 930,5 \times \left(1 + 3 \times \frac{0,03}{2}\right) = 972,372 \text{ Kn}$$

$$p'_U = P_U \cdot \left(1 + 3 \cdot \frac{e}{B}\right) = 1287,725 \times \left(1 + 3 \times \frac{0,03}{2}\right) = 1345,672 \text{ Kn}$$

$$A_a = \frac{P' \cdot (A - a)}{8 \cdot d \cdot \sigma_{ST}} \rightarrow \begin{cases} ELU = 15,46 \text{ cm}^2 \\ ELS = 11,18 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

On adopte **8T16** de section **16,08 cm<sup>2</sup>**

➤ Détermination de la hauteur de la patin (e) :

$$e \geq \max(15 \text{ cm}; 6\phi + 6 \text{ cm})$$

$$e \geq 15,6 \text{ cm}$$

On prend **e=16cm**

➤ Longueur de scellement :

$$I_{sa} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{f_e}{\tau_u}$$

$$\tau_u = 0,6 \cdot \varphi^2 \cdot f_{t.28} = 0,6 \times 1,5^2 \times 2,1 = 2,835$$

$$\Rightarrow \tau_u = 56,43 \text{ cm}$$

$$\left( \begin{array}{l} S1: I_{sa} = 56,43 > \frac{A}{4} = 30 \text{ cm} \\ S2: I_{sa} = 56,43 > \frac{A}{4} = 30 \end{array} \right)$$

➤ Espacement :

$$S_t = \frac{B - 10}{n - 1} \rightarrow \left( \begin{array}{l} S1: \frac{120 - 10}{8 - 1} = 15,71 \text{ cm} \rightarrow S_{t.1} = 20 \text{ cm} \\ S2: \frac{200 - 10}{8 - 1} = 27,14 \text{ cm} \rightarrow S_{t.2} = 25 \text{ cm} \end{array} \right)$$

Tableau VIII.3: Récapitulation du calcul des semelles isolées

Blocs		A.B (m <sup>2</sup> )	Ast cal (cm <sup>2</sup> )	Ast choisi (cm <sup>2</sup> )	St (m)
Bloc 2	Semelle d'angles S1	1,2x1,2	<b>6,35</b>	<b>6T12 (6,79)</b>	0,2
	Semelle intermédiaire S2	2x2	<b>15,46</b>	<b>8T16 (16,08)</b>	0,25
Bloc 3	Semelle d'angles S1	1,2x1,2	<b>5,89</b>	<b>6T12 (6,79)</b>	0,2
	Semelle intermédiaire S2	2x2	<b>7,86</b>	<b>6T14 (9,24)</b>	0,25
Bloc 4	Semelle d'angles S1	1,2x1,2	<b>7,25</b>	<b>8T12 (9,03)</b>	0,2
	Semelle intermédiaire S2	2x2	<b>4,34</b>	<b>4T14(6,16)</b>	0,25
Bloc 5	Semelle d'angles S1	1,2x1,2	<b>2,58</b>	<b>6T12 (6,79)</b>	0,2
	Semelle intermédiaire S2	2x2	<b>8,7</b>	<b>6T14(9,24)</b>	0,25
Bloc 6	Semelle d'angles S1	1,2x1,2	<b>7,77</b>	<b>8T12 (9,03)</b>	0,2
	Semelle intermédiaire S2	2x2	<b>5,29</b>	<b>4T14(6,16)</b>	0,25

### VIII.5 Etude de la longrine :

D'après le **RPA99V2003** dans un site rocheux (S1) et dans la zone I (Tlemcen) les longrines ne sont pas exigées. Mais Les points d'appuis d'un bloc doivent être solidarités par un réseau bidirectionnel de longrines qui s'opposent au déplacement relatif de ces points dans le plan horizontal. Dans ce cas on adopte une section des longrines de **(40x30) cm<sup>2</sup>**.

#### VIII.5.1 Calcul du ferrailage de la longrine :

On prend le ferrailage minimal du **RPA99V2003** qu'égal **0,6% de la section** avec des cadres dont l'espacement est inférieur au **min (20cm ; 15Φ)**.

$$A_s = 0,6\% \cdot B = 0,006 \times (40 \times 30) = 7,2 \text{ cm}^2$$

On adopte une section de ferrailage de **6T14 (9,24cm<sup>2</sup>)**.

- Condition de non fragilité :

$$A_s \geq \frac{B \cdot f_{t28}}{400} = \frac{0,3 \times 0,4 \times 2,1}{400} = 6,3 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 7,2 \text{ cm}^2 > 6,3 \text{ cm}^2 \quad C.V$$

- Calcul du ferrailage transversal :

En traction les armatures transversales n'ont aucun rôle dans la résistance de la pièce, donc le choix de la section sera : **A<sub>t</sub> = 3Ø8 = 1,51 cm<sup>2</sup>**

- Espacement des cadres :

D'après le **RPA 99 V 2003** on a :

$$S_t \leq \min(15\phi l ; 20 \text{ cm})$$

$$\Rightarrow s_t \leq \min(15 \times 1,4 ; 20 \text{ cm})$$

On prend : **S<sub>t</sub> = 20 cm**.

## Conclusion :

Notre projet consiste à faire une étude architecturale et béton armé d'un bâtiment à usage scolaire (lycée) composé de blocs classes, administration et un logement de fonction, implanté à Boujilda dans la wilaya de Tlemcen.

Tout d'abord une étude bibliographique comportant des études architecturales de lycées est faite afin d'avoir des informations sur les projets réalisés précédemment.

Ensuite une deuxième partie présente la solution architecturale obtenue à partir de l'analyse thématique et l'étude du terrain. Cette solution est composée de six blocs de(R+1) plus un bloc de logement de fonction.

En troisième partie, un prédimensionnement et descente de charges est faite afin qu'on puisse entamer la partie modélisation de notre projet en utilisant le logiciel SAP2000. par la suite, la méthode dynamique modale spectrale est choisie pour déterminer les sollicitations des blocs vis-à-vis le mouvement sismique.

A la fin et sur la base des données du rapport du sol, nous avons dimensionné les fondations des différents blocs (coffrage et ferrailage).

Ce projet de fin d'étude, nous a permis de concrétiser l'apprentissage théorique durant notre cycle de formation tout en apprenant les différentes techniques de calcul, les concepts et les règlements régissant dans le domaine étudié. Nous avons saisi combien il est important de bien analyser une structure avant de la calculer, car cette analyse va nous permettre une bonne conception parasismique au moindre coût.

Ce mémoire nous a donné l'avantage de découvrir un peu le monde d'architecture et bien maîtriser des logiciels de dessin assisté par ordinateur (**Auto CAD**) et (**ARCHICAD**), et de calcul (**SAP2000**) pour l'analyse statique de la structure

Les conclusions auxquelles a abouti après ce modeste travail, sont résumées dans ce qui suit :

- ✓ L'analyse programmatique des différents exemples nous a permis d'établir un organigramme fonctionnel dans lequel l'étude des exigences de flexibilité spatiale a engendré l'établissement de l'organigramme spatial.
- ✓ La recherche bibliographique, l'analyse thématique et celle du site a permis de faire une conception architecturale
- ✓ Dessinée le plan de lycée en 2D avec **AUTOCAD** et les façades et plan 3D avec **ARCHICAD**
- ✓ Concernant le choix du plancher, nous avons opté des planchers corps creux.
- ✓ La nécessité des voiles dans notre bâtiment pour améliorer le comportement de la structure durant le séisme.
- ✓ L'étude de l'infrastructure est conçue des semelles isolées sous les poteaux pour les blocs.

En raison de cette conception architecturale on a pris des nouveaux termes comme : genèse, zoning, skyline, programme, organigramme spatial ....

Et on peut comme faire l'analyse des exemples, l'analyse du terrain, genèse, on a la chance de connaître mieux les logiciels des architectes comme AUTOCAD et ARCHICAD.

Dans la partie génie civil on a assuré les informations qu'on a acquises pendant toute la durée de notre formation dans l'université (pre-dimensionnement, vérification de la sécurité, SAP200...)

En fin, nous espérons que ce projet de fin d'étude sera pour nous un point de départ pour entamer d'autres études dans le cadre de la vie professionnelle.

### **Les recommandations :**

Nous avons grandement bénéficié de cette petite expérience qui a confirmé qu'il y a une grande relation entre l'architecte et l'ingénieur mais chacun son rôle l'ingénieur ne peut pas remplacer l'architecte et vice versa.

Nous suggérons de ce fait l'intégration dans la formation d'ingénieur des ateliers qui puissent nous rapprocher plus du monde de l'architecture, de son vocabulaire... ce qui permettra forcément à une meilleure production du bâti du point de vue structurelle. A reformuler

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- [1] : Patrice Novarina conférence sur le thème de l'ingénieur et innovation
- [2] : D'après le site web <http://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/lyc%C3%A9e/66977> consulté le 19 janvier 2018
- [3] : D'après <https://lycee.ca/fr/quest-ce-quun-lyc%C3%A9e> consulté le 19 janvier 2018
- [4] : (<http://www.cerclealgerianiste.fr/index.php/archives/encyclopedie-algerianiste/culture/enseignements/primaire/363-l-enseignement-en-algerie-avant-1962>)
- [5] : [http://alger-roi.fr/Alger/ben\\_aknoun/pages\\_liees/45\\_%20lycee\\_%201886.htm](http://alger-roi.fr/Alger/ben_aknoun/pages_liees/45_%20lycee_%201886.htm) consulter le 30/01/2018
- [6] : ([https://www.memoireonline.com/07/08/1295/m\\_education-croissance-algerie-analyse-causalite-modeles-var1.html](https://www.memoireonline.com/07/08/1295/m_education-croissance-algerie-analyse-causalite-modeles-var1.html))
- [7] : D'après les indications fournies par le Ministère de l'éducation nationale d'Algérie (site web : <http://www.meducation.edu.dz/men/>) et les données de « L'évaluation de l'éducation pour tous à l'an 2000 : Rapport des pays » de L'UNICEF. Consulte le 30/01/2018
- [8] : LOI D'ORIENTATION SUR L'EDUCATION NATIONALE : L'enseignement secondaire général et technologique ministère de l'éducation en Algérie
- [9] : D'après le site web : <http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/internat> consulter le 31/01/2018
- [10] : NORMES DE CONSTRUCTION DES BATIMENTS SCOLAIRES .MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE ET DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE .pdf
- [11] : Construction du lycée Robert Schuman Charenton (94) - Puca disponible sur : [www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/MONO-UR-2011-BATEX-Schuman-print.pdf](http://www.urbanisme-puca.gouv.fr/IMG/pdf/MONO-UR-2011-BATEX-Schuman-print.pdf), consulté le 27/01/2018.
- [12] : <http://papidoc.chic-cm.fr/31effetcouleurs.html>
- [BAEL, 91] Jean-pierre Mougin, béton Armé aux Etats Limites 91 modifié 99, deuxième Edition Eyrolles 2000.
- [RPA, 2003] Règles Parasismique Algérienne RPA99 version 2003.
- [DTR2.2, 88] Charges Permanentes et Charges d'Exploitation, DTR B.C 2.2, GCS1988.

**ANNEXE A : PLANS  
ARCHITECTURAUX**

# ANNEXE B : PLANS GÉNIE CIVIL