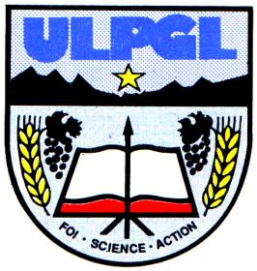
UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS
FACULTE DE SCIENCES ET TECHNOLOGIES APPLIQUEES/LMD
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



BP. 368 GOMA
www.ulpgl.net

PRISE EN COMPTE DE L'ISOLATION ACOUSTIQUE DANS LE DIMENSIONNEMENT D'UNE BIBLIOTHEQUE PUBLIQUE A GOMA

Par **ROGER MUKULUMANIA Zangilwa**

Travail présenté et defendu en vue de l'obtention du Diplôme de Licence en Sciences et Technologies

Option : Génie civil
Directeur : Dr. ALINABIWE Aly
Encadreur : Ing SYAITSUTWA Patrick

ANNEE ACADEMIQUE 2024 - 2025

EPIGRAPHE

« Le silence est l'élément dans lequel se forme toute les grandes choses »

Thomas Carlyle

DEDICACE

A ma famille MUKULUMANIA

Roger Mukulumania Zangilwa

REMERCIEMENTS

Je rends grâce à Dieu Tout-Puissant, source de sagesse et de force, qui m'a accompagné tout au long de ce parcours académique. Mes remerciements s'adressent aux autorités académiques de l'Université Libre des Pays des Grands Lacs pour le cadre d'apprentissage offert. J'exprime ma profonde gratitude à mon directeur, Dr. Ir Ally ALINABIBWE, et à mon encadreur, Ing. Patrick SYAITSUTWA, pour leur disponibilité, leurs conseils avisés et leur accompagnement patient. Je remercie mes parents, Désiré MUKULUMANIYA et Marthe NGALYA WABENGA, pour leurs sacrifices et leur soutien indéfectible. Ma reconnaissance va également à mon oncle MWANGU Paulestin, pour son soutien moral et financier précieux, à ma sœur Alice SALAMA MUKULUMANIA et à mon frère Patrick KIZIBA, pour leurs encouragements constants, ainsi qu'à toute la famille MUKULUMANIA. Je remercie particulièrement l'Ingénieur CHUBWE JUSTIN pour ses conseils techniques et mon ami Nshimiye DEDIEU pour son appui. Enfin, à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à ce travail, trouvez ici l'expression de ma sincère reconnaissance.

Roger Mukulumania Zangilwa

RESUME

Face à l'expansion démographique de Goma et au manque d'infrastructures culturelles, ce projet propose la conception d'une bibliothèque publique **R+2 en béton armé** sur le site de SOTRAKI, alliant sécurité structurelle et confort acoustique selon les standards **IFLA-UNESCO**. La démarche s'appuie sur une campagne de mesures révélant un niveau sonore extérieur critique de **75 dB(A)**. L'étude technique intègre un levé topographique et un dimensionnement selon les règles **BAEL 91** et les **normes NF**, utilisant la méthode des surfaces d'influence pour les éléments porteurs et les principes de la loi de masse pour l'isolation acoustique. Sur le plan structural, l'analyse révèle un effort ultime de **747,2 kN** en pied du poteau le plus sollicité, justifiant un ferraillage de **4 HA12**. La poutre principale de 8,5m, optimisée à une hauteur de **60 cm** pour respecter l'ELS, supporte des moments maximaux de **238,2 kNm** en travée (6 HA16) et **293,4 kNm** sur appui (8 HA16), avec une flèche maîtrisée de **0,34 cm**. Parallèlement, la réponse acoustique assure un environnement propice à l'étude : l'usage de murs en briques d'argile de **22 cm** (R = 47,6 dB), de doubles vitrages (R = 35 dB) et de portes performantes permet d'atteindre un indice d'affaiblissement global de **40,3 dB**. Ce dispositif garantit un niveau sonore intérieur de **34,8 dB(A)**, respectant le seuil de le 35 dB(A). Pour le confort interne, l'installation de **150 m^2 de panneaux absorbants** a permis de ramener le temps de réverbération de 8 secondes à **0,89 seconde**. L'isolation est complétée par des systèmes masse-ressort-masse intégrant **40 mm de laine de roche** en plancher et **80 mm de laine de verre** en toiture. Ce travail démontre la faisabilité d'un édifice moderne à Goma, offrant des notes de calcul et des plans de ferraillage directement exploitables pour une future réalisation.

Mots-clés : Béton armé, bibliothèque publique, analyse structurale, isolation acoustique.

ABSTRACT

In response to Goma's rapid population growth and high literacy rates, which contrast with a severe shortage of modern cultural infrastructure, this thesis presents the structural and acoustic design of a three-story (G+2) reinforced concrete public library on the SOTRAKI site. The primary objective is to deliver a building that ensures both structural safety and acoustic comfort, in compliance with IFLA-UNESCO guidelines and current engineering standards. A multidisciplinary methodology was adopted, in situ acoustic measurements revealing a maximum outdoor noise level of **75 dB(A)**, a topographic survey, and a structural analysis based on **BAEL 91** and **French NF standards**. Structural elements were sized manually using the influence surface method, while the acoustic study employed the mass law and mass-spring-mass systems to quantify partition and floor insulation. The structural results indicate an ultimate load of **747.2 kN** at the base of the most critical column, requiring a minimum reinforcement of **4 HA12**. The continuous main beam, optimized to a height of **60 cm** to meet Serviceability Limit State (SLS) criteria, exhibits a maximum span moment of **238.2 kNm** (reinforced with 6 HA16) and a support moment of **293.4 kNm** (reinforced with 8 HA16), with a calculated deflection of **0.34 cm**, well below the 1.7 cm limit. Acoustically, the combination of **22 cm** fired clay brick walls (R = 47.6 dB), high-performance doors (R = 32 dB), and double glazing (R = 35 dB) achieves an overall facade sound reduction index of **40.3 dB**. This ensures an indoor noise level of **34.8 dB(A)** in reading rooms, meeting the required threshold of le 35dB(A). Furthermore, the reverberation time was reduced from 8 seconds to **0.89 seconds** through the addition of **150 m^2 of absorbent panels**. Floor and roof insulation via mass-spring-mass systems were validated using **40 mm of rock wool** and **80 mm of glass wool**, respectively. This work demonstrates the technical feasibility of a library in Goma that harmonizes structural integrity with acoustic excellence, providing detailed calculation notes and reinforcement plans for future implementation.

Keywords: Reiforced concret, Public librairy, structural analysis, acoustic insulation

SIGLES ET ABREVIATIONS

IFLA	Fédération Internationale des Associations de Bibliothécaires
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
CNB	Commission du Bruit (réglementation acoustique française)
BAEL 91	Règles de calcul du Béton Armé aux États Limites (version 1991 révisée 1999)
RPA 2003	Règles Parasismiques Algériennes (2003)
ELU	État Limite Ultime
ELS	État Limite de Service
ELUR	État Limite Ultime de Résistance
ELUSF	État Limite Ultime de Stabilité de Forme
B.A.	Béton Armé
R+1	Rez-de-chaussée + un étage
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
dB	Décibel
Hz	Hertz
Rw	Indice d'affaiblissement acoustique pondéré
TR	Temps de Réverbération
ISO	Organisation internationale de normalisation
SIA	Société suisse des ingénieurs et des architectes
NF	Norme Française
EN	Norme Européenne
RN	Route Nationale
RN4	Route Nationale n°4
G	Actions permanentes (charges)
Q	Actions variables (charges)

FA	Actions accidentelles
GPS	Global Positioning System
ULPGL	Université Libre des Pays des Grands Lacs
SOTRAKI	Nom du terrain d'étude (site)
fc28	Résistance caractéristique du béton à 28 jours
ftj	Résistance caractéristique du béton à la traction à j jours
fcj	Résistance caractéristique du béton à la compression à j jours
Lx	Longueur de la dalle (direction la plus longue)
Ly	Largeur de la dalle
α (dalle)	Élancement d'une dalle (rapport Lx/Ly)
e	Épaisseur
h	Hauteur
b	Largeur
Lmax	Portée maximale
Lf	Longueur de flambement
Lo	Hauteur libre du poteau
λ	Élancement (pour le flambement)
i	Rayon de giration
I	Moment d'inertie
S	Section
C	Côté d'un poteau carré
Nu	Effort ultime (pour les fondations)
σ_sol	Contrainte admissible du sol
Bx, By	Dimensions en plan de la semelle
Ax, Ay	Dimensions du poteau
H	Hauteur de la semelle
h (escalier)	Hauteur de la marche
g	Giron (escalier)

n	Nombre de contremarches
m	Nombre de marches
α (escalier)	Inclinaison de la paillasse
Linc	Longueur inclinée de la paillasse
G_max	Ensemble des actions permanentes défavorables
G_min	Ensemble des actions permanentes favorables
Q1	Action variable de base
Qi	Autres actions variables d'accompagnement
γ	Coefficient de pondération des actions
φ	Coefficient de combinaison pour les actions variables
R (acoustique)	Indice d'affaiblissement acoustique
τ	Coefficient de transmission
li	Intensité acoustique incidente
lt	Intensité acoustique transmise
lo	Intensité acoustique absorbée
α (acoustique)	Coefficient d'absorption
Z	Impédance acoustique
D	Rigidité de la paroi
E	Module de Young
υ	Coefficient de Poisson
Tr (acoustique)	Temps de réverbération
D_nT,A,Tr	Isolement acoustique standardisé
L1	Niveau de pression acoustique dans le local d'émission
L2	Niveau de pression acoustique dans le local de réception

TABLES DES MATIERES

Table des matières

EPIGRAPHE i

DEDICACE ii

REMERCIEMENTS iii

RESUME iv

ABSTRACT v

SIGLES ET ABREVIATIONS vi

TABLES DES MATIERES ix

LISTES DES FIGURES xii

LISTE DES TABLEAUX xiii

INTRODUCTION GENERALE 1

I GENERALITES 2

I.1 Introduction 3

I.2 Les bibliothèques 3

I.2.1 Définition 3

I.2.2 Types des bibliothèques 3

I.2.3 Historique des bibliothèques publiques 4

I.2.4 Programme fonctionnel et spatial 5

I.3 Le béton armé 5

I.3.1 Définition 5

I.3.2 Composition du béton armé [9] 5

I.4 Notions fondamentales de l'analyse structurale des bâtiments 7

I.4.1 Introduction 7

I.4.2 Les sollicitations élémentaires et comportement mécanique [10] 7

I.4.3 Notion des états limites [10] 9

I.4.4 Action et sollicitation [10] 9

I.5 Généralité sur l'isolation acoustique des bâtiments 10

I.5.1 Petite Historique d'isolation acoustique 10

I.5.2 Concepts fondamentaux en acoustique 11

I.5.3 Les matériaux d'isolation acoustique 17

I.5.4 Les méthodes d'isolation acoustique 22

I.6 Conclusion partielle.....25
II : METHODOLOGIE DE TRAVAIL.....25
II.1 INTRODUCTION.....26
II.2 Présentation du milieu d'étude.....26
II.3 Conception architecturale du plan.....27
II.3.1 Caractéristiques géométriques du plan et justification des choix.....27
II.3.2 Organisation des espaces et justification de choix.....28
II.4 Normes et réglementation.....33
II.4.1 Normes structurales.....33
II.4.2 Normes acoustiques.....33
II.5 Choix de Matériaux et techniques de constructions [26].....34
II.6 Analyse acoustique.....37
II.6.1 Collecte des données acoustiques.....37
II.6.2 Hypothèses de modélisation.....39
II.6.3 Détermination de l'Indices d'affaiblissement acoustique [15].....40
II.6.4 Détermination du temps de réverbération [15].....40
II.6.5 Isolement acoustique standardisé [15].....41
II.6.6 Calculs des Niveaux sonores à l'intérieur du bâtiment [15].....41
II.7 Analyses structurales.....43
II.7.1 Analyse statique.....43
II.8 Conclusion partielle.....67
III PRESENTATION DES RESULTATS DES CALCULS ACOUSTIQUES ET STRUCTURALS.....67
III.1 Introduction.....68
III.2 CALCULS ACOUSTIQUE.....68
III.2.1 Hypothèses de calcul.....68
III.2.2 Données d'entrée.....69
III.2.3 Détermination de l'indice d'affaiblissement acoustique.....70
III.2.4 Isolement aux bruits d'impact (bruit solidien).....72
III.2.5 Calcul du temps de réverbération dans la salle selon la formule II-3.....75
III.3 Analyse structural.....77
III.3.1 Pré dimensionnement des éléments structuraux.....77

III.3.2 Evaluation des charges 80

III.3.3 Dimensionnement des éléments de la structure 86

III.4 Conclusion partielle 101

CONCLUSION GENERALE 102

Bibliographie 104

Annexes 106

LISTES DES FIGURES

Figure I-1 Type(sources) des bruits [12] 13
Figure I-2 image d'un sonomètre [17] 14
Figure I-3 principe de la reflexion la transmission et l'absorption [18] 15
Figure I-4 Plaque absorbante [4] 16
Figure I-5 image montrant l'itulisation de laine de roche [20] 18
Figure I-6 usages de laine de verre dans l'isolation de toiture [20] 19
Figure I-7 image Mousse synthétique [19] 20
Figure I-8 Principe de doublage acoustique (image d'exemple) [18] 22
Figure I-9 Principe de double parois avec lame d'air [18] 23
Figure II-1 Image satellite du terrain SOTRAKI depuis Google earth 27
Figure II-2 Géométrie du terrain Sotraki 28
Figure II-3 coupe transversale du Mur extérieur 35
Figure II-4 coupe transversale du plancher de la bibliothèque 36
Figure II-5 Principe d'isolation d'une toiture [18] 37
Figure II-6 auto-Répartition des point des mesurage des bruit avec microphone calibré sur terrain 39
Figure II-7 Semelle isolée (image en 3d) 47
Figure II-8 Coupe longitudinale d'un escalier 48
Figure II-9 Ferme de la toiture parallèle au plan de coupe BB 50
Figure II-10 image du plancher en coupe longitudinale 51
Figure II-11 surface d'influence de panneau portant dans un seul sens [30] 53
Figure II-12 surface d'influence des panneaux portant dans les deux sens [30] 53
Figure II-13 Formules de calcul des moments des panneaux réelles continues [34] ... 56
Figure II-14 Valeurs minimales des moments à plus de 2 travées 59
Figure III-1graphique d'évolution de l'épaisseur en fonction de la performance du parois due à la frequence 73
Figure III-2 graphique de l'évolution de l'épaisseur de la laine de roche en fonction de la fréquence 74
Figure 0-1 containte admissible de sol [31] ..... - 4 -
Figure 0-2 image rendu 3d (1)du batiment ..... - 11 -
Figure 0-3mage rendu 3d (2)du batiment ..... - 11 -
Figure 0-4mage rendu 3d (3)du bâtiment ..... - 12 -
Figure 0-5 image rendu 3d (4)du bâtiment ..... - 12 -

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1 durée de réverbération de certaine salle [2] 15
Tableau I-2 coefficients d'absorption des matériaux selon une fréquence en bande d'octave [15] 20
Tableau II-1 Organisation des espace dans la bibliothèque (organigramme de la conception architecturale) 30
Tableau II-2 Niveaux sonores de référence pour les infrastructures routières [27] 37
Tableau II-3 valeur réelles des mesures des bruits sur terrain 38
Tableau II-4 Niveau sonore admissible selon la CNB [27] 38
Tableau II-5 Type de Zone sismique [28] 47
Tableau II-6 tableau de pré dimensionnement d'une semelle isolée 48
Tableau II-7 valeur des charge d'exploitation [28] 52
Tableau II-8 tableau de calcul du coefficient μx et μy [30] 56
Tableau II-9 Domaine de validité des méthodes de calcul 58
Tableau II-10 Calculs des moments de l'escalier 65
Tableau III-1 données d'entrée 69
Tableau III-2 surface des ouvertures 69
Tableau III-3 composition du mur extérieur du bâtiment 70
Tableau III-4 indice d'affaiblissement minimale des portes calculés 70
Tableau III-5 performance de vitre de le fenêtre donnée par CNB [27] 71
Tableau III-6 contribution des éléments à la transmission sonore globale 71
Tableau III-7 calcul itératif de l'épaisseur de la laine de verre pour l'isolation de la toiture 72
Tableau III-8 Itération sur l'épaisseur de laine de roche 74
Tableau III-9 calcul de la réverbération initiale de la salle 75
Tableau III-10 itération sur les panneaux absorbant (α=0,9) 76
Tableau III-11 Récapitulatif du dimensionnement acoustique 76
Tableau III-12 Pré dimensionnement Poteaux 78
Tableau III-13 Calcul des charges des toiture 80
Tableau III-14 Charge sur dalle 81
Tableau III-15 Evaluation des charges influencées par la dalle sur la poutre 82
Tableau III-16 Poids propre de la poutre en étude 82
Tableau III-17 Evaluation des charges dues par les murs sur la poutre 82
Tableau III-18 tableau des charges appliquée à la poutre 83
Tableau III-19 évaluation des charge de toiture sur le poteau en étude 83
Tableau III-20 évaluation des charge de l'étage sur le poteau en étude 83
Tableau III-21 Evaluation des charges de la RDC sur le poteau en étude 84
Tableau III-22 Charges cumulées résultant de la descente des charges 84
Tableau III-23 Evaluation des charges de la paillasse 85
Tableau III-24Evaluations des charges du palier de repo 85
Tableau III-25Combinaison des charges de la paillasse et du palié 86
Tableau III-26 coefficient de réduction μx et μy 87
Tableau III-27 Moments isostatiques de la dalle 87

Tableau III-28 Moments en travées et aux appuis de la dalle..... 87
Tableau III-29 Section d'armatures de la dalle suivant x..... 88
Tableau III-30 Condition de non-fragilité et vérification en ELS de la dalle suivant x..... 88
Tableau III-31 Choix et espacement des armatures de la dalle suivant x..... 88
Tableau III-32 Section d'armatures de la dalle suivant y..... 89
Tableau III-33 Condition de non-fragilité et vérification en ELS de la dalle suivant y..... 89
Tableau III-34 Section d'armatures de la dalle suivant..... 89
Tableau III-35 détermination de αi..... 90
Tableau III-36 calcul de moment fléchissant isostatique en travée..... 90
Tableau III-37 Moment en travée et aux appuis de la poutre..... 90
Tableau III-38 Calcul du moment réduit de la poutre et du moment réduit limite..... 91
Tableau III-39 Section d'armature de la poutre..... 91
Tableau III-40 Condition de non-fragilité et vérification en ELS de la poutre..... 91
Tableau III-41 coefficient αi pour la poutre de h=60..... 92
Tableau III-42 calcul de moment fléchissant isostatique en travée..... 92
Tableau III-43 Moment en travée et aux appuis de la poutre (h=60)..... 92
Tableau III-44 Calcul du moment réduit de la poutre et du moment réduit limite (poutre h=60cm)..... 93
Tableau III-45 section d'armature pour la poutre (h=60cm)..... 93
Tableau III-46 Condition de non-fragilité et vérification en ELS de la poutre..... 93
Tableau III-47 Contrainte de compression maximale de la poutre (h=60)..... 94
Tableau III-48 choix des armatures de la poutre (h=60cm)..... 94
Tableau III-49 Efforts tranchants à gauche et à droite de la travée étudiée..... 94
Tableau III-50 Vérification de la flèche en ELS..... 95
Tableau III-51 Section et élancement du poteau..... 95
Tableau III-52 Section d'armatures du poteau..... 96
Tableau III-53 Section d'armatures minimale et maximales du poteau..... 96
Tableau III-54 Diamètre et espacement des armatures transversales du poteau..... 96
Tableau III-55 Dimension de la semelle..... 97
Tableau III-56 vérification au cisaillement 1..... 97
Tableau III-57 vérification au cisaillement 2..... 98
Tableau III-58 vérification au cisaillement finale..... 98
Tableau III-59 Section d'armatures de deux lits de la semelle..... 98
Tableau III-60 Choix d'armatures de la semelle..... 98
Tableau III-61 Calcul de la charge équivalente de l'escalier..... 99
Tableau III-62 Calculs des moments sur l'escalier..... 99
Tableau III-63 Sections d'armatures de l'escalier..... 99
Tableau III-64 Condition de non-fragilité et vérification en ELS de l'escalier..... 99
Tableau III-65 Choix et espacement d'armatures de l'escalier..... 100
Tableau III-66 Efforts tranchants de l'escalier..... 100
Tableau III-67 Valeurs des contraintes tangentielles sur l'escalier..... 100

INTRODUCTION GENERALE

La ville de Goma, capitale provinciale du Nord-Kivu, connaît une croissance démographique rapide qui génère une demande pressante en infrastructures intellectuelles et culturelles. Pourtant, malgré ce besoin manifeste, Goma souffre d'un vide infrastructurel majeur : l'absence d'une bibliothèque publique moderne capable d'offrir un espace de lecture, d'étude et de rencontre accessible à tous. Ce projet vise donc la conception d'un bâtiment R+2 en béton armé sur le terrain Sotraki, une initiative qui s'appuie sur le Manifeste IFLA-UNESCO pour l'accès équitable au savoir, tout en répondant aux standards de confort acoustique indispensables à l'étude.

Cependant, l'implantation d'un tel édifice au cœur de Goma soulève des défis techniques complexes. Le premier est acoustique : quelle épaisseur Du matériau isolant serait efficace pour l'isolation des bruits aériens et solidiens ? Le second est structurel : quelles dimensions des éléments structuraux permettront de résister aux différentes charges auxquelles la structure est soumise ?

Face à ces enjeux, nous émettons deux hypothèses principales. D'une part, le calcul par les lois physiques fondamentales (loi de masse, principe masse-ressort-masse et formule de Sabine) permettrait de déterminer les épaisseurs nécessaires pour l'isolation des différentes parois. D'autre part, le calcul de structure par les méthodes analytiques (BAEL 91, méthode forfaitaire, descente de charges) permettrait de trouver les dimensions requises pour assurer la sécurité de l'ouvrage.

L'objectif général de ce travail est de livrer les documents necessaires à larchitecture et à la structure afin de construire une bibliothèque sécurisée et sereine, dédiée à la lecture et à l'étude. Pour y parvenir, nous poursuivons deux objectifs spécifiques : déterminer les épaisseurs d'isolation acoustique nécessaires pour les différentes parois, et dimensionner l'ensemble des éléments porteurs de la structure (dalles, poutres, poteaux, fondations, escaliers) selon les règles de l'art.

La méthodologie adoptée est pluridisciplinaire. Une campagne de mesures acoustiques via le logiciel REW est menée sur une période de 8 jours pour quantifier les nuisances sonores extérieures. Un levé topographique du site est réalisé par la méthode des pas. L'analyse

structurale statique est effectuée manuellement par la méthode des surfaces d'influence, conformément aux règles BAEL 91. L'analyse acoustique s'appuie sur les lois fondamentales de l'acoustique et les recommandations du CSTB et du CNB.

Ce travail est délimité à l'analyse statique et acoustique, excluant l'étude dynamique (séisme), le dimensionnement de la charpente en bois de toiture, ainsi que les installations de systèmes MEP. Le mémoire s'articule en trois chapitres dont : le premier présente les généralités sur les bibliothèques, le béton armé et l'acoustique ; le deuxième expose le milieu d'étude, les bases méthodologiques et les choix techniques ; le troisième livre les résultats des calculs, incluant les performances acoustiques des parois, les épaisseurs d'isolants retenues et le dimensionnement complet des éléments structuraux.

Chapitre I : GENERALITE SUR LES BIBLIOTHEQUE, L'ANALYSE STUCURALE ET ACOUSTIQUE

I.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des notions générales nécessaires à la compréhension du travail. Il aborde successivement les bibliothèques publiques, le béton armé, l'analyse structurale et l'acoustique du bâtiment.

I.2 Les bibliothèques

I.2.1 Définition

Une bibliothèque publique est définie par l'IFLA (Fédération Internationale des Associations de Bibliothécaires) comme un centre d'information qui met à la disposition de ses usagers les connaissances et les informations de toute nature [1].

Ses missions fondamentales sont :

- L'éducation et l'apprentissage tout au long de la vie.
- L'accès à l'information sous toutes ses formes.
- Le développement culturel (promotion de la lecture, animations).
- L'inclusion sociale en étant un lieu d'accueil ouvert à tous, sans discrimination.
- La préservation du patrimoine écrit local.

I.2.2 Types des bibliothèques

Les bibliothèques peuvent être classées selon plusieurs critères, notamment leur fonction, leur public cible, leur mode de gestion et leur contenu documentaire. Cette classification permet de mieux comprendre les exigences propres à chaque type de bibliothèque, en particulier en matière de conception architecturale, structurelle et acoustique [2]

A. Bibliothèque publique

La bibliothèque publique est un équipement culturel ouvert à l'ensemble de la population, sans distinction d'âge, de niveau d'instruction ou de statut social. Elle a pour mission principale de garantir l'accès libre à l'information, à la lecture et au savoir, et constitue un élément essentiel du développement culturel et éducatif d'une communauté [3].

B. Bibliothèque universitaire [4]

La bibliothèque universitaire est destinée principalement aux étudiants, enseignants et chercheurs. Elle est généralement rattachée à une université ou à un institut supérieur et possède un fonds documentaire spécialisé orienté vers l'enseignement et la recherche.

C. Bibliothèque spécialisée [4]

Les bibliothèques spécialisées sont dédiées à un domaine précis tel que le droit, la médecine, l'ingénierie ou les sciences. Elles sont généralement destinées à un public restreint et qualifié.

D. Bibliothèque numérique ou hybride

Les bibliothèques numériques ou hybrides combinent des collections physiques et des ressources numériques accessibles à l'aide des technologies de l'information. Ce type de bibliothèque tend à se développer avec l'évolution des usages et des outils numériques [3].

I.2.3 Historique des bibliothèques publiques

L'histoire de bibliothèque est intimement liée à la connaissance [5]

L'idée que le savoir doit être partagé se répand. Des bibliothèques publiques commencent à émerger.

Le XIXe siècle, C'est le siècle de la naissance et de l'essor des bibliothèques publiques modernes, notamment sous l'impulsion de réformateurs comme Melvil Dewey et grâce à des lois comme le Public Librairies Act de 1850 au Royaume-Uni [6].

La mission n'est plus seulement de conserver, mais aussi d'éduquer et de divertir le plus grand nombre. Le XXe et XXIe siècles, Les bibliothèques évoluent vers des troisièmes lieux (Ray Oldenburg), des espaces sociaux et culturels vivants, intégrant les technologies de l'information. Elles deviennent des centres de ressources multimédias, des lieux de travail collaboratif, de formation et d'animation culturelle, tout en conservant leur mission fondamentale de garant de l'accès à l'information pour tous [7].

I.2.4 Programme fonctionnel et spatial

La conception d'une bibliothèque moderne répond à un programme précis qui organise les espaces en zones d'activités [8]:

- **Zone d'accueil et de renseignements** : Point central pour l'orientation des usagers.
- **Zone de collections (livres, périodiques, multimédias**)
- **Zone de lecture** : Différenciée en espaces calmes, espaces de lecture détente et espaces de travail en groupe.
- **Zone pour publics spécifiques** : Espace jeunesse, espace adolescents, section locale.
- **Zone de travail et d'administration** : Bureaux, salle de traitement des documents.
- **Zone des services communs** : Sanitaires, vestiaires.

Les normes d'espacement sont cruciales. Neufert et le CNB recommandent, par exemple, une surface nette d'environ 2.25 à 2.50 m² par lecteur en salle de lecture, et des distances entre tables de 1.20 à 1.50 m pour garantir confort et intimité acoustique relative [2].

I.3 Le béton armé

I.3.1 Définition

Le béton armé est un matériau composite constitué de béton et de barres d'acier alliant les propriétés mécaniques complémentaires de ces matériaux. Il est utilisé comme matériau de construction, en particulier pour le bâtiment et le génie civil

I.3.2 Composition du béton armé [9]

Le béton armé est principalement constitué de béton et des armature

I.3.2.1 Le béton

Le béton est un matériaux composite, constitué de Granulats durs de diverses dimensions collées entre eux par un liant

1. Composition du béton

Le béton est constitué d'éléments suivants :

- **Le liant**

Nous utilisons le plus souvent le ciment comme liant dans nos constructions.

Le ciment est une matière pulvérulente, formant avec l'eau ou une solution saline une pate

homogène et plastique, capable d'agglomérer en durcissant des substances variées appelées granulat.

❖ **L'eau et les granulats**

Le granulat, qu'on appelle aussi agrégat, est un fragment de roche, d'une taille inférieure à 125mm (sables, gravillons et graviers), destiné à entrer dans la composition des matériaux.

Le rôle des granulats dans un mélange de béton est de permettre de produire un matériau ayant une résistance et une durabilité appropriées avec le moindre coût possible.

L'eau utilisée pour la fabrication des mélanges de béton doit être de l'eau potable dépourvue de toutes impuretés et odeurs.

2. Résistance caractéristique du béton à la compression

La classe de résistance du béton est notée CX/Y avec X la résistance à 28 jours d'une éprouvette cylindrique en béton et Y la résistance à 28 jours d'une éprouvette rectangulaire.

Les bétons classiquement utilisés sont souvent C25/30 ou C30/37 alors que les classe de résistance supérieure sont réservés à des construction de plus grande ampleur.

Pour un dosage courant de 350kg/m^3 de ciment, la caractéristique en compression à 28 jours est estimée à 25 MPa (fc28= 25MPa).

3. Résistance caractéristique du béton à la traction

La traction n'est vraiment pas le domaine d'application favori du béton.

S'il n'est pas armé, le béton peut-être cassant comme du verre lorsqu'il est soumis à la traction, raison pour laquelle le béton armé a été développé car l'acier est très résistant à la traction.

I.3.2.2 **Les armatures pour le béton armé [9]**

Ce sont des aciers fabriqués sous forme de barres cylindriques par laminage à chaud, suivi d'un écrouissage par torsion ou traction améliorant ses propriétés mécaniques. Les barres d'aciers sont toujours enrobées de béton et n'ont entre elles que peu de contacts. Les charges sont appliquées au béton et c'est le béton qui transmet ces charges aux aciers.

1. Caractéristique mécanique de l'acier

❖ **Ductilité :**

C'est un caractère des aciers pour l'armature, c'est son caractère à être maniable(déformable). On doit façonner les armatures pour leur donner la forme convenable.

Ce pliage à froid ne doit pas occasionner de dommage sur la qualité de l'acier c'est-à-dire cet acier doit avoir une certaine ductilité

❖ **Limite d'élasticité des aciers**

Les constructeurs font toujours travailler les barres d'acier à un taux inférieur ou égale à la limite d'élasticité de cet acier. La raison principale est la suivante : « l'allongement dans le sens de l'effort d'une barre s'accompagne toujours d'une contraction transversale ». En conséquence si la limite élastique de l'acier est dépassée, la contraction transversale est très importante et l'armature n'est plus adaptée sa gaine de béton. Ce qui diminue considérablement l'adhérence acier-béton. Dès lors la construction périra à cause de ce manque d'adhérence.

I.4 Notions fondamentales de l'analyse structurale des bâtiments

I.4.1 Introduction

L'analyse structurale est une discipline fondamentale du génie civil qui vise à étudier le comportement des structures soumises à différentes actions. Elle repose sur les lois de la mécanique et de la résistance des matériaux.

L'objectif principal de l'analyse structurale est de déterminer les efforts internes (moments fléchissant, efforts tranchants, efforts normaux), les contraintes et les déformations dans les éléments structuraux. Elle permet également de vérifier la stabilité globale de l'ouvrage. [10]

I.4.2 Les sollicitations élémentaires et comportement mécanique [10]

L'analyse structurale décompose les actions complexes appliquées au bâtiment en sollicitations élémentaires. Ces sollicitations génèrent des efforts internes que le matériau doit absorber pour garantir l'équilibre et la pérennité de l'ouvrage.

I.4.2.1 **Traction et compression (efforts normaux)**

L'effort normal (**N**) agit perpendiculairement à la section transversale de l'élément.

La compression est la sollicitation dominante pour les colonnes (poteaux) d'une structure. Le béton, matériau pierreux par excellence, possède une haute résistance à la compression, ce qui lui permet de supporter les charges gravitaires accumulées depuis la toiture jusqu'aux fondations.

La traction, à l'inverse, tend à allonger l'élément.

Le béton ayant une résistance à la traction très, c'est l'acier de ferraillage qui reprend l'intégralité de ces efforts. Dans un bâtiment, la traction pure est rare, mais elle est présente de manière indirecte dans les zones tendues des poutres et des dalles.

I.4.2.2 **Flexion et le moment fléchissant**

Le moment fléchissant (**M**) résulte des charges perpendiculaires à l'axe des éléments horizontaux (poutres et dalles). Cette courbure crée une distribution de contraintes : une zone comprimée en partie supérieure et une zone tendue en partie inférieure. L'analyse structurale vise ici à calculer le moment maximal pour déterminer la section d'acier nécessaire en zone tendue afin d'éviter la rupture du béton.

I.4.2.3 **Cisaillement et effort tranchant**

L'effort tranchant (**V**) tend à faire glisser deux sections adjacentes l'une par rapport à l'autre. Dans un bâtiment, ce phénomène est critique au droit des appuis (jonction poutre-colonne).

Un effort tranchant excessif peut provoquer des fissures inclinées à 45°, caractéristiques d'une rupture fragile. Le dimensionnement des armatures transversales (cadres et étriers) est la réponse technique permettant de couturer ces fissures potentielles.

I.4.2.4 **La flèche (déformation)**

La flèche correspond au déplacement vertical maximal d'un élément sous charge. Au-delà de la simple résistance, l'analyse structurale doit garantir le Service du bâtiment (État Limite de Service - ELS). Une flèche excessive, même si elle n'entraîne pas l'écroulement, peut provoquer des fissures dans les cloisons, endommager les revêtements et créer un sentiment d'insécurité pour les usagers.

I.4.2.5 **La torsion**

La torsion apparaît lorsqu'une force tend à faire pivoter un élément autour de son axe longitudinal. Dans un bâtiment classique, elle survient principalement dans les poutres de rive ou les éléments asymétriques. Elle génère des contraintes tangentielles qui s'ajoutent à celles du cisaillement, nécessitant un ferraillage spécifique en boucle fermée pour ceinturer la section.

I.4.3 Notion des états limites [10]

Est dit état limite, un état dans lequel se trouve une structure ou un élément de structure tel que s'il est dépassé dans le sens défavorable cette structure ou cet élément de structure ne répond plus aux fonction pour lesquelles elle a été conçue.

On en distingue deux catégories :

- Les états limites service (ELS) et
- Les états limites ultimes (ELU).

I.4.3.1 **Etat limite service (ELS)**

Il s'agit des limites au-delà desquelles le bon fonctionnement en durabilité ou en service de la structure est compromise. Ils concernent certains critères dont le non-respect ne permet pas d'être bien exploité. On distingue :

- Limite de compression du béton ;
- Limite de déformation (limitation des flèches) ;
- Limite d'ouverture des fissures (pour éviter la corrosion très rapide des aciers)

I.4.3.2 **Etat limite Ultime (ELU)**

Les ELU sont des états au-delà desquelles la structure entre en ruine, la structure atteint sa résistance maximale face aux charges, c'est la rupture des éléments porteurs.

I.4.4 Action et sollicitation [10]

A. Actions

Une action est l'ensemble des charges appliquées à une structure et qui entrainent sa

déformation. Nous en distinguons trois type dont :

- **Les actions pérennantes** : symbolisé par la lettre G et représentent les actions dont l'intensité est constante ou qui varie très peu dans le temps, ces actions sont appliquées à la structure pendant toutes sa durée de vie. Elles sont souvent les poids propres de la structure, les charges de la superstructure et d'équipements fixes.
- **Les actions variables** : Elles sont généralement notées Q et représentent des actions dont l'intensité varie dans le temps, Nous pouvons citer les charges d'exploitation, les charges climatiques (action du vent et de la neige), action causée par la variation de la température.
- **Les actions accidentelles** : ces actions proviennent des événements rares, elles sont considérées que si les documents d'ordre publique les prévoient. On peut citer notamment : les séismes, les chocs dues aux accidents des véhicules, les explosions et les actions du feu.

B. Sollicitation

Les sollicitations sont des efforts calculés à partir des actions par les méthodes appropriées. On considère ces notations pour les actions suivantes :

- G_{max} : l'ensemble des actions permanentes défavorables
- G_{min} : L'ensemble des actions permanentes favorables
- Q1 : actions variables de base

Qi : autres actions variables d'accompagnement (avec i> 1).

I.5 Généralité sur l'isolation acoustique des bâtiments

I.5.1 Petite Historique d'isolation acoustique

L'isolation acoustique est une préoccupation ancienne dans l'histoire de la construction, bien que son développement scientifique soit relativement récent. Dès l'Antiquité, les bâtisseurs avaient conscience de l'importance du contrôle du son dans certains édifices tels que les amphithéâtres et les salles de réunion [11]

Au Moyen Âge, l'isolation acoustique était abordée de manière empirique. Les bâtiments religieux et les châteaux utilisaient des tentures, des tapis et des boiseries pour réduire la réverbération du son. Toutefois, ces pratiques n'étaient pas fondées sur des principes scientifiques précis [12]

Au cours du XX^{e} siècle, l'urbanisation et l'industrialisation ont entraîné une augmentation des nuisances sonores, rendant l'isolation acoustique indispensable dans les bâtiments. Des normes et réglementations ont alors été développées pour encadrer la conception acoustique des ouvrages. Aujourd'hui, l'isolation acoustique est un élément fondamental dans la conception des bibliothèques modernes. [13]

I.5.2 Concepts fondamentaux en acoustique

L'acoustique est la science qui étudie la production, la propagation et la perception des sons. Dans le domaine du bâtiment, elle vise à assurer un confort sonore adapté à l'usage des locaux [14]

I.5.2.1 **Le son [15]**

1. Définition

Le son est une onde mécanique qui se propage dans un milieu matériel, généralement l'air. C'est la sensation auditive engendrée par une onde acoustique qui se propage dans un milieu.

2. Type de son

Il est caractérisé par sa fréquence, exprimée en hertz (Hz), et par son intensité, exprimée en décibels (dB). L'oreille humaine perçoit les sons compris entre 20 Hz et 20 000 Hz.

Les sons sont distingués en deux grandes catégories dont le son aigu et le son grave, leur différence réside dans leur intensité et leur fréquence, on distingue généralement **les sons aigus** et **les sons graves**

I.5.2.2 **Le bruit**

1. Définition

Le bruit est une combinaison de sons complexe non harmoniques, cela peut être par exemple les bruits d'un moteur, des bruits routiers, etc. Des niveaux sonores élevés peuvent provoquer une gêne importante, voire des effets négatifs sur la santé. Dans les bibliothèques, il est donc nécessaire de maintenir des niveaux sonores faibles afin de garantir un environnement propice à la lecture et à la concentration. [16]

2. Types et sources des bruits [15]

On distingue principalement deux types de bruits : les bruits aériens, qui se propagent dans l'air (voix, musique), et les bruits solidiens, qui se transmettent à travers les structures (pas, vibrations). Leur maîtrise repose sur des stratégies différentes d'isolation et de traitement acoustique.

A. Bruit aérien [12]

C'est un bruit émis par une source n'ayant pas de contact avec la structure construite (récepteur).

On distingue deux types de bruit aérien :

- Les bruits aérien intérieur (crées par des conversations, la télévision, etc.)
- Les bruits aériens extérieurs (provient de trafics routiers, ferroviaires, des avions, etc.)

B. Bruit solidien

Ils ont comme origine une mise en vibration directe de la structure.

Dans un bâtiment les bruits se propagent dans l'air avant de faire vibrer les parois du local, chaque paroi qui vibre fait en suite vibrer l'air dans les locaux voisins, on parle de bruit solidien.

Dans le bâtiment les bruits solidiens se répartissent en deux grandes catégories

- Les bruits d'impact (bruits de pas, déplacement des meubles, chute d'objet, …)
- Les bruits d'équipements (ascenseur, chaufferie, …)

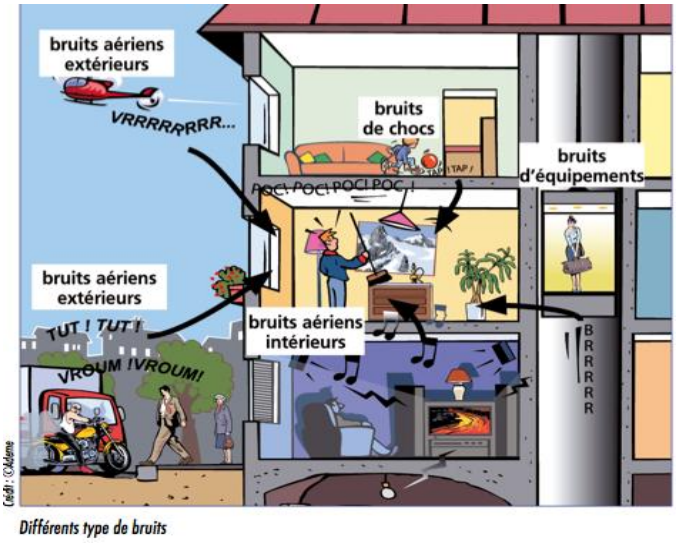


Figure I-1 Type(sources) des bruits [12]

I.5.2.3 **La fréquence [15]**

Est le nombre d'oscillation par seconde, notée f est qui s'exprime en Hertz (Hz).

On appelle physiquement un bruit : un mélange confus de sons élémentaires des différentes fréquences et de pression acoustique variables.

La fréquence du son se divise en trois catégories dont :

- La fréquence basse : elle est comprise entre 30 kHz et 300 kHz
- La fréquence medium : elle est comprise entre 201 Hz et 2000 Hz
- La fréquence grave : elle est comprise entre 20 Hz et 200 Hz

I.5.2.4 **Le décibel(dB)**

Le décibel n'est pas une unité de mesure de quantité, mais une expression logarithmique d'un rapport entre deux puissances. En acoustique, il quantifie le niveau de pression sonore par rapport à un seuil de référence universel fixé à 2.10^{-5} Pa, correspondant à la limite inférieure de l'audition humaine [2].

I.5.2.5 **La résonance**

La résonance constitue un phénomène vibratoire majeur où un système (paroi, colonne, ou volume d'air) se met à osciller avec une amplitude maximale lorsqu'il est excité à sa fréquence

naturelle. La maîtrise des modes de résonance est donc le premier rempart contre la transmission des bruits solidiens [17]

I.5.2.6 **Le sonomètre et sa typologie**

Le sonomètre est l'instrument électro-acoustique dédié à la mesure du niveau de pression acoustique. La norme ISO 61672 classifie ces appareils en deux catégories selon leur précision métrologique. Les sonomètres de Classe 1 présentent une précision de laboratoire, indispensable pour les expertises légales et les recherches scientifiques de haute précision.

Les appareils de Classe 2, bien que présentant une tolérance légèrement plus large, sont les instruments de référence pour les mesures in situ sur les chantiers et les diagnostics environnementaux urbains, offrant un compromis idéal entre fiabilité et praticité sur le terrain [17].



Figure I-2 image d'un sonomètre [17]

I.5.2.7 **Réflexion, Absorption et Transmission [12]**

Le comportement d'une onde sonore à la rencontre d'une paroi est dicté par la loi de conservation de l'énergie.

1. **La réflexion** renvoie l'onde dans le local d'origine, augmentant ainsi le niveau sonore global par superposition.
2. **L'absorption** est la capacité du matériau à piéger une partie de cette énergie par frottement visqueux dans ses pores, transformant le son en chaleur.
3. **La transmission** représente la fraction de l'énergie qui réussit à traverser la paroi pour

se propager dans le local contigu. Pour notre bibliothèque, le béton et la brique d'argile serviront principalement de barrière de transmission, tandis que les traitements de surface viseront l'absorption pour limiter l'écho interne. La Figure I-3 nous illustre le principe de réflexion, absorption et transmission.

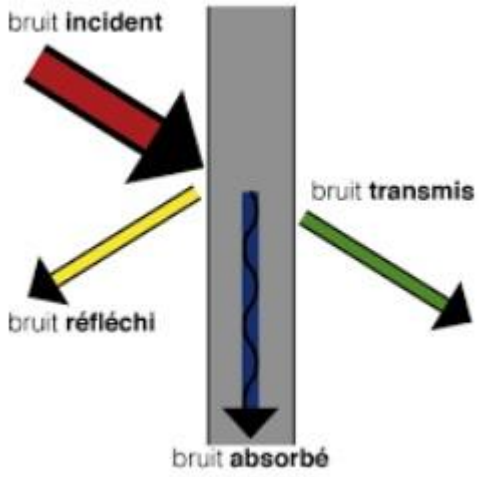


Figure I-3 principe de la reflexion la transmission et l'absorption [18]

I.5.2.8 **Le Temps de Réverbération (Tr)**

Le temps de réverbération est défini comme la durée nécessaire pour que le niveau de pression acoustique diminue de 60 dB après l'extinction de la source sonore. C'est l'indicateur principal de la qualité acoustique interne d'une salle.

Selon Neufert, pour une bibliothèque, ce temps doit être rigoureusement contrôlé et maintenu entre 0,6 et 1,0 seconde pour favoriser l'intelligibilité et le calme [2].

Le Tableau I-1 montre la durée de réverbération selon Neufert de certaine salle.

Tableau I-1 durée de réverbération de certaine salle [2]

Activité	**Durée de reverberation en seonde (s)**
Salle de lecture	0,6 à 1
Salle polyvalente	1 à 1,5
Bureau	0,6
cinéma	0,8 à 1,2
Eglise , cathédrales	2 à 4

Salle de classe	0,5 à 1,2
Studio d'enregistrement audio	0,25 à 0,9

I.5.2.9 **Panneaux d'absorption et typologies (mousse synthétique)**

Pour ajuster le temps de réverbération, l'usage de dispositifs absorbants est nécessaire. Les absorbants poreux (laines, mousses) agissent par dissipation de l'énergie dans les hautes fréquences. [12]

La Figure I-4 montre des plaques absorbantes utilisées dans une salle qui joue aussi un bon rôle dans la beauté architecturale.

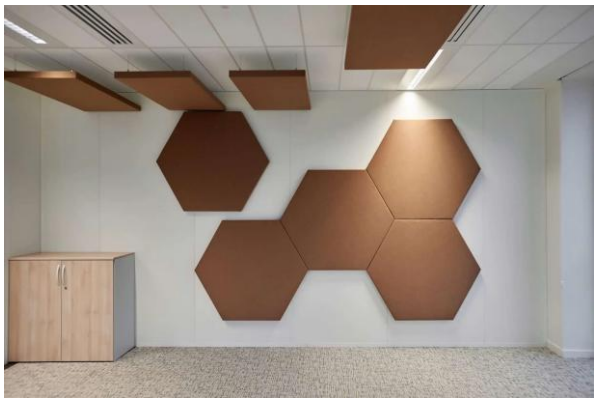


Figure I-4 Plaque absorbante [4]

I.5.2.10 **Le calibrage d'un microphone de mesure**

Le calibrage est l'opération métrologique visant à établir une correspondance exacte entre la tension électrique délivrée par un microphone et la pression acoustique réelle en décibels. L'objectif du calibrage c'est de donner au microphone le comportement d'un sonomètre (on trouve des valeurs approchées du résultat d'un sonomètre gradué).

Cette rigueur permet de transformer un équipement standard en un outil de mesure fiable, capable de fournir des spectres de bruit précis pour l'analyse [17]

I.5.3 Les matériaux d'isolation acoustique

Les matériaux d'isolation acoustique jouent un rôle essentiel dans la réduction des nuisances sonores à l'intérieur des bâtiments. Ils sont choisis en fonction de leurs propriétés d'absorption, d'isolation et de durabilité

I.5.3.1 Les matériaux les plus connues et utilisés dans l'isolation acoustique

1. La laine de roche

La laine de roche est un isolant minéral produit à partir du basalte (roche volcanique) fondu à 1 500 °C puis fibré par centrifugation. C'est le matériau de référence pour l'isolation des bâtiments soumis à de fortes contraintes de densité [2].

- **Propriétés Physiques :** Elle se présente sous forme de panneaux rigides ou semi-rigides. Sa structure est composée de fibres courtes et multidirectionnelles. Sa masse volumique est élevée, oscillant entre **40 kg/m³ et 160 kg/m³**, ce qui lui confère une excellente tenue dans le temps sans tassement [2].
- **Propriétés Acoustiques :** Grâce à sa forte densité, elle excelle dans l'atténuation des basses fréquences (bruits graves). Elle possède un coefficient d'absorption acoustique proche de 1 pour les fortes épaisseurs. Elle est idéale pour l'isolation des bruits d'impact lorsqu'elle est placée sous une chape flottante [19]
- **Propriétés Mécaniques :**

  Résistance à la compression et support de charges : Les panneaux rigides de laine de roche présentent une résistance à la compression pouvant atteindre **20 à 70 kPa** (soit environ 2 000 à 7 000 kg/m²) à 10 % de déformation [2]



Figure I-5 image montrant l'itulisation de laine de roche [20]

2. Laine de verre

La laine de verre est élaborée à partir de sable et de verre recyclé (calcin). Son processus de fabrication par étirage produit des fibres longues et souples enchevêtrées [3].

- **Propriétés Physiques :** Elle est plus légère que la laine de roche, avec une masse volumique variant de **10 kg/m³ à 40 kg/m³**. Elle est principalement conditionnée en rouleaux ou en panneaux souples, ce qui facilite sa mise en œuvre dans les cavités [2].
- **Propriétés Acoustiques :** Elle agit comme un amortisseur de vibrations dans les systèmes à double paroi. Sa structure poreuse à "résistance au passage de l'air" optimisée lui permet de dissiper l'énergie des bruits aériens (voix, musique) dans les moyennes et hautes fréquences [19].
- **Propriétés Mécaniques (Résistance à la compression) :** Pour les applications en plancher, on utilise des panneaux de laine de verre haute densité dont la résistance à la compression (à 10 % de déformation) se situe entre **15 kN/m² et 40 kN/m²** [2]



Figure I-6 usages de laine de verre dans l'isolation de toiture [20]

3. Aperçu sur les autres matériaux

Bien que la laine de roche et la laine de verre soient les plus répandues pour leur rapport performance/coût, d'autres matériaux existent pour des usages spécifiques :

- **Le Polyuréthane et Polystyrène :** Matériaux à cellules fermées, principalement utilisés pour l'isolation thermique. Leur performance acoustique est médiocre car ils sont trop rigides pour absorber les ondes sonores [21].
- **Le Liège expansé :** Matériau naturel dense, efficace pour l'atténuation des bruits d'impact, mais d'un coût plus élevé.
- **Les Mousses acoustiques synthétiques :** Profilées en "pointes de pyramides", elles sont exclusivement dédiées au traitement de la réverbération interne (absorption) et non à l'isolation entre locaux

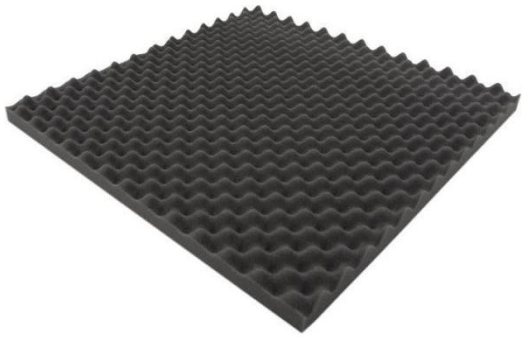


Figure I-7 image Mousse synthétique [19]

Synthèse du comportement des matériaux fibreux

L'efficacité acoustique de ces matériaux repose sur la transformation de l'énergie mécanique du son en chaleur par frottement dans le réseau de fibres. Selon le **Neufert**, l'insertion de ces isolants dans un vide de construction permet d'augmenter l'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi de 5 à 10 dB par rapport à une paroi creuse, évitant ainsi l'effet tambour [2].

Le Tableau I-2nous renseigne plus sur l'indice d'affaiblissement acoustique des plusieurs type des matériaux dont nous n'aurons pas à détailler dans ce travaille

Tableau I-2 coefficients d'absorption des matériaux selon une fréquence en bande d'octave [15]

Type du matériau	125	250	500	1000	2000	4000
Laine minérale densité 1000 kg/m² épaisseur 50mm	0,27	0,62	0,88	0,93	0,81	0,76
Mousse de polyuréthanne flouée épaisseur 15mm	0,13	0,13	0,24	0,70	0,77	0,68
Mousse plastique d'urée formol, densité 6kg/m²- épaisseur 20mm	0,14	0,19	0,31	0,62	0,81	0,72
Fibre de bois compressées densité 230kg/m², épaisseur 20mm	0,15	0,44	0,45	0,44	0,53	0,59

Plâtre perforé irrégulièrement (trous de 20, 11 et 6mm de diamètre, épaisseur 7mm sur laine minérale d'épaisseur 13mm)	0,05	0,18	0,61	0,68	0,39	0,30
Plâtre perforé régulièrement diamètre de perforation 6mm épaisseur 12mm sur laine minérale d'épaisseur 18mm	0,10	0,19	0,42	0,74	0,57	0,34
Tôle 20/10 perforée à 15% sur laine minérale d'épaisseur 30mm	0,26	0,33	0,56	0,79	0,65	0,45
Métal déployé (perforation à 20%) sur laine minérale de 30mm	0,61	0,75	0,73	0,70	0,76	0,67
Bac de polystyrène expansé avec perforation carrées de 15X 15 mm sur laine minérale de 50mm et vide d'air de 10Cm	0,38	0,64	0,68	0,63	0,69	0,53
Bois verni	0,05	0,64	0,68	0,63	0,69	0,53
Chaux sur lattis bois	0,03	0,03	0,33	0,04	0,05	0,05
Crépis	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,17
Chaux sur lattis bois	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
Crépis	0,01	0,03	0,04	0,04	0,08	0,17
Marbre	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05	0,05
Plâtre	0,05	0,07	0,18	0,65	0,75	0,71
Cinq de jute	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04
Linoléum	0,04	0,06	0,08	0,12	0,12	0,17
Linoléum sur isorel	0,03	0,04	0,08	0,12	0,12	0,17
Parquet	0,04	0,04	0,08	0,12	0,10	0,10
Tapis caoutchouc 6,5mm	0,04	0,04	0,08	0,18	0,21	0,22

Tapis liège brut 20mm	0,04	0,03	0,08	0,18	0,21	0,22
Tapis moquette sur thibaude	0,14	0,32	0,45	0,45	0,04	0,35

I.5.4 Les méthodes d'isolation acoustique

L'isolation acoustique d'un bâtiment vise à réduire la transmission des bruits entre deux espaces ou entre l'intérieur et l'extérieur. Dans le cas des bâtiments publics, elle constitue un élément fondamental du confort et de la fonctionnalité des espaces. Les principales méthodes d'isolation acoustique reposent sur la maîtrise de la masse, de la désolidarisation des éléments et de l'étanchéité à l'air. [22]

I.5.4.1 Doublage des Parois

A. Principe

Le doublage des parois consiste à ajouter une seconde paroi intérieure contre un mur existant. Cette paroi est généralement constituée de plaques de plâtre phoniques montées sur une ossature métallique ou collées à l'aide d'un mortier adhésif. L'espace entre la paroi existante et le doublage peut être laissé vide ou rempli par un matériau absorbant [22].

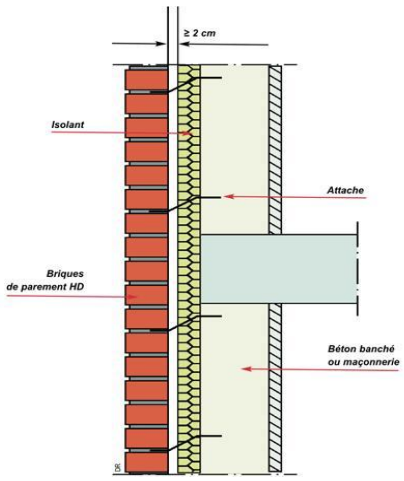


Figure I-8 Principe de doublage acoustique (image d'exemple) [18]

B. Performance acoustique

Les performances du doublage sont nettement améliorées lorsque l'espace intermédiaire est rempli par une sous-couche acoustique, telle que la laine minérale (laine de verre ou laine de roche). Ce matériau absorbe une partie de l'énergie sonore et limite les résonances [23]

I.5.4.2 **Parois double avec lame d'air**

A. Principes

Une paroi double est constituée de **deux parois massives indépendantes**, séparées par une **lame d'air**. Cette configuration est différente du simple doublage, car les deux parois sont structurellement désolidarisées [22]

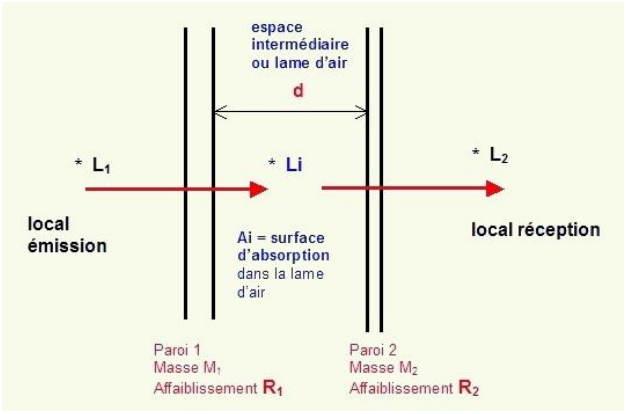


Figure I-9 Principe de double parois avec lame d'air [18]

B. Amélioration par matériaux absorbant [23]

La lame d'air peut contenir un matériau absorbant (laine minérale, fibre de bois), ce qui permet de réduire les phénomènes de résonance et d'augmenter l'efficacité globale de l'isolation acoustique. Ce système permet un affaiblissement acoustique élevé**,** car il limite fortement la transmission des vibrations d'une paroi à l'autre.

I.5.4.3 **Augmentation de la masse des parois**

1. Principe (Lois de masse)

Selon la **loi de masse**, plus un élément de construction est **lourd et épais**, plus il s'oppose à la transmission des bruits aériens. L'affaiblissement acoustique augmente proportionnellement à la masse surfacique de la paroi.

2. Applications courantes

Les matériaux les plus utilisés dans cette approche sont :

- Le béton armé,
- Les briques pleines,
- Les panneaux de gypse à haute densité, etc.

Ces matériaux sont efficaces pour limiter la propagation des bruits extérieurs vers l'intérieur du bâtiment.

I.5.4.4 Isolation acoustique de sol (bruits de choc)

Les bruits de chocs sont générés par les impacts directs sur les planchers. Ils se propagent facilement à travers la structure du bâtiment, notamment dans les constructions en béton armé

Les solutions les plus courantes sont :

- ❖ La pose de sous-couches résilientes sous les revêtements de sol (moquette, parquet flottant) ;
- ❖ La réalisation de planchers flottants, désolidarisés de la structure porteuse par une couche élastique.

Ces techniques visent à absorber l'énergie de l'impact avant qu'elle ne se transmette à la structure, réduisant ainsi les nuisances sonores entre étages [22]

I.5.4.5 Isolation acoustique des plafonds [23]

L'isolation des plafonds repose principalement sur :

- ❖ La mise en place de faux plafonds suspendus intégrant des matériaux absorbants ;
- ❖ La réalisation de plafonds flottants, désolidarisés des poutres ou des dalles.

Ces dispositifs limitent la transmission verticale des bruits, notamment dans les bâtiments à plusieurs niveaux. I

I.5.4.6 Traitement des ouvertures et des joins (Portes et fenêtres)

Les ouvertures constituent des points faibles de l'isolation acoustique bien que cela soient souvent négligées. Les solutions courantes incluent :

- ❖ L'utilisation de double vitrage acoustique ;

- La mise en place de joints périphériques étanches autour des cadres.

Les objectifs acoustiques pour une bibliothèque sont généralement les suivants :

Niveau sonore équivalent moyen dans les salles de lecture : **30-35 dB(A).**

Temps de réverbération (TR) dans les salles de lecture : **0.6 à 1.0 seconde.** [18]

I.6 Conclusion partielle

Cette partie a permis de présenter les notions essentielles relatives au béton armé et à l'isolation acoustique des bâtiments. L'analyse des avantages et des désavantages du béton armé montre que, malgré ses performances mécaniques et acoustiques intéressantes, son utilisation nécessite une conception rigoureuse et des traitements complémentaires.

L'étude historique et conceptuelle de l'acoustique met en évidence l'importance du confort sonore dans les bibliothèques publiques. Les matériaux et les méthodes d'isolation acoustique constituent des outils indispensables pour répondre aux exigences fonctionnelles de ce type de bâtiment. Ces éléments théoriques constituent une base solide pour la suite du travail, qui portera sur l'analyse structurale et acoustique appliquée à la bibliothèque publique de Goma.

Chapitre II : METHODOLOGIE DE TRAVAIL

II.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous présentons en bref le site choisi où pourrait être érigé notre bâtiment après son étude, nous présentons aussi toutes les bases de calculs en passant par la présentation des différentes caractéristiques des matériaux utilisés pour le dimensionnement structurelle et acoustique du bâtiment ainsi que le pré dimensionnement des différents éléments porteurs.

II.2 Présentation du milieu d'étude

Goma est une ville située à l'est de la République démocratique du Congo, dans la province du Nord-Kivu, situé sur la rive nord du lac KIVU, à environ 1500 mètres d'altitude dans la vallée du Rift.

Le site proprement-dit se situe à l'ouest de la ville de Goma sur le tronçon ULPGL-Kituku.

Le terrain SOTRAKI, très connu par sa grandeur, son historique communautaire et son accessibilité par des diverses qualités des personnes, le fait un choix idéal pour accueillir une structure ambitieuse, intégrant des zones de lecture. La Figure II-1 nous montre la localisation géographique du terrain obtenu grâce au logiciel **Google earth.**

La façade principale du bâtiment sera orientée vers le sud, en suivant un angle de déclinaison de **20,08°** par rapport au nord du terrain. conformément aux prescriptions d'urbanisme applicables en République Démocratique du Congo pour les régions tropicales. [24]

L'altitude a été déterminée à partir de Google Earth, qui nous a donné une altitude de 1476 m au-dessus du niveau de la mer ce qui a permis d'obtenir des valeurs suffisamment précises pour le cadre de cette étude.

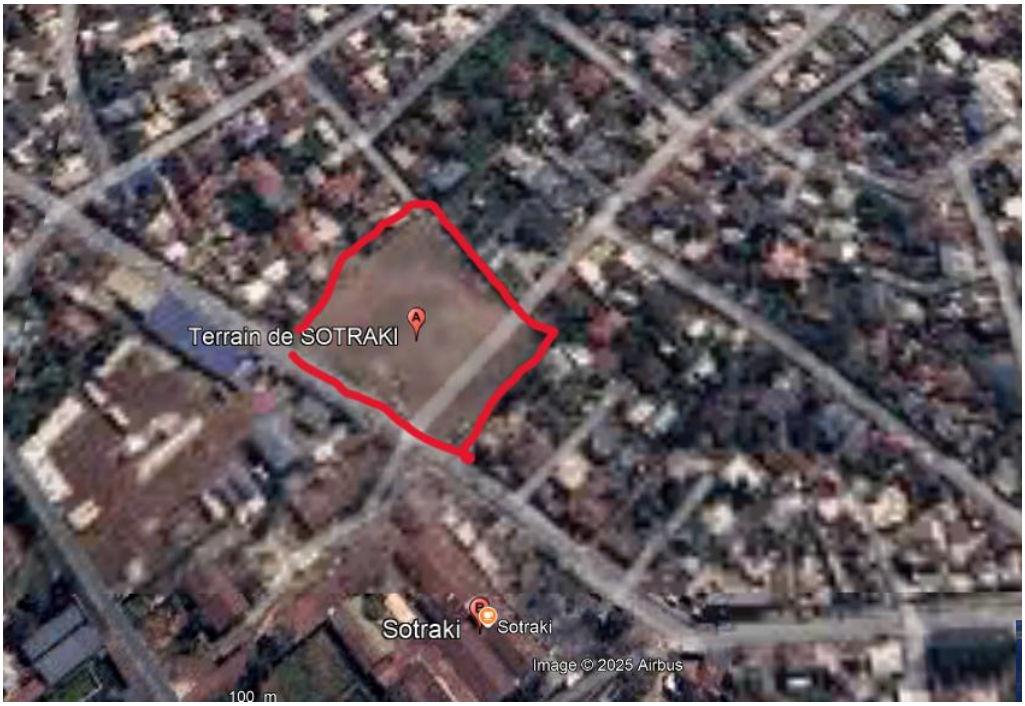


Figure II-1 Image satellite du terrain SOTRAKI depuis Google earth

II.3 Conception architecturale du plan

La conception nous a permis d'organiser d'une manière cohérente les idées des usagers afin de chercher le confort dans le maximum possible en suivant les normes. Nous avons commencé par une enquête qui avait pour but se conformer aux besoins réels des usagers de notre Bâtiment notamment tous les habitants de la ville de Goma en générale. La statistique du résultat obtenue est exposé point **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** les plans architecturaux sont dans la s ection **Annexes**

II.3.1 Caractéristiques géométriques du plan et justification des choix

Le tableau montre les différentes pièces présentes dans notre bâtiment, la concession du terrain SOTRAKI possède une forme trapézoïdale, la **Figure II-6** nous la montre avec ses mesures réelles pour chacun de ces 4 cotés

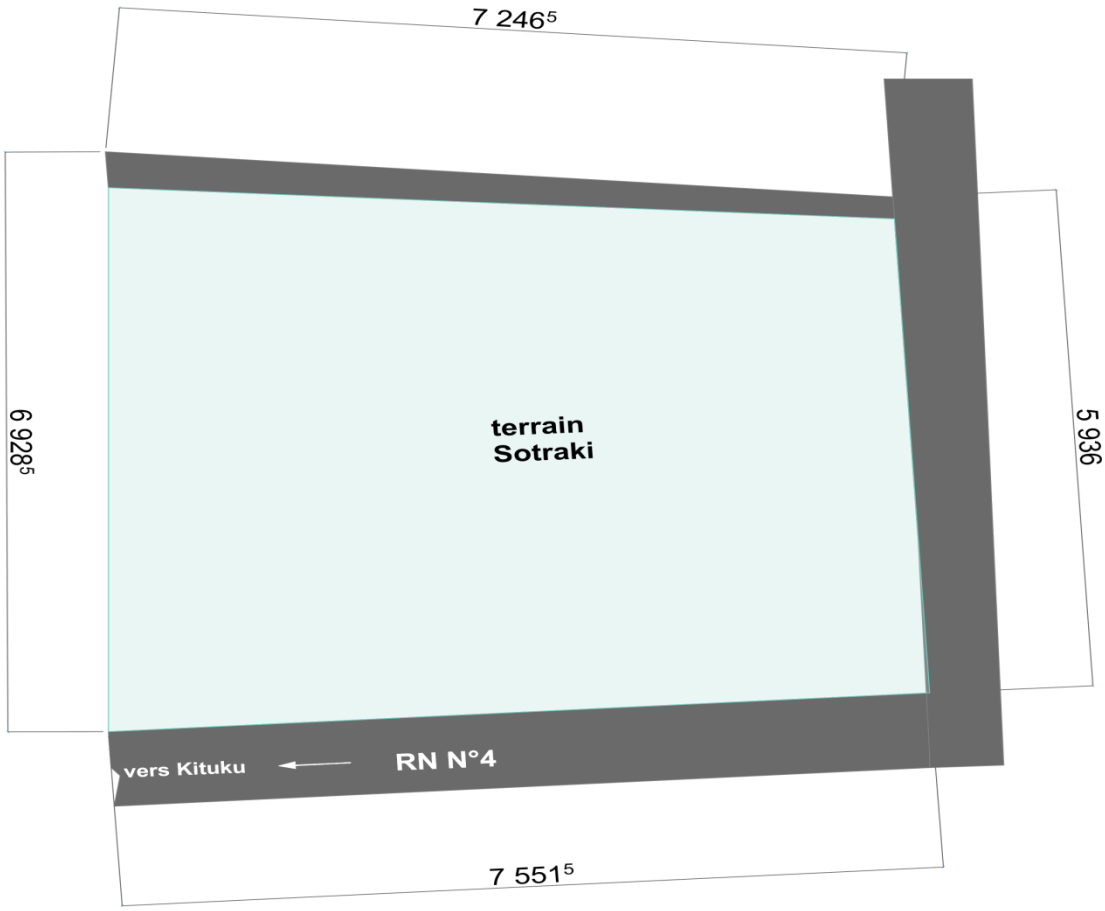


Figure II-2 Géométrie du terrain Sotraki

II.3.2 Organisation des espaces et justification de choix

Sans entrer dans un niveau de détail élevé, cette partie vise à présenter de manière synthétique l'organisation fonctionnelle des différents espaces composant le bâtiment étudié. L'objectif est d'énumérer les pièces et zones prévues, de justifier leur choix et de préciser le rôle de chacune d'elles dans le fonctionnement global de la bibliothèque publique, afin d'assurer un usage confortable du bâtiment et de faciliter l'accessibilité entre les espaces publics et privés.

II.3.2.1 Recommandation indispensables et Organisation des spatiales de la bibliothèque publique

L'organisation des espaces est une étape cruciale et rigoureuse dans la conception d'un bâtiment public. Elle vise à offrir un confort aux usagers, à garantir une circulation fluide et à assurer la sécurité des personnes et des biens.

Des recommandations des normes en vigueur (notamment Neufert) et des exigences

fonctionnelles spécifiques aux bibliothèques publiques données par le **CNB** français et le manifeste **IFLA-UNESCO**.

1. Quelques recommandations

A. Salles de lecture pour adultes

Les salles de lecture pour adultes constituent les espaces principaux de la bibliothèque. Elles sont conçues comme des lieux calmes, bien aérés et confortables, permettant aux usagers de lire, étudier ou consulter des documents sans être perturbés par des nuisances sonores internes ou externes.

B. Salle de lecture pour enfants (mineurs)

La salle de lecture pour enfants est un espace spécifiquement réservé aux usagers de moins de 18 ans, notamment les élèves du primaire et du secondaire.

Conformément aux principes énoncés dans le Manifeste de l'UNESCO sur la bibliothèque publique et à la Convention internationale relative aux droits de l'enfant, une bibliothèque publique doit prévoir des espaces adaptés aux enfants, distincts de ceux des adultes, tant du point de vue fonctionnel qu'acoustique [3] , [25]

C. Salle de stockage des livres

La salle de stockage des livres est destinée à la conservation des ouvrages en format papier. Elle joue un rôle essentiel dans la gestion du fonds documentaire de la bibliothèque. Cette salle doit être correctement ventilée, protégée de l'humidité et organisée de manière rationnelle afin de garantir la durabilité des documents [2].

D. Les bureaux administratifs

Les bureaux sont des espaces réservés à l'usage interne du personnel chargé de la gestion administrative, technique et documentaire de la bibliothèque. Selon les recommandations de l'Association des bibliothécaires de France**,** une bibliothèque publique doit disposer de bureaux pour le personnel, incluant un bureau de direction et des bureaux de service [4].

Dans cette optique, afin de répondre aux besoins diversifiés de la population de Goma, les espaces ont été répartis en trois niveaux :

- Le rez-de-chaussée avec une hauteur de 3,5 m
- Le premier étage (hauteur=3,5m)
- Le deuxième étage (3,5 m)

2. Organisation spatiale

Pour éviter d'alourdir le travail, nous avons mis en annexe les différents plans architecturaux de la bibliothèque illustrant ainsi la forme, les dimensions et les noms, de chaque pièce nécessaire selon les recommandations citées **ci-dessus.**

Pour garantir un service confortable et éviter les files d'attente, notamment en période de forte affluence, le nombre de toilette est à maintenu à 10 pour l'espace publique incluant 2 toilette pour les enfant et 8 pour les adultes au rez-de-chaussée et au premier étage, cela s'ait fait sur base d'un ration d'une toilette pour 50 personne selon Neufert avec une capacité d'accueil maximale de 475 personnes.

A ce qui concerne les toilettes pour les personnels, nous avons réservé 4 toilette appart la toilette du directeur avec un ratio d'une toilette pour 10 à 15 personne selon Neufert Espérant que les personnels ne dépasseront jamais plus de 40 personnes dans l'ensemble de la bibliothèque.

Le **Tableau II-1** nous montre l'ensemble des pièces présentes dans ce projet, organisé pour respecter le plus possible le confort, la sécurité des matériels ainsi que celle des usagers.

Tableau II-1 Organisation des espace dans la bibliothèque (organigramme de la conception architecturale)

Niveau	Type	Espace	Surface prévue (m^2)
Rez-de-chaussée(RDC)	**Espace Public**	Hall d'accueil	91 m²
		Salle de lecture pour mineurs	100 m²
		Détente (café)	151 m²
		Salle de lecture 1 (adulte)	257 m²
		Sanitaire publique (mineur) 4	25 m²
		Sanitaire publique (adulte) 6	25 m²
	Espace de Transition	Escalier public intérieur	20 m²
		Escalier public extérieur (de secours)	11 m²
		Sas (dégagement)	37 m²
		Couloirs (5)	63 m²
	Espace Privé	Bureau de la logistique	20 m²
		Salle de pause	39 m²
		Bureau communication	20 m²
		Stock matériel	20 m²
		Services d'hygiène (entretien)	20 m²
		Bureau d'orientation	31 m²
		Service de sécurité Globale	24 m²
		Cabine d'agent secur	9 m²
		Bureau logisticien	20 m²
		Service de Protocole +cuisine	42 m²
		Sanitaire privés(5 toilettes)	31 m²
		Escalier + ascenseur (privé)	26 m²
	982 m²		

1er étage	**Espace Public**	Librairies Générale	180 m²
		Salle de lecture 2	257 m²
		Salle des livres électroniques et connexion internet	45 m²
		Détente	151 m²
	Espace de Transition	Escalier public intérieur	20 m²
		Escalier public extérieur (de secours)	11 m²
		Sas (dégagement)	37 m²
		Couloirs (5)	63 m²
		L'ensemble des balcons	56 m²
	Espace Privé	Archive interne	20 m²
		Bureau d'affaire extérieur	20 m²
		Bureau secrétaire	24 m²
		Bureau des ressources humaines	24 m²
		Salle de travail en groupe	135 m²
		Salle de réunion	60 m²
		Salle serveur	30 m²
		Contrôle camera	13 m²
		Local technique	8 m²
		Cabine de Sécurité	21 m²
		Escalier+ ascenseur (privé)	26 m²
	Espace Public	Salle d'attente pour visiteur	45 m²
		Salle de projection et innovation	41 m²
		Terrasse de détente (toiture)	257 m²

2ième étage	**Espace de Transition**	Couloir (1)	13 m²
	Espace Privé	Salle de traitement numérique	24 m²
		Salle d'incubation	40 m²
		Sanitaires (3)	25 m²
		Bureau du directeur de la bibliothèque + toilette	32 m²

II.4 Normes et réglementation

La conception et l'analyse du bâtiment étudié s'appuient sur un ensemble de normes et de règlements encadrant les aspects architecturaux, structurels et acoustiques. Ces normes constituent une base essentielle pour garantir la sécurité, le confort et la conformité du projet.

II.4.1 Normes structurales

Pour l'analyse et le dimensionnement des éléments en béton armé, les normes suivantes ont été utilisées :

- **BAEL 91 révisé 99** : règles de calcul du béton armé pour la détermination des efforts, des sections et des armatures ;
- **NORME NF P 06-004** : actions sur les structures (charges permanentes et d'exploitation).

II.4.2 Normes acoustiques

- L'analyse acoustique s'appuie principalement sur :
- NF S 31-080 : acoustique des bâtiments d'enseignement et espaces assimilés, utilisée par analogie pour les bibliothèques recommandées par CNB N°6 ;
- Recommandations de la CNB français concernant les niveaux sonores admissibles dans les espaces de lecture et du CSTB.
- SIA 181-2020 pour les techniques de mesurage des bruits dans un milieu urbain et quelque calcul.

Ces normes vont nous permettre de comparer les niveaux mesurés sur le terrain aux valeurs de confort acoustique recommandées et de proposer des solutions d'isolation adaptées

II.5 Choix de Matériaux et techniques de constructions [26]

Le choix des matériaux et des techniques de construction constitue une étape déterminante dans la conception d'un bâtiment en béton armé destiné à une bibliothèque publique. Ce choix doit répondre simultanément aux exigences structurelles et acoustiques.

Dans le cadre de ce projet, les matériaux retenus ont été sélectionnés de manière à assurer une bonne résistance mécanique, une durabilité satisfaisante et un niveau de confort acoustique conforme à l'usage du bâtiment.

Les principaux matériaux utilisés dans ce projet sont :

- **Le béton armé est** retenu comme matériau principal de structure en raison de sa résistance élevée, de sa durabilité, de sa bonne tenue au feu et de sa large utilisation dans les bâtiments publics.
- **La brique cuite en argile** présente, une masse suffisante pour l'isolation acoustique et une disponibilité locale, ce qui en fait un matériau adapté pour les parois extérieures.
- **Les blocs de construction creux en sable-ciment** sont utilisés pour les parois intérieures. Leur avantage réside dans leur légèreté relative, leur facilité de mise en œuvre et leur coût modéré. Cependant, pris seuls, ils offrent une isolation acoustique limitée.

Afin de répondre aux exigences acoustiques d'une bibliothèque publique, deux méthodes principales d'isolation ont été retenues :

- Les parois doubles pour les murs fonctionnant par le principe de la loi de masse ;
- Les parois doubles avec cavité d'air pour les planchers et la toiture fonctionnant par le principe masse-ressort

A. Composition des murs extérieurs

Le mur extérieur doit jouer un rôle crucial dans l'ensemble du bâtiment, ils doivent être bien étudié pour s'assurer que ces murs résisteront face aux bruit aérien venant de l'extérieur et permettre un niveau sonore moyen à l'intérieur du futur bâtiment

Ces murs constituent le contour global du bâtiment afin d'assurer un bon confort acoustique non seulement dans les salles de lecture mais dans l'ensemble du bâtiment (salles, bureaux, autres)

Le mur extérieur est composé des couches suivantes (de l'intérieur vers l'extérieur) :

- Une couche de brique cuite pleine en argile de 22 cm d'épaisseur (19 kN/m^3)
- Une couche de crépi en mortier sable-ciment de part et d'autre de 1,5cm chacune

Epaisseur (e) totale initiale est de 25 cm

Le poids surfacique est donné par la norme NF P 06 004, Poids surfacique = **4,18kN/m^2** (pour brique pleine de 22 cm d'épaisseur)

La Figure II-3 nous montre une image en coupe de notre mur

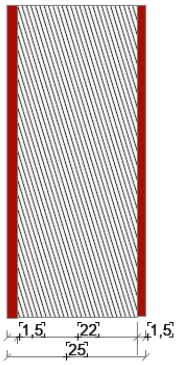


Figure II-3 coupe transversale du Mur extérieur

Cette composition offre une bonne résistance mécanique, une masse suffisante pour l'isolation contre les bruits extérieurs et une protection efficace contre les agressions climatiques.

B. Composition des mur intérieur est constitué de :

- Deux couches de crépi en mortier sable-ciment ;2.5 cm (0.18kN/m^2)
- Une couche de bloc de construction creux en sable-ciment de 15 cm (9kN/m^3)

Cette paroi joue un rôle complémentaire dans l'isolation acoustique interne et permet de limiter les différents espaces du bâtiment et la transmission des bruits entre les ces différents espaces de la bibliothèque.

C. Composition du plancher

Pour les planchers et plafonds, une solution plus performante a été retenue : la paroi double avec une couche isolante jouant le role d'un ressort dans le système masse-ressort-masse. Cette technique est particulièrement efficace contre la transmission verticale des bruits.

Composition retenue (de haut en bas)

- Un plancher léger flottant en parquet à l'étage (e=0.02m ; 0.6 kN/m^2) ;
- Une chape d'égalisation collant l'isolant au parquet de surface en béton léger (e=0.05m, 15,5 kN/m^3)
- Couche isolant en laine minérale (son épaisseur est liée au calcul des isolations dans le point, et son poids surfacique est de
- Une dalle en béton armé (25 kN/m^3) ;
- Une couche d'enduit (e=0,015 m ; 0.18kN/m^2)

.la figure Figure II-4 montre une coupe transversale du plancher en étude.

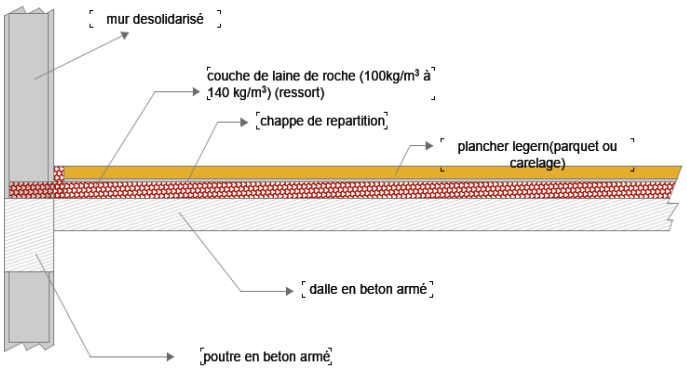


Figure II-4 coupe transversale du plancher de la bibliothèque

D. Composition de l'isolation de la toiture

- Une couverture en tôle ondulé avec recouvrement (0.4kN/m^2) ;
- Une couche d'isolant de laine de verre (40 kg/m^3) ;
- Une cavité d'air libre (pour éviter le contact direct avec le tôle)
- Une couche de finition de plâtre (0,1kN/m^2)

Cette image illustre le principe d'isolation des toitures en tôle

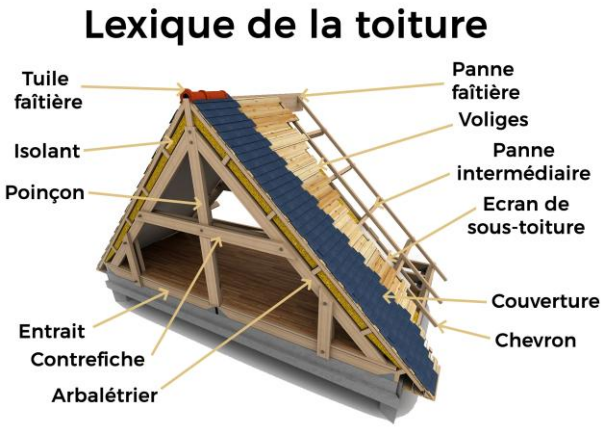


Figure II-5 Principe d'isolation d'une toiture [18]

II.6 Analyse acoustique

Cette partie présente les formules utilisées pour le calcul de l'isolement acoustique, les méthodes de mise en œuvre, ainsi que les matériaux employés pour l'isolation.

II.6.1 Collecte des données acoustiques

Le Tableau II-3 présente les valeurs obtenues sur différents points choisis aléatoirement. La valeur maximale est considérée comme l'intensité du bruit de référence, conformément aux conditions du manuel du CNB. Le Tableau II-2 montre le classement des catégories des espaces selon les niveaux sonores des infrastructures routières selon le CNB N°6 [27]

Tableau II-2 Niveaux sonores de référence pour les infrastructures routières [27]

Catégories	Niveau sonore au point de référence en période diurne(6h-22h) en (dB)	Niveau sonore au point de référence en période nocturne(22h-6h) en (dB)
1	83	78
2	79	74
3	73	68
4	68	63
5	63	58

Tableau II-3 valeur réelles des mesures des bruits sur terrain

Point	Intensité sonore moyenne (dB)	Distance de la route en (m)	Intervalle de mesurage (heure)
E	63 dB	10 m	6h à 10h
D	64 dB	18 m	10h à 14
A	53 dB	50 m	14h à 16
B	63 dB	35 m	16h à 18h
G	75 dB	5 m	18h à 20h
C	61 dB	25m	18h à 20h
F	71 dB	10m	14h à 16h
H	73 dB	5m	14h à 18h

Le niveau de référence retenu correspond au plus élevé, proche des façades sensibles au bruit. Dans notre cas, il est fixé à **75 dB** Figure II-6 Compte tenu des contraintes financières, nous . Le résultat sera confronté au seuil moyen défini par **CNB-6**, afin de vérifier la conformité. Les points de mesure ont été répartis sur le site de manière à optimiser la qualité des données recueillies et améliorer la fiabilité des résultats

Le Tableau II-4 montre les valeurs de niveaux sonores non admissibles selon le CNB-6

Tableau II-4 Niveau sonore admissible selon la CNB [27]

Type de local	Niveau sonore non nuisible en (dB)
Salle de lecture	**30– 35**
Salle de travail	**40**
Salle informatique	**40 – 45**
Bureaux	**35– 40**
Salle polyvalente	**45**
Circulations	**50**
Sanitaires	**50**
Salle de réunion	**40**
Salle d'archives	**40**

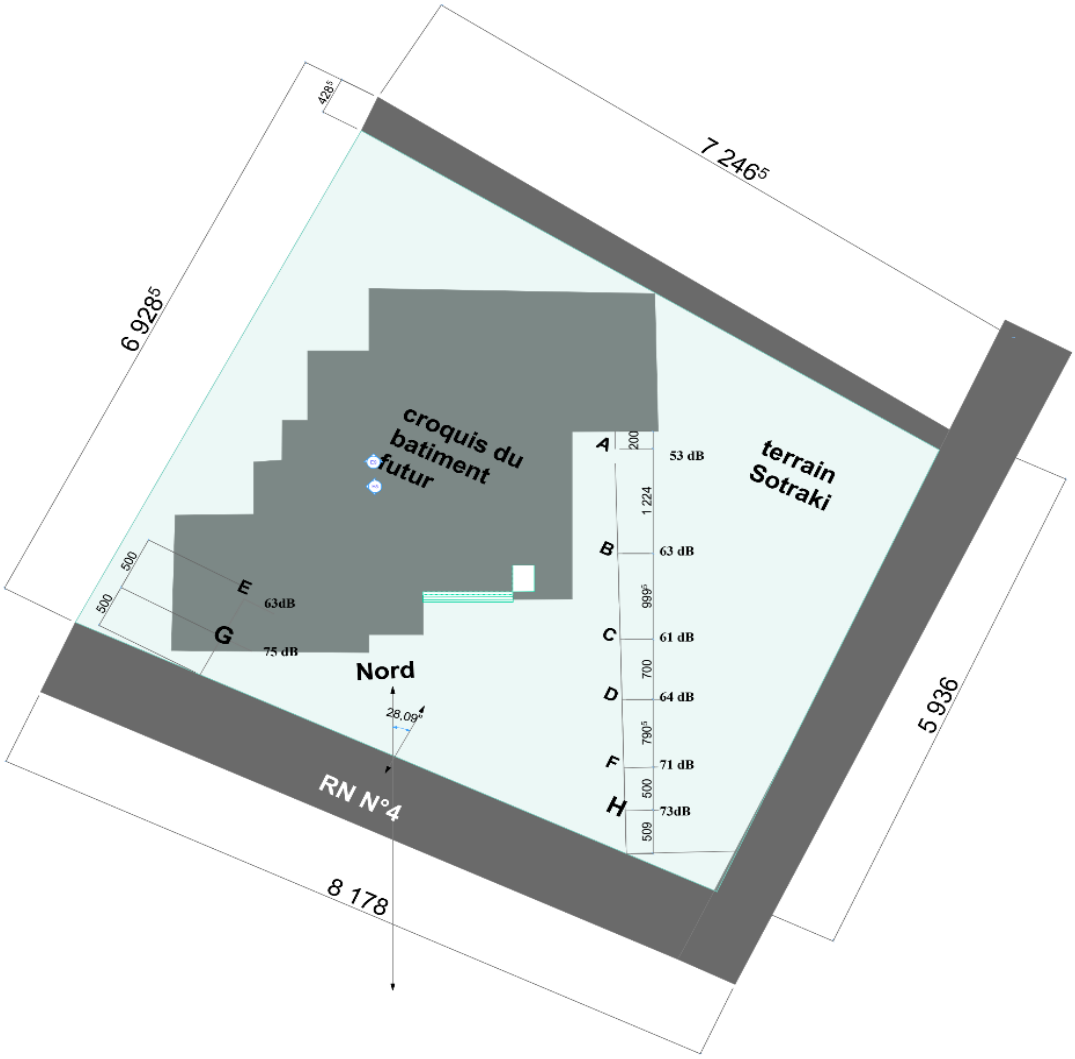


Figure II-6 auto-Répartition des point des mesurage des bruit avec microphone calibré sur terrain

II.6.2 Hypothèses de modélisation

Pour notre arriver à un calcul fiable en tenant compte des exigences et vérifier le comportement de notre bâtiment, nous nous sommes fixé quelques hypothèses.

- Pour les parois simples : L'isolation aux bruits aériens est régie par la loi de masse, où l'indice d'affaiblissement dépend principalement de la masse surfacique des parois.
- Pour les parois doubles : Le comportement modélisé par le principe masse-ressort-masse et La fréquence de résonance conditionne son efficacité (plus elle est basse, meilleure est l'isolation dans les basses fréquences [21])

Le mur extérieur en brique cuite d'argile est supposé homogène (l'apport des joins constituant des petits ponts phoniques est négligé)

II.6.3 Détermination de l'Indices d'affaiblissement acoustique [15]

Ce paramètre détermine la capacité à une paroi de masse (m) d'absorber une quantité d'énergie reçues en les transformant en chaleur, par rapport à nos hypothèses, ce paramètre dépend seulement de la masse du matériau qui dépend aussi de l'épaisseur et de la masse surfacique du matériau. La formule II-1 montre comment se calcule l'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi à partir de sa masse.

$$R = 13.3\log(m) + 12 \qquad \text{II-1}$$

Avec m : la masse surfacique du matériau.

Pour une paroi composite, cet indice se calcule par la formule II-2

$$R_{global} = 10\log\left(\frac{S_v}{S_t}10^{-\frac{Rv}{10}} + \frac{S_m}{S_t}10^{-\frac{Rm}{10}}\right) \qquad \text{II-2}$$

Avec :

S_v, S_m : Surfaces respectives du vitrage et du mur (m²) ;

S_t: Surface totale de la paroi (m²) ;

R_v, R_m : Indices d'affaiblissement du vitrage et du mur (dB)

II.6.4 Détermination du temps de réverbération [15]

C'est la prolongation d'un son après l'interruption de la source sonore, la maitrise de celui-ci dans en acoustique aide à éliminer les gênes des usagers dans des endroit publique ou privé car cela aide à dimensionner les plaques d'absorption dans une pièce (chambre, salon, salle de lecture, etc.) Ce temps symbolisé par **Tr** se calcule par la formule de Sabine donnée par la relation *II-3*:

$$\boldsymbol{Tr = \frac{0.16V}{A}} \qquad \text{II-3}$$

Avec T **:** le temps de réverbération du locale de réception exprimé en (s)

A : surface d'absorption du locale de réception exprimé en (m^2) calculé par la formule **II-4**

V= $\boldsymbol{S_{salle} \times (H_{rdc} - e_{plancher})}$ **:** volume du locale exprimé en (m^3)

$$\boldsymbol{A = \sum(\alpha i.\, Ai)} \qquad \textit{II-4}$$

où Ai= surface de contact avec les bruits extérieurs

Ai : surface d'un élément de la paroi selon son coefficient d'absorption (**αi**)

II.6.5 Isolement acoustique standardisé [15]

Il représente le niveau de réduction des bruits mesuré su site, ceci est utilisé donc pour vérifier les conforts acoustiques dans les pièces sensibles aux bruits, il sert aussi à comparer les différentes solutions constructives (cloisons, plancher, vitrage) [18]

L'isolement acoustique standardisé est donné par la relation II-5 :

$$\boldsymbol{D_{nT,A,Tr} = L1 - L2} \qquad \text{II-5}$$

$\mathbf{D_{n,T,A,Tr}}$ = l'isolement acoustique de bruit entre deux locaux en (dB)

L1 : niveau de pression acoustique dans le locale d'émission

L 2 : niveau de pression acoustique dans le locale de réception

II.6.6 Calculs des Niveaux sonores à l'intérieur du bâtiment [15]

II.6.6.1 Détermination de l'isolation au bruit aérien

$$Lint = Lext - R + 10\log\left(\frac{S}{A}\right) \qquad \text{II-6}$$

Où A est la surface d'absorption équivalente du local calculé selon la formule **II-4** et S est la surface totale de la façade. Cette valeur permet de vérifier l'atteinte des objectifs.

II.6.6.2 Détermination de l'isolation au bruit solidien

C'est le bruit qui se propage à travers la structure solide du bâtiment comme les murs, les planchers, les poteaux, les poutres, les canalisations, etc.

Contrairement au bruit aérien qui se propage dans l'air, celui-ci se propage dans la matière, il peut être provoqué par une chute d'objet solide, les déplacements des usagers, etc

1. Fréquence de résonance d'un système masse-ressort-masse [19]

L'efficacité de la laine de roche (plancher) et de la laine de verre (toiture) dépend de la fréquence de résonance système [15] Il faut que cette fréquence de résonance soit située en dessous du domaine des fréquences que l'on souhaite atténuer. Cette fréquence est donnée par la relation II-7

$$f_r = 160\sqrt{\frac{s'}{m'}} \qquad \text{II-7}$$

Où *fr*: Fréquence de résonance (Hz) ;

s': Raideur dynamique du matériau (MN/m³) ;

m': Masse surfacique de la charge (chape + revêtement) (kg/m²)

En effet, pour

$$f > \sqrt{2f_r} \qquad \text{II-8}$$

l'isolation augmente rapidement (pente de 12 dB/octave). C'est pourquoi on cherche à avoir *fr* la plus basse possible, typiquement inférieure à 50-60 Hz pour les bruits d'impact, et inférieure à 80-100 Hz pour les bruits aériens en toiture. [27]

2. Raideur dynamique

La raideur dynamique s′d'un matériau est inversement proportionnelle à son épaisseur *e* et proportionnelle à son module d'élasticité dynamique E_{dyn} (MN/m²) [20].

La relation II-9 permet, pour un matériau donné (E_{dyn} connu par les données fabricant), de faire varier l'épaisseur(e) pour obtenir la raideur s′ souhaitée, et donc la fréquence de résonance *fr* recherchée.

$$S' = \frac{E_{dyn}}{e} \qquad \text{II-9}$$

3. Vérification de la résistance en compression du matériau isolant

Pour un isolant supportant une charge (cas de la laine de roche sous chape flottante), il faut vérifier que la contrainte appliquée **σapp** est inférieure à sa contrainte limite **σlim**

(généralement la contrainte pour 10% de déformation, notée **σ10,** donnée par le fabricant).

La contrainte appliquée est la somme des charges permanentes (poids de la chape et du revêtement) et d'une fraction de la charge d'exploitation. [20]

La contrainte appliquée **σapp** est donnée par la formule II-10

$$\sigma_{app} = G_{chappe+revetement} + \psi\, Q \qquad \text{II-10}$$

avec :

- Gchape+rev*Gchape+rev* : poids de la chape et du revêtement (N/m²)
- Q : charge d'exploitation (N/m²)
- ψ : coefficient de pondération (sous pris égal à 0,3 pour les charges d'exploitation dans les vérifications de fluage, selon DTU 52.10)

La condition à vérifier est :

$$\sigma_{app} \leq \sigma_{10} \qquad \text{II-11}$$

II.7 Analyses structurales

Cette étude a pour but d'évaluer la résistance d'une structure faces aux différents types des forces sur laquelle une structure est soumise, on évalue les charges afin de déterminer les matériaux à utiliser et leurs caractéristiques physique et mécaniques ainsi que les dimensions appropriées pour assurer la stabilité de la structure et la sécurité en se conformant aux normes.

II.7.1 Analyse statique

C'est l'étude qui évalue la résistance d'une structure face aux forces statique, on vérifie si la structure reste statique face aux différentes charges sur laquelle la structure est soumise

II.7.1.1 **Pré dimensionnement des éléments porteurs [28]**

Le pré dimensionnement a pour but de déterminer les dimensions initiales des éléments structuraux, ces dimensions ne sont pas définitivement les vraies dimensions de la structure, les résultats obtenus peuvent être augmenté ou diminué après avoir vérifié par le dimensionnement structural.

A. Les planchers

Les planchers sont des éléments surfaciques qui servent à limiter les étages, ils sont caractérisés par une épaisseur (e) dont la dimension est très faible par rapport à ces deux autres dimensions (longueur et largeur).

Pour le cas de ce travail, nous avons opté pour un plancher-dalle-pleine et nous allons calculer l'épaisseur (e) de la dalle en satisfaisant ces deux conditions :

- La résistance à la sollicitation de l'effort tranchant
- L'isolation phonique (face aux bruit aérien)

Considérons Lx et Ly respectivement la longueur et la largeur de notre dalle.

Pour pré dimensionner une dalle en béton armé, on détermine son épaisseur (e), qui dépend de sa longueur Lx et de sa largeur Ly.

Précisons qu'ici Lx sera toujours le coté le plus long de la dalle, notons aussi que l'épaisseur dépend aussi de selon que la dalle est uni directionnelle ou bidirectionnelle.

1) Dalle unidirectionnelle

On appelle une dalle unidirectionnelle, une dalle qui vérifie la formule *II-12*

$$\alpha = \frac{lx}{ly} < 0{,}4 \qquad \text{II-12}$$

Avec α l'élancement.

Par conséquent la dalle porte dans une direction et l'épaisseur 'e' est trouvée par l'équation II-13 et II-14

$$e \geq \frac{lx}{20} \geq h_{min} = 10cm \rightarrow pour\ un\ paneau\ isolé \qquad \text{II-13}$$

$$e \geq \frac{lx}{25} \geq h_{min} \rightarrow pour\ paneau\ continue \qquad \text{II-14}$$

2) Dalle bidirectionnelle

Une dalle est dite bidirectionnelle si le rapport de dimension α respecte la condition suivant la formule

$$0{,}4 < \alpha = \frac{lx}{ly} \leq 1 \qquad \text{II-15}$$

Par conséquent la dalle porte suivant deux directions et e est calculée par la formule

II-16 et II-17

$$e \geq \frac{lx}{30} \geq h_{min} = 10cm \rightarrow pour\ paneau\ isolé \qquad \text{II-16}$$

$$e \geq \frac{lx}{40} \geq h_{min} = 10cm \rightarrow paneau\ continue \qquad \text{II-17}$$

3) Condition de la flèche

L'épaisseur ***e*** de la dalle doit satisfaire la condition de la flèche donnée par la formule II-18

$$\frac{lx}{50} \leq e \geq \frac{lx}{30} \qquad \text{II-18}$$

B. Poutres

Les poutres sont des éléments horizontaux dont une dimension (la longueur) est suffisamment grande par rapport à ces deux autres, elles sont caractérisées par leurs sections, et peuvent avoir des sections carrés ou rectangulaires, les poutres sont pré dimensionnées à partir des portées sur lesquelles elles sont censées supporter des charges et sont dimensionnées par rapport à la condition de la flèche admissible et vérifiées par des prescriptions normatives.

1) Poutre principale

- Un critère de rigidité est observé d'après BAEL R 91 par la formule II-19 et II-20

$$\frac{Lmax}{15} \leq h_t \leq \frac{Lmax}{10} \qquad \text{II-19}$$

$$0{,}3 \times h_t \leq b \leq 0{,}4 \times h_t \qquad \text{II-20}$$

Avec

h_t *:* hauteur de la poutre principale

b : Largeur de la poutre principale

Lmax : portée maximale entre nus d'apuis

- **Vérification**

Les conditions données par RPA99V.2003 se revoit par la formule II-21

$$\begin{cases} b \geq 20cm \\ h_t \geq 30cm \\ \frac{h_t}{b} \leq 4 \end{cases} \quad \text{II-21}$$

2) Les poutres secondaires

Les poutres secondaires sont aussi pré dimensionnées et dimensionnées de la même manière que la poutre principale

C. Les poteaux

Les poteaux sont des éléments porteurs verticaux ayant pour rôle de reprendre les charges transmises par les planchers, les poutres pour ensuite les transmettre aux fondations, ces éléments sont pré dimensionnés à partir du principe de la descente des charges, le dimensionnement considéré est du poteau le plus sollicité dans toute la structure. Ce dimensionnement doit alors satisfaire aux conditions exigées par RPA99/V.2009 et le CBA 93. Dans le cadre de ce travail, nous avons pris comme hypothèse que nos poteaux sont bi-encastrés ce qui implique que

$$Lf = 0.5lo \quad \text{II-22}$$

Avec :

Lf : la longueur de Flambement

Lo : la hauteur totale entre deux planchers ou la hauteur totale entre l'amorce poteau et le plancher de l'étage 1

$$\lambda = \frac{Lf}{i} < 50 \quad \text{II-23}$$

Avec i: le rayon de giration obtenu par la formule**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} \quad \text{II-24}$$

Avec : *I :* le moment d'inertie et S : la section du poteau

Pour une section carrée L'inertie se calcule par la formule II-26 et II-27

$$I = \frac{C^4}{12} \quad \text{II-25}$$

$S = C^2$ Avec C le coté du carré II-26

$$i = \sqrt{\frac{C^4}{12 \times C^2}} = \sqrt{\frac{C^2}{12}} = \frac{C}{2\sqrt{3}} \quad \text{II-27}$$

D'après RPA99/V2003

- $\min(b,h) \geq 25cm$ *en zone I et IIa*
- $\min(b,h) \geq 30cm$ *en zone IIb et III*
- $\min(b,h) \geq {}^{he}/_{20}$ *en zone I et IIa* : he est la hauteur entre nu d'appuis

Les types de zone de sismicité sont définis par le Tableau II-5

Tableau II-5 Type de Zone sismique [28]

Zone I	Zone de sismicité faible
Zone II	Zone de sismicité moyenne
Zone III	Zone de sismicité forte

D'après BAEL91

Si λ≤ 50 alors il n'y a pas risque de flambement.

D. Fondations [29]

Pour notre travail, vu que l'ouvrage et les charges transmises sont très importants, on choisit comme fondation, les semelles isolées. Le tassement est négligé puisque nous sommes dans le milieu où le sol est rocheux.

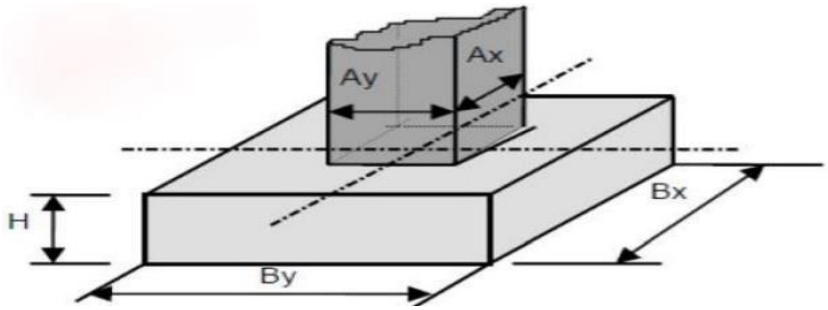


Figure II-7 Semelle isolée (image en 3d)

Avec Nu est l'effort ultime que reprend la fondation, il est obtenu à partir de la descente des charges. Le pré-dimensionnement des semelles isolés se fait en respectant les conditions du Tableau II-6

Tableau II-6 tableau de pré dimensionnement d'une semelle isolée

Condition d'homothétie	$\frac{B_x}{B_y} = \frac{A_x}{Ay_y}$	**II-28**
coffrage	$Bx = \sqrt{\frac{Ns.Ax}{\sigma_{adm}.Ay}}\ By = \sqrt{\frac{Ns.Ay}{\sigma_{adm}.Ax}}$	II-29
Condition de la semelle rigide	$H \geq \max[\frac{Bx - Ax}{4}, \frac{By - Ay}{4} + 5cm$	II-30
Condition aux contraintes	$\sigma_{sol} \geq \frac{Ns}{S}\ donc\ S = \frac{Ns}{\sigma_{sol}}$	**II-31**

E. Les escaliers [28]

L'escalier est une construction architecturale constituée d'une suite régulière de marches, les degrés permettant d'accéder à un étage, de passer d'un niveau à l'autre en montant et en descendant.

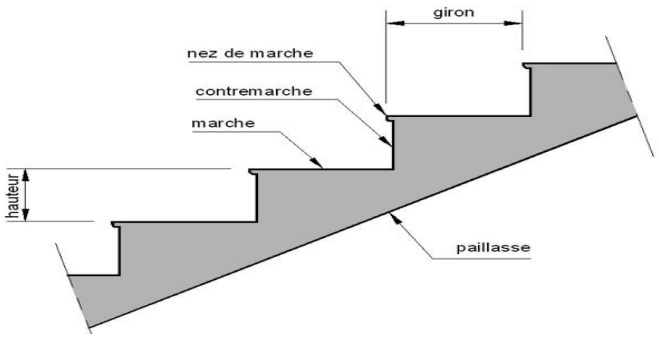


Figure II-8 Coupe longitudinale d'un escalier

Pour le calcul des escaliers, Blondel nous propose une relation à prendre en compte qui est illustré par la formule II-32 :

$60cm \leq 2h + g \leq 64cm$

II-32

Où **h** est la hauteur de la contre marche, donné par : 14cm ≤ h ≤ 20cm

g est la largeur de la marche qui est conditionné par :

25cm ≤ g ≤ 32cm

- **Nombre des contremarches (n)** :

$$\boldsymbol{n = \frac{H}{h}} \qquad \text{II-33}$$

Où H : la hauteur de l'étage et h : la hauteur de la marche.

- **Nombre de marches (m)**

$$\boldsymbol{m = n - 1} \qquad \text{II-34}$$

- **Inclinaison de la paillasse**

$$tg\alpha = \frac{H}{L} \qquad \text{II-35}$$

H étant la hauteur de la volée et **L** la longueur de la ligne de foulée, l'inclinaison de la paillasse est déterminée par la formuleII-35

- **La longueur du paillasse**

$$Linc = \frac{H}{Sin\alpha} \qquad \text{II-36}$$

- **Epaisseur de palier de l'escalier**

pour déterminer l'épaisseur « e » de la paillasse et du palier on utilise la relation II-37:

$$\frac{Linc}{30} \leq e \leq \frac{Linc}{20} \qquad \text{II-37}$$

II.7.1.2 **Evaluation des charges**

Il s'agit d'identifier et de définir les charges qui vont agir sur la structure, cela comprend les charges pérennantes, les charges d'exploitation et les charges variables.

1) Valeur des actions

Il est rappelé que les actions sont les forces et couples dus aux charges appliquées (permanentes,

climatiques, d'exploitation, etc.)

et aux déformations imposées (variations de température, tassements d'appuis, etc. [30]

Les valeurs des actions qui agissent sur la structure sont prise en compte en définissant une valeur numérique représentative déterminée par l'exploitation statique des données nécessaires existantes qui peut être suivie d'une estimation basée sur l'expérience.

A. Toiture

a. Charge pérennante

La **Figure II-9** et montre la forme des fermes

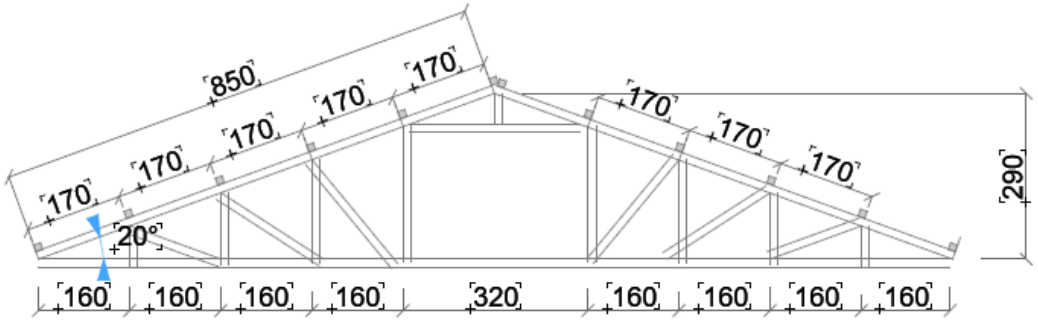


Figure II-9 Ferme de la toiture parallèle au plan de coupe BB

Pour l'évaluation de la charge pérennante de la toiture, nous aurons à calculer le poids propre de chaque élément indépendamment de l'autre, puis faire la somme totale à la fin en utilisant les hypothèses basées sur les sections théoriques de Neufert sur la section charpente et couverture.

Le poids propre de la toiture G_{toit} est donnée par :

$$\boldsymbol{G_{toit} = \sum Vi \,.\, g + G_{couv}}$$

Avec Vi : somme de volume selon le type d'élément (panne, fiches, arbalétrier, etc.)

Vi= Si.Li

Si : étant la section selon le type d'élément

Lc : la longueur cumulée selon le type d'élément

G_{couv} : la charge de la couverture donnée par

G_{couv} = q10 x Su où Su est la surface utile donnée par :

Su= *Entraxe* $_{ferme}$ **x L$_{alb}$ x2**, L$_{toit}$ la longueur de la toiture et L$_{alb}$: longueur d'arbalétrier

Nombre de ferme **N$_{ferme}$ = Ltoit /** *Entraxe* $_{ferme}$

Avec *Entraxe* $_{ferme}$ = 3m : entraxe entre fermes

Ltoit = 50 m (longueur de la toiture) et la portée de la toiture Lp= 16 m

b. Charge variable :

❖ Charge d'entretien :

❖ $Q_{entre} = q_{entre}$ X Su II-38

Où q$_{entre}$= **0,8kN/m^2** (charge surfacique d'entretien)

❖ **Charge du vent** [31] **:**

Ici il faut d'abord calculer la charge surfacique du vent qui dépends de la hauteur de l'ouvrage et de la région, après cela multiplier cette valeur par la surface utile

$$qv = 2{,}5 \times (h + 18) \times q10/(h + 60) \quad \text{II-39}$$

Avec : h : *la hauteur au dessus du sol* et q_{10}: la pression dynamique de base selon la région.

q10= 157.5daN/m^2 (valeur de pression dynamique au Nord-Kivu aux cas extrêmes) [31]

$$Q_{vent} = qv \times Su \quad \text{II-40}$$

Avec Su = L$_{alb}$ x L$_{panne}$ où :

L$_{alb}$ est la longueur de l'arbalétrier et L$_{panne}$ est la longueur de la panne (le long de la toiture)

La charge variable Q s'obtient en additionnant les deux charges variables :

$$Q = Q_{vent} + Q_{entre} \quad \text{II-41}$$

A. Charge sur les plancher

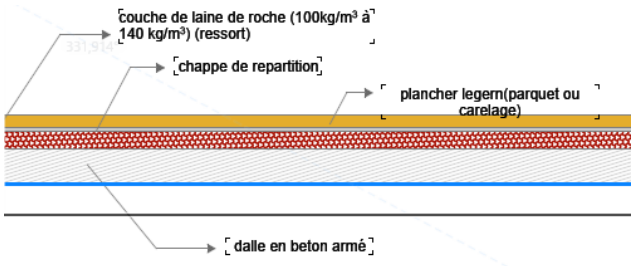


Figure II-10 image du plancher en coupe longitudinale

Voici les couches qui constituent notre plancher :

- Les parquet ou carrelage (0,6 – 1,5) cm d'épaisseur
- Chappe de répartitions en béton (2-5) cm d'épaisseur
- Couche d'isolant (en laine de roche) son épaisseur est liée au dimensionnement acoustique
- Dalle, son épaisseur est liée au pré dimensionnement

Enduit sous dalle (2-5) cm d'épaisseur

a) Charge permanente

La charge permanente G s'obtient en multipliant chaque couche par son poids volumique ou poids surfacique donnée par la norme NF P 06-004 que nous présentons en annexe.

b) Charge d'exploitation

La charge d'exploitation Q s'obtient en multipliant la surface du plancher par une valeur surfacique de la charge d'exploitation qui dépend de la destination de l'ouvrage, le tableau Tableau II-7, nous pressente de manière brève quelques valeurs des charges d'exploitation

Tableau II-7 valeur des charge d'exploitation [28]

Local / espace	**Charge d'exploitation (kN/m²)**
Salle de lecture	4,0
Salle de travail	3,0
Salle informatique	3,0
Bureaux administratifs	2,5
Salle polyvalente	4,0
Circulations	3,0
Sanitaires	2,0
Réserves / archives	5,0 à 7,5
Terrasse accessible	4,0

B. Charge sur les poutres

Les charges sur les poutres sont le poids propre de la poutre, le poids de la dalle, les poids des murs, le poids des revêtements… L'évaluation des charges sur les poutres vont dépendre du mécanisme de rupture :

a) Panneau portant dans un seul sens

$$\alpha = \frac{lx}{ly} < 4$$

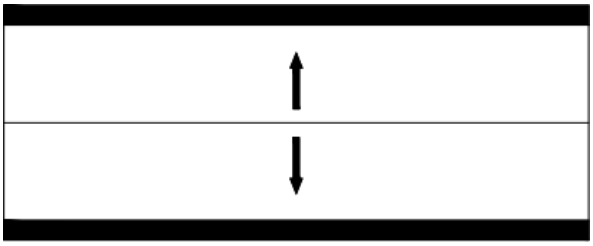


Figure II-11 surface d'influence de panneau portant dans un seul sens [30]

b) Panneau portant dans les deux sens

$$\alpha = \frac{lx}{ly} \geq 4$$

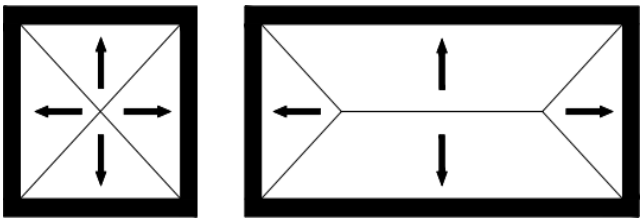


Figure II-12 surface d'influence des panneaux portant dans les deux sens [30]

C. Charge sur les poteaux

Nous allons évaluer les charges sur les poteaux (Nu) en effectuant la descente de charge tout en considérant les charges permanentes et d'exploitation. Pour notre travail on va utiliser la méthode des surfaces d'influence pour trouver G et Q.

$$Nu = 1{,}35G + 1{,}5Q \qquad \text{II-42}$$

D. Charges sur les fondations

Au niveau de la fondation nous allons considérer toutes les charges venant de la toiture, des planchers, poutres, murs… obtenues par la descente de charge.

E. Charges sur les escaliers

a) Charge permanente

Les charges permanentes comprennent le poids de la paillasse et le poids du palier de repos.

❖ Paillasse :

1. ***Volume des redans*** $\quad Vr = m \times Sr \times Em$ II-43

Avec :

Sr : surface des gradins Sr= (hxg)/2

Em : Emmarchement et

m : nombre des marches

2. ***Volume paillasse*** $\quad Vp = e \times Em \times Li$ II-44

Avec :

e : épaisseur de la paillasse et Li : longueur inclinée

3. ***Surface carrellage*** $\quad S_{carr} = (h + g) \times Em \times m$ (II.36) II-45

Avec h : hauteur de contre marche et g : le giron

La charge permanente sur escalier sera la somme de toutes les charges de ces éléments constitutifs de la paillasse que nous divisons par la longueur inclinée enfin d'obtenir une charge par mètre linéaire.

$$G = [(Vr + Vp)x\,\gamma BA + S_{carr}\,x\,\gamma carr] \times \frac{1}{Li} \quad \text{II-46}$$

Afin d'avoir une représentation horizontale, la charge permanente G et la longueur inclinée Li devront subir une projection suivant l'angle α telle-que :

$$Gpaillasse = G \times \cos\alpha \quad \text{II-47}$$

$$L = Li \times \cos\alpha \quad \text{II-48}$$

❖ **Poids du palier**

$$Gpalier = (\gamma BA \times e \times Lp) + (Sp \times \gamma carr) + (Sp \times eend \times \gamma enduit) \quad \text{II-49}$$

b) Charge d'exploitation

Comme dans les cas précédents, ici nous allons multiplier les différentes surfaces par une valeur surfacique $\gamma Expl$ qui dépend de l'usage du bâtiment

II.7.1.3 **Dimensionnement des éléments porteurs et vérification [32]**

Le dimensionnement des éléments porteurs suit généralement une méthodologie qui prend en considération les différentes charges auxquelles la structure sera soumise. La partie qui suit montre l'approche que nous allons suivre. Dans le cadre de ce projet nous allons procéder à cette étape en utilisant la méthode des abaques BAEL

Les abaques BAEL utilisés se trouvent en en Annexe sur la section.

1. **Dimensionnement des éléments structuraux**

Le dimensionnement proprement dit se fera alors en tenant compte des charges appliques sur la structure. Cela se fera en trois étapes :

- ❖ Détermination des contraintes (σ) et efforts intérieurs (effort normaux, cisaillement, etc.) par différentes méthodes de calculs de structures et de résistance de matériaux.
- ❖ Détermination de la contrainte admissible σ_{adm}, en fonction des caractéristiques physique du matériau
- ❖ Comparaison entre la contrainte admissible et la contrainte imposée à la structure :

Si $\sigma_{adm} \geq \sigma$, on garde les valeurs prises lors du pré-dimensionnement, sinon on augmente les valeurs des dimensions prises précédemment de manière à vérifier cette relation ci-haut après une ou plusieurs itérations.

Pour notre travail, nous allons considérer, après évaluation des charges, les poteaux, les poutres, la dalle et la semelle de fondation pour le dimensionnement. Pour chaque catégorie nous prendrons en compte l'élément le plus chargé pour le dimensionner et par la suite étendre ses résultats aux autres éléments moins chargés.

1. **Plancher**

Comme décrit lors du pré dimensionnement, le rapport des portées est donné par les équations II-12 et II-15

A. Calculs de moment isostatique

Selon x : $\mathrm{Mox} = \mu x \times q \times \mathrm{Lx2}$ II-50

Selon y : $\mathrm{Moy} = \mu y \times \mathrm{Mox}$ II-51

μx et μy dépendent de α et sont données dans le **Tableau II-8**

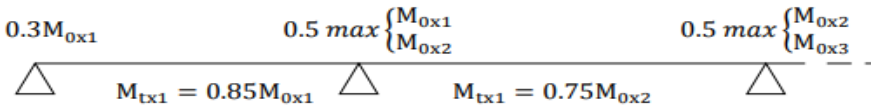
Tableau II-8 tableau de calcul du coefficient μx et μy [30]

$\alpha = \frac{Lx}{Ly}$	μ_x	μ_y	
ELU	$\frac{1}{8.(1 + 2{,}4\alpha^2)}$	$\alpha^2[1{,}9 - 0{,}9\alpha]$	**II-52**
ELS	$\frac{1}{8.(1 + 2\alpha^2)}$	$\alpha^2[1 + (1{,}5) \times (1-\alpha)^2]$	**II-53**

B. Calcul de moment en travée aux appuis

Pour calculer les moments nous allons utiliser les formules illustrées sur la figure II-11 tirées des abaques des dimensionnements des dalles

- suivant L_x:



- suivant L_y :

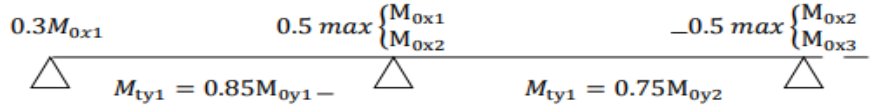


Figure II-13 Formules de calcul des moments des panneaux réelles continues [34]

C. Calculs des armatures

Nous allons déterminer la section des armatures par la méthode des poutres continues qui revient à prendre Pu ou $Pser$ multiplier par 1m linéaire afin d'avoir une charge linéaire.

Moment réduit : $$u = \frac{M_{tu}}{bd^2.f_{bu}}$$ II-54

Avec :

- Mtu : Moment ultime en travée suivant le sens x ou y
- fbu : Contrainte limite du béton; b= 1m et $d = 0{,}9h$

Section des armatures : $$\boldsymbol{A_{st} = \frac{M_{tu}}{z.\sigma_{st}}}$$ II-55

Avec :

- M_{tu} : le moment ultime en travée dans le sens de x
- z : le bras de levier
- σ_{st} : est la contrainte admissible de l'armature à la traction

Les autres paramètres sont trouvés en utilisant les formules suivantes :

$$z = d(1 - 0.4\alpha) \quad \text{II-56}$$

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) \quad \text{II-57}$$

$$\sigma_{st} = \frac{f_e}{\gamma_s} \quad \text{II-58}$$

D. Condition de non fragilité

La condition de non-fragilité s'obtient lorsque les sections théoriques et pratiques pour la détermination des armatures sont trouvées. Elle se réfère à la capacité d'une dalle à résister à la fissuration et à maintenir son intégrité structurelle sous les charges appliquées.

$$A_{min} \geq 0.23bd\frac{f_{t28}}{fe} \quad \text{II-59}$$

E. Vérification en ELS

$$\alpha \leq \frac{\varphi - 1}{2} + \frac{f_{c28}}{100} \quad \text{II-60}$$

2. Poutre

La poutre est un élément de la structure dont l'une des dimensions, la longueur est plus importante que les deux autres (la base et la hauteur).

A. Contrainte de calcul

Contrainte de compression du béton : $$f_{bu} = \frac{0.85f_{c28}}{\theta_{\gamma b}} \quad \text{II-61}$$

Contrainte de traction des aciers : $$f_{su} = \frac{f_e}{\gamma_s} \quad \text{II-62}$$

B. Calcul des sollicitations

Ici nous allons calculer les moments et les efforts que sollicitent notre poutre, entre autres les moments et l'effort tranchant max par la méthode forfaitaire.

a) Domaine de validité des méthodes de calcul

Pour adopter ou non la méthode forfaitaire, la poutre doit respecter les conditions données par le Tableau II-9

Tableau II-9 Domaine de validité des méthodes de calcul

Conditions à satisfaire	Conditions satisfaites	Caquot	forfaitaire
1. Charge d'exploitation Q ≤ max (2×charge permanente)	Toutes	Oui	Oui
2.Inertie constante le long de chaque travée 3.Rapport des portées successives compris entre 0.8 et 1.25 4.Fissuration peu préjudiciable	Toutes sauf 2 ou 3 ou 4	Oui	Non

b) Application de la méthode

Pour chaque travée, on pose le rapport des charges d'exploitation à la somme des charges permanentes et d'exploitations

$$\alpha \geq \frac{Q}{Q+G} \qquad \text{II-63}$$

Mo Le moment fléchissant isostatique de la travée considérée (longueur entre nus des appuis) est donnée par la relation II-64

$$M_o = \frac{ql^2}{8} \qquad \text{II-64}$$

Mw et Me les valeurs absolues des moments sur appuis de gauche et droite de la travée considérée. Mt : le moment maximal en travée en prenant en compte la continuité.

On doit avoir :

$$M_t + \frac{M_w + M_e}{2} \geq max \begin{vmatrix} (1+0.3\alpha)M_o \\ 1{,}05M_o \end{vmatrix} \qquad \text{II-65}$$

c) Valeurs minimales de moments

Mt, Mw et Me pour une poutre sont obtenus par les formules données de la Figure II-14

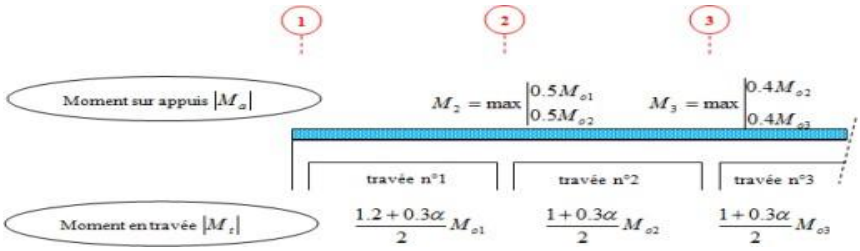


Figure II-14 Valeurs minimales des moments à plus de 2 travées

d) Effort tranchant

Sur une travée, le moment varie paraboliquement (figure 3.5) ; le maximum est ainsi à des abscisses a de l'appui gauche (w) et b de l'appui droit (e), avec L = a + b. Les valeurs de l'effort tranchant sur l'appui gauche (w) et sur l'appui droit (e) peuvent être déterminées par la relation

$$V_w = -2\frac{M_w+M_t}{\alpha} \quad ; \; V_e = -2\frac{M_e+M_t}{\alpha} \qquad \text{II-66}$$

Avec:

$$a = L\frac{1}{1+\sqrt{\frac{M_e+M_t}{M_w+M_t}}} \; ; \; b = L\frac{1}{1+\sqrt{\frac{M_w+M_t}{M_e+M_t}}} \qquad \text{II-67}$$

e) Calcul des armatures

$d = 0{,}9h$ $\qquad$ $\mathrm{d'} = 0{,}11\mathrm{d}$ II-68

$$\varepsilon_l = \frac{f_e}{\gamma_s E} \qquad \text{II-69}$$

$$\alpha_l = \frac{7}{7+2\varepsilon_l} \qquad \text{II-70}$$

$$\mu\mathrm{l} = 0.8\alpha\mathrm{l}(1 - 0.4\alpha\mathrm{l}) \qquad \text{II-71}$$

❖ **Ferraillage en travée**

Calcul du moment ultime réduit :

$$\mu = \frac{M_u}{bd^2 f_{bu}} \qquad \text{II-72}$$

i. Cas 1 : $\mu > \mu_l$

$$A'_u = \frac{(\mu - \mu_l) b d^2 f_{bu}}{(d - d') f_{su}} \quad \text{II-73}$$

$$A_u = A'_u \frac{0.8 \alpha_l b d f_{bu}}{f_{su}} \quad \text{II-74}$$

ii. Cas 2 : $\mu < \mu_l$

Position relative de fibre :

$$\alpha = 1.25(1 - \sqrt{1 - 2\mu}) \quad \text{II-75}$$

Bras de levier :

$$\beta = 0.8 \times \alpha \quad \text{II-76}$$

Section des armatures :

$$A_u = \frac{\beta b d f_{bu}}{f_{su}} et\ A'_u = 0 \quad \text{II-77}$$

Condition de non fragilité :

$$A_u \geq A_{min} \quad \text{II-78}$$

$$\text{A} = \max\{\frac{b_h}{1000}\ ;\ 0.23 b_d \frac{f_{t28}}{f_e}\} \quad \text{II-79}$$

Armatures transversales :

$$\emptyset_t = \frac{1}{3}\emptyset_l \quad \text{II-80}$$

$$\text{L'espacement St} \leq 15 \times \emptyset_l\ ;\ \text{A L/4 des appuis St} = 10\ \text{cm} \quad \text{II-81}$$

❖ **Ferraillage aux appuis :**

Pour déterminer la section d'armatures aux appuis, le principe des calculs est le même en considérant le moment ultime Mu étant le moment max aux appuis.

❖ Vérification de la contrainte tangentielle :

On doit respecter la condition : $\tau_u \leq \overline{\tau_u}$ II-82

$$\overline{\tau_u} = min\left(0.2 \frac{f_{c28}}{\gamma_b}\ ; 5MPa\right) \quad \text{II-83}$$

$$\tau_u = \frac{T_u}{b \times d} \quad \text{II-84}$$

❖ Vérification en ELS

Pour la vérification en ELS on doit respecter les conditions présentées par les relations (II.75) et (II.76).

$$\sigma_{bc} \leq \overline{\sigma_{bc}} \quad \text{II-85}$$

$$\sigma_{st} \leq \overline{\sigma_{st}} \quad \text{II-86}$$

Ces deux paramètres sont calculés par :

$$\overline{\sigma_{bc}} = 0.6 \times f_{c28} \quad \text{II-87}$$

$$\overline{\sigma_{st}} = \begin{cases} f_e \ pour\ les\ FPP\ (fissuraton\ peu\ préjudiciable) \\ min\left(\frac{2}{3}f_e; 110\sqrt{f_{t28}}\right)\ pour\ les\ FP\ (fissuration\ préjudiciable) \\ min\left(\frac{f_e}{2}\ ; 90\sqrt{nf_{t28}}\right)\ pour\ les\ FTP\ (fissuration\ très\ préjudiciable) \end{cases} \quad \text{II-88)}$$

Alors : $$k = \frac{M_{ser}}{I} \quad \text{II-89}$$

$$\sigma_{bc} = k \times y \quad \text{II-90}$$

$$\sigma_{st} = 15\,\mathrm{k(d - y)et}\ \sigma_{st} = 15\,\mathrm{k(y - d')} \quad \text{II-91}$$

y étant la position de l'axe neutre est la solution positive de l'équation suivante :

$$\mathrm{by^2 + 30(As + A's)y - 30(As\,d + A's\,d') = 0} \quad \text{II-92}$$

Le moment d'inertie est obtenu par la formule II-93 :

$$\mathrm{I = 1\,by3 + 15As'(y - d')2 + 15As(d - y)2\,3} \quad \text{II-93}$$

La vérification de la flèche se fait en ELS, la valeur maximale de la flèche d'une poutre a charge uniformément repartie sur deux appuis s'obtient en utilisant la formule

$$f_{max} = \frac{5qL^4}{384EI} \quad \text{II-94}$$

Pour éviter les désordres dans les cloisons, la flèche maximale après construction ne doit pas excéder $f_{max} = \frac{L}{500}$

3. Calcul des Poteaux

A. Coffrage et dimensionnement

Un poteau ou une colonne c'est un élément verticale soumise uniquement à la compression simple centrée ; l'ensemble des forces extérieures agissant à gauche d'une section se réduit à un effort normal unique N de compression perpendiculaire à la section et appliquer au centre gravité G.

a) Conditions aux contraintes

la contrainte du poteau doit être inférieure à la contrainte du béton comme le montre les relations *II-95* et II-96

$$\sigma = \frac{N}{S} \leq \sigma_b = 150kg/cm^2 \qquad \text{II-95}$$

$$S = \frac{N}{\sigma_b} \qquad \text{II-96}$$

Avec N : Force axiale ou la charge sur le poteau et S : Surface du poteau

b) Vérification au flambement

$$\lambda = \frac{lf}{i} \qquad \text{II-97}$$

Avec

lf : la longueur de flambement ; $lf = lo \times k$ II-98

i : est le rayon de giration ; $i = \sqrt{\frac{I}{S}}$ II-99

- lo : hauteur libre du poteau
- k : coefficient de réduction de la hauteur
- I : moment d'inertie
- S : Surface

Condition à respecter : $\lambda \leq 70$

- Si $\lambda \leq 70$, le calcul se fait sans tenir compte des effets de second ordre.

- Si $\lambda > 70$, le calcul doit tenir compte des effets de second ordre.

B. Armatures longitudinales

a) Méthodes de calcul

Effort ultime selon BAEL :

$$Nu = \alpha \left[\frac{b_r f_{c28}}{0{,}9\gamma_b} + A\frac{f_e}{\gamma_s}\right] \qquad \text{II-100}$$

Avec :

- $B_r = (Coté - 2\ cm)^2$, $B_r = [(a - 2\ cm) \times (b - 2\ cm)]^2$: Section réduite du béton
- γ_b : $Coefficient\ du\ béton$ = 1,5 ; - γ_s : $Coefficient\ de\ l'acier$ = 1,15
- f_e : $Limite\ d'élasticite\ de\ l'acier\ en\ Kg/cm^2$
- f_{c28} : $Résistance\ en\ compression\ du\ béton\ après\ 28\ jours\ en\ Kg/cm^2$
- α : $Coefficient\ de\ reduction\ de\ l'effort\ normal\ en\ fonction\ de\ l'élancement$

$$\alpha = \frac{0{,}85}{1 + 1{,}2\left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}\ si\ 0 \le \lambda \le 50 \qquad \text{II-101}$$

$$\alpha = 0{,}6\left(\frac{50}{\lambda}\right)^2\ ; si\ 50 \le \lambda \le 70 \qquad \text{II-102}$$

Correction de α en fonction de la date d'application de plus de la moitié des charges :

- Si **Nu** est appliqué avant 90 j divisée α par 1,1
- Si **Nu** est appliqué avant 28 j divisée α par 1,2 et remplacer fc28 par fcj

b) **Section d'armatures** : $$A \ge \left[\frac{Nu}{\alpha} - \frac{B_r \times f_{c28}}{0{,}9\gamma_b}\right] \times \frac{\gamma_s}{f_e} \qquad \text{II-103}$$

Avec : $A_{min} \le A \le A_{max}$

$$A_{min} = \max[4\text{cm} \times \text{Perimetre}/100\ ;\ 0{,}2\%\text{B}] \qquad \text{II-104}$$

$$A_{max} = 5\%\text{B}. \qquad \text{II-105}$$

C. Armatures longitudinales

$$\frac{\theta L_{max}}{3} \leq \theta_t \leq 12\,mm\,;\, l'espacement: t \leq 15\theta L_{min} \qquad \text{II-106}$$

- $\emptyset L_{max}$: Diamètre maximale des armatures longitudinales
- $\emptyset L_{max}$: Diamètre minimale des armatures longitudinales

4. Calcul des fondations [29] :

Les fondations sont des ouvrages de transition destinés à transmettre au sol, Dans cette partie, nous allons traiter la fondation superficielle en semelle isolée et rectangulaire.

- Par semelle isolée, on entend qu'une semelle est sous un poteau
- Par fondation superficielle, on entend la fondation dont la profondeur de la fouille n'excède pas en général 2 à 3 mètres.

A. Vérification des dimensions de la semelle

La géométrie de la semelle estt déterminées dans la partie **II.7.1.1** consacré au pré dimensionnement, ici on ne va que vérifier si la contrainte respecte la relation la relation II-107

$$\frac{N}{Bx \times By} \leq \sigma dm_{sol} \qquad \text{II-107}$$

$$N = Ns + G_{semelle}\ avec\ G_{semelle} : le\ poids\ propre\ de\ semelle \qquad \text{II-108}$$

B. Calcul des armatures

Les armatures sont calculées à l'état limite ultime de résistance par la méthode des bielles comprimées.

- Pour la nappe inferieure parallèle à Bx, la section d'acier est donnée par :

$$As = \frac{(Nu + 1{,}35G_{semelle}) \times (Bx - Ax)}{8df_{su}} \qquad \text{II-109}$$

- Pour la nappe supérieure parallèle à By, la section d'acier est donnée par :

$$As = \frac{(Nu + 1{,}35G_{semelle}) \times (By - Ay)}{8df_{su}} \qquad \text{II-110}$$

C. Vérification au cisaillement

$$\tau = \frac{Nu}{S_{fissuré}} = \frac{Nu}{2h(Ax + Ay)} \leq \tau_{adm} \qquad \text{II-111}$$

$$\tau_{adm} = min\left[0{,}15 \times \frac{f_{c28}}{\gamma_b}\ ; 4MPa\right] \qquad \text{II-112}$$

5. Calcul des escaliers

Un escalier se calcule comme une poutre en flexion simple avec une base de calcul d'un mètre linéaire puis les armatures trouvées sur base d'un mètre de longueur seront généralisées sur la longueur totale. Ici on considère :

- $Pu_{paillasse}$: Charge totale pondérée sur la paillasse
- Pu_{palier} : Charge totale pondérée sur le palier

A. Calcul des sollicitations

nous allons tout d'abord déterminer la charge équivalente donnée par la formule II-113

$$q_{equiv} = \frac{(Pu_{paillasse} \times L_{paillasse} + Pu_{palier} \times L_{palier})}{L} \qquad \text{II-113}$$

B. Calcul des moments

Le moment isostatique de référence, le moment en travée ainsi que le moment aux appuis est donnée par les formules du tableau Tableau II-10

Tableau II-10 Calculs des moments de l'escalier

Moments isostatique	Moment en travée	Moment sur appuis
$Mo = \frac{q_{equiv} \times L^2}{8}$	$M_t = 0{,}85M_o$	$M_a = 0{,}2\ M_o$

C. Calcul de l'effort tranchant

Pour trouver l'effort tranchant on fait de la même façon montré précédemment lors du dimensionnement des poutres. Afin d'obtenir ces différentes valeurs en ELS, on va multiplier chaque valeur par un coefficient $\varepsilon = \frac{q_{els}}{q_{elu}}$

Calcul du moment réduit : $$\mu = \frac{Mu}{bd^2 f_{bu}} \quad \text{II-114}$$

Avec :

- M_u : Le moment ultime
- f_{bu} : Contrainte limite du béton
- b = 1m et $d = 0{,}9h$

La section des armatures est donnée par II-115:

$$A_{st} = \frac{M_u}{z\sigma_{st}} \quad \text{II-115}$$

Avec

z : Le bras de levier

σ_{st} : est la contrainte admissible de l'armature à la traction

$$z = d(1 - 0.4\alpha) \quad \text{II-116}$$

$$\alpha = 1{,}25\left(1 - \sqrt{1 - 2\mu}\right) \quad \text{II-117}$$

$$\sigma_{st} = \frac{fe}{\gamma_s} \quad \text{II-118}$$

Armatures transversales : II-119

$$Armature_{transv} = \frac{Armature_{principale}}{4}$$

II.8 Conclusion partielle

Ce chapitre a permis de présenter l'ensemble des analyses techniques relatives à l'étude structurale et acoustique de la bibliothèque publique projetée. Les choix des matériaux et des techniques de construction ont été justifiés en tenant compte des exigences mécaniques, acoustiques et du contexte local.

L'analyse structurale a permis de définir les actions appliquées au bâtiment et de poser les bases du comportement mécanique de la structure en béton armé. Par ailleurs, l'étude acoustique, appuyée par des mesures de terrain et des enquêtes auprès des usagers, a mis en évidence les besoins réels en matière de confort sonore.

Les solutions proposées, notamment l'utilisation de parois doubles et de systèmes avec cavité d'air, permettent de répondre aux insuffisances constatées et d'assurer une conformité satisfaisante aux exigences acoustiques d'une bibliothèque publique.

Chapitre III : PRESENTATION DES RESULTATS DES CALCULS ACOUSTIQUES ET STRUCTURALS

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons aborder l'analyse structurale et acoustique de notre projet dont l'objectif est de déterminer les contraintes appliquées à notre structure, déterminer son comportement pour nous permettre de dimensionner les éléments porteurs de l'ouvrage en fonctions de sollicitation qui lui sont appliquée, à la suite nous allons calculer les différents paramètres intervenant dans l'isolation des bruits aérien et de bruit solidien. ainsi, nous allons déterminer les niveaux des réduction sonore de nos parois et les niveaux sonores obtenus dans l'une de salle de lecture en suite cette valeur sera généralisée pour toute les salles en respectant les dimensionnement obtenus.

III.2 CALCULS ACOUSTIQUE

III.2.1 Hypothèses de calcul

Afin de bien structurer le calculer nous nous sommes fixe préalablement quelques hypothèses dont **:**

- Pour les parois simples : L'isolation aux bruits aériens est régie par la loi de masse, où l'indice d'affaiblissement dépend principalement de la masse surfacique des parois.
- Pour les parois doubles : Le comportement modélisé par le principe masse-ressort-masse et La fréquence de résonance conditionne son efficacité (plus elle est basse, meilleure est l'isolation dans les basses fréquences)
- Nous utilisons des fenêtres à double vitrage avec l'indice d'affaiblissement connue R= 35 dB

III.2.2 Données d'entrée

1. Données liées à la géométrie

Tableau III-1 données d'entrée

Paramètre	Valeur	Source / calcul
Surface au sol	257 m²	Annexe A.6 Plans architecturaux et plan structural
Hauteur sous plafond	3,5 -0 ,2= 3,3m	Conception
Volume V*V*	257×3,5=899,5257×3,5=899,5 m³	Calcul
Murs exposés	2 murs de 20 m + 1 mur de 12 m= 52 m	Annexe A.6 Plans architecturaux et plan structural
Surface totale façade Stot	(2×20+12)×3,5=182(2×20+12)×3,5=182 m²	Calcul
Temps réverbération cible Tr	0,6s à 1 s	
Absorption nécessaire A	0,16×899,5/0,8=1800,16×899,5/0,8=180 m²	II.6.4
Niveau extérieur Lext	75 dB(A)	Mesures terrain II.6.1

2. Surface des ouvertures

Tableau III-2 surface des ouvertures

Elément	Dimensions	Surface unitaire	Nombre	Surface totale SS (m²)
Fenêtre	2 m × 2 m	4 m²	4	16
Portes	2,5 m × 3 m	7,5 m²	2	15
Mur plein	-	-	-	182−31 =151

III.2.3 Détermination de l'indice d'affaiblissement acoustique

Il s'agit ici de présenter les résultats des calculs de performance acoustique des parois et des éléments du bâtiment (fenêtres et portes)

III.2.3.1 **Mur extérieur**

Le tableau représente respectivement la répartition de couches du mur extérieur de la bibliothèque, les masses volumiques de matériaux qui composent ces couches ainsi que leurs masses surfaciques

Tableau III-3 composition du mur extérieur du bâtiment

Couche	Épaisseur (m)	Masse volumique (kg/m³)	Masse surfacique (kg/m²)
Enduit extérieur	0,015	1800	27
Brique pleine	0,22	1900	418
Enduit intérieur	0,015	1800	27
Total	**0,25**	-	**472**

$R_{mur} = 13.3\log(472) + 12 = \mathbf{47,6\ dB}$ selon la formule II-1

III.2.3.2 **Performance acoustique des portes**

Ici, on détermine la performance des portes afin de déterminer la quantités des bruits qui passe par ce pont acoustique, cela aide à choisir le type des porte selon sa qualité acoustique disponible sur les marché.

Tableau III-4 indice d'affaiblissement minimale des portes calculés

Rp(dB)	**Terme portes Sp×10 −Rp/10*S***	**Terme murs Sm×10−Rm/10*S***	**Terme fenêtres Sf×10−Rf/10**	**Somme transmission**	**Rgloba (dB)**	**Lint (dB(A))**	**Lint≤ 35?**
25	0,04740	0,002627	0,005056	0,055083	35,19	39,9	NON

30	0,01500	0,002627	0,005056	0,022683	39,04	36,0	NON
31	0,01191	0,002627	0,005056	0,019594	39,68	35,3	NON
32	0,009465	0,002627	0,005056	0,017148	40,26	34,8	**OUI**
33	0,007515	0,002627	0,005056	0,015198	40,78	34,2	OUI

R_{porte} =10log(182/somme) selon la formule II-1

Lint=75−Rglobal+10log(182/180)

Valeur retenu : R_{porte}=32 dB (Performance acoustique des portes)

III.2.3.3 **Performance acoustique des fenêtres**

Tableau III-5 performance de vitre de le fenêtre donnée par CNB [27]

Type	Configuration	R_f (dB)
Double vitrage	4-12-4	35

III.2.3.4 **Isolement au bruits aériens II-2 et II-6**

Ici nous présentons les résultats trouvés pour le calcul de l'isolation aux bruit aérien, nous présentons l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi composite extérieur et le niveau sonore à l'intérieur de la salle. Le Tableau III-6 nous montre ces résultats

Tableau III-6 contribution des éléments à la transmission sonore globale

Élément	**Surface de transmission (m^2)**	**R (dB)**	**$10^{R/10}$**	**Transmission pondérée**	**Contribution (%)**
Mur plein	151	47,6	$1,74\times10^{-5}$	0,002627	15,3
Fenêtres	16	35	$3,16\times10^{-4}$	0,005056	29,5

Portes	15	32	$6{,}31\times10^{-4}$	0,009465	55,2
Total	**182**	**40,26**		**0,017148**	**100**

R_{global} = **40,26 dB**

Lint=**34,8 dB** (niveau sonore à l'intérieur de la salle de lecture)

III.2.4 Isolement aux bruits d'impact (bruit solidien)

Ici nous présentons les résultats de calcul des épaisseurs réaliste pour l'isolation du plancher et de la toiture, on vérifie chaque matériau parmi les deux matériaux utilisés (laine minérale de roche et la laine de verre), on vérifie selon une fréquence de résonnance susceptible d'être engendrée par le type de bruit auquel on fait face.

III.2.4.1 **Isolation de la toiture**

Le tableau nous montre le résultat de calcul de l'épaisseur de la couche d'isolation nécessaire selon des fréquences de résonnance suffisamment proche de celle que peut provoquer la pluie sur une plaque de tôle. Il s'agit donc de trouver une épaisseur et une fréquence de résonnance disponible commercialement pour les matériaux d'isolation utilisés.

Le but est de modérer sur l'épaisseur et la fréquence à la fois pour vaincre la fréquence de résonnance de la pluie et éviter de surcharger la toiture.

Tableau III-7 calcul itératif de l'épaisseur de la laine de verre pour l'isolation de la toiture

Épaisseur e (mm)	**s′ selon** II-9 **(MN/m³)**	***fr* selon** II-7 **(Hz)**	**Domaine d'efficacité selon** *II-8* **en (Hz)**	**Adapté aux bruits de pluie ?**
50	10,0	224	> 317	Partiellement
60	8,33	204	> 288	Oui
70	7,14	189	> 267	Oui
80	6,25	177	> 250	Oui
90	5,56	167	> 236	Oui

100	5,0	158	> 223	Oui
120	4,17	144	> 204	Oui

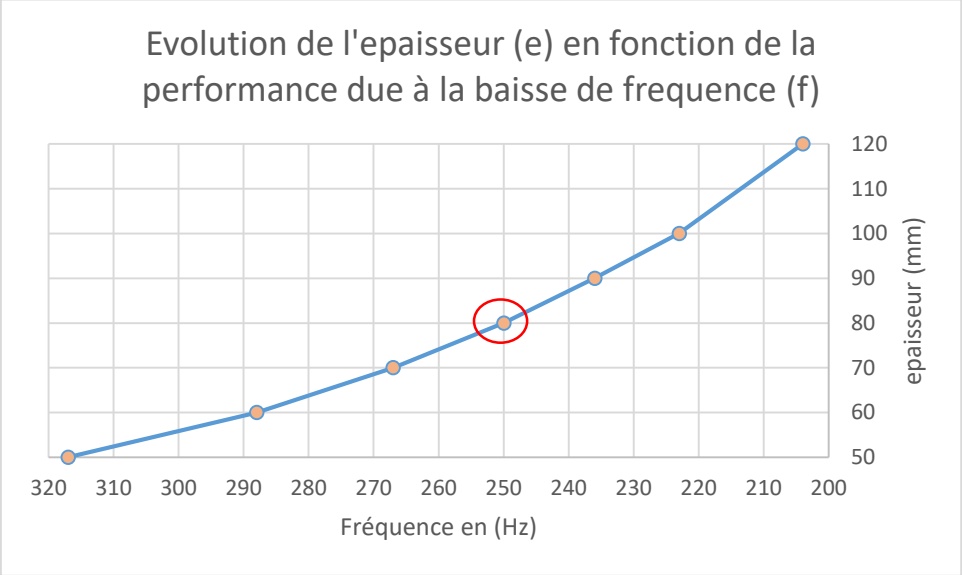


Figure III-1graphique d'évolution de l'épaisseur en fonction de la performance du parois due à la frequence

Choix retenu : e= **80 mm** (disponible commercialement, *fr*=177fr, efficacité aux bruit de fréquence **f≥ 250 Hz**), avec *fr* basse on arrive à éliminer tous les bruit (son) grave et donc répondre à l'isolation de bruit aigus comme est le cas de la pluie sur le toit (en tôle).

III.2.4.2 **Isolation du Plancher**

Pour le plancher, nous allons présenter le calcul de l'épaisseur minimale de la laine de roche, pour éviter la transmission solidienne de bruit à partir de la transmission latérale par pont Phonique en suite vérifier sa résistance en compression pour s'assurer que la couche va résister à la charge d'exploitation et du plancher léger sans s'effondrer tout en gardant son comportement de ressort dans ce système.

Le Tableau III-8 nous présente les itérations effectuées pour trouver l'épaisseur réaliste qu'il nous faut.

1. Vérification de l'épaisseur

Il s'agit de vérifie l'épaisseur en fonction de la fréquence de résonnance, nous devons avoir une épaisseur qui nous favorise à la fois sur la charge sur le plancher et qui répond à une fréquence basse afin de mieux isolé les bruit grave (bruit de déplacement et bruit de chocs)

Tableau III-8 Itération sur l'épaisseur de laine de roche

Épaisseur e (mm)	**s'selon** II-9 **(MN/m³)**	**fr= (Hz) selon** II-7	**fr≤50 ?**
10	20,0	60,5	NON
12	16,67	55,2	NON
14	14,29	51,1	NON
15	13,33	49,4	OUI
20	10,0	42,7	OUI
30	6,67	34,9	OUI
40	5,0	30,2	OUI

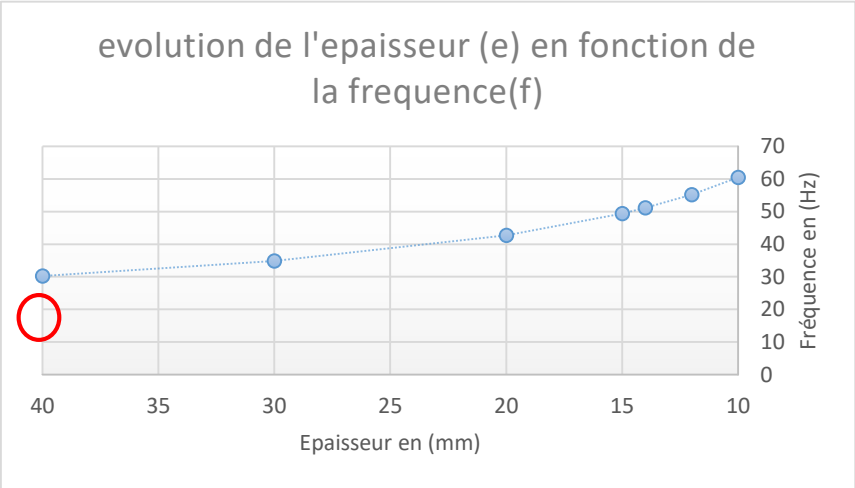


Figure III-2 graphique de l'évolution de l'épaisseur de la laine de roche en fonction de la fréquence

2. Vérification de la résistance en compression de la laine de roche

Charge	**Valeur (kPa)**	**Coefficient ψ**	**Contribution (kPa)**
Permanente G(chape+parquet)	140×10/10004	1,0	1,4
Exploitation Q (salle lecture)	4,0	0,3	1,2

Contrainte appliquée σapp	-	-	**2,6 kPa**
Contrainte limite σ10 (laine de roche)	-	-	**≥20 kPa**

Condition σapp≤σ10 vérifiée selon **II-11**

Choix retenu : **e**=40 mm (conformité DTU 52.10, *fr*=30,2 Hz)

III.2.5 Calcul du temps de réverbération dans la salle selon la formule II-3

Dans cette partie, nous présentons, le calcul du temps de réverbération dans la salle et le dimensionnement des absorbants (mousse synthétiques) pour le maintenir au seuil de 0.6 à 1s

Le tableau nous présente le calcul de la réverbération initiale

III.2.5.1 **Temps de réverbération initiale**

Tableau III-9 calcul de la réverbération initiale de la salle

Surface	**Matériau**	**Surface Si (m²)**	**Coefficient *αi*(500 Hz) selon le Tableau I-2**	**Ai=Si×αi (m²)**
Murs	Plâtre	≈ 180	0,03	5,4
Plafond	Plâtre	257	0,03	7,7
Sol	Carrelage	257	0,01	2,6
Fenêtres	Verre	16	0,02	0,3
Portes	Bois	15	0,05	0,8
Total $A_{initial}$	-	-	-	**16,8 m²**

Le volume de la salle V= surface du sol x la hauteur sous plafond →V=257 m^2 x 3.3m= 848m^3

$$\boldsymbol{Tr = \frac{0.16V}{A} = \frac{0.16\times899.5}{16.8} = 8,56\ s}\ innaceptable\ par\ rapport\ au\ seuil\ recommandé$$

Comme le temps de réverbération initiale est très élevé par rapport au seuil de 0.6 à 1 s recommandé pour une salle de lecture, c'est indispensable pour cette salle d'avoir des panneaux d'absorption (mousse synthétique)

III.2.5.2 **Correction du temps de réverbération**

Pour corriger le temps de réverbération, nous devons calculer la surfacique théorique d'absorption à un temps de réverbération fixé , à partir de la formule **II-3**

Pour un objectif d'une valeur moyenne de 0.8 s dans la salle, nous avons

$$\mathbf{0,8} = \frac{\mathbf{0.16}\boldsymbol{V}}{\boldsymbol{A}} \rightarrow \boldsymbol{A} = \frac{\mathbf{0.16 \times 899.5}}{\mathbf{0.8}} = \mathbf{180}\boldsymbol{m^2}$$

Le Tableau III-10 nous expose le calcul itératif pour de la correction du temps de réverbération et de la surface d'absorption réaliste

Tableau III-10 itération sur les panneaux absorbant (α=0,9)

Surface panneaux Sp(m²)	**$A_{Panneaux}$=Sp×0, 9 (m²)**	**A_{total}=16,8+Apanneaux (m²)**	$\boldsymbol{Tr = \frac{0.16 \times 848}{Atotal}}$	**Observation**
130	117	123.8	1,09 s	Un peu élevé
140	129	142.8	0,95 s	Limite haute
150	135	151.8	0,89 s	Acceptable
160	144	160.8	0,84 s	Bon
170	153	169.8	0,80	bon
180	162	178.8	0,75 s	bon

Choix retenus : 150 m² des absorbants nécessaires pour atteindre **Tr=0.89s (seuil de 0.6 à 1 s)**

Le tableau Tableau III-11 nous présente le récapitulatif générale de l'étude acoustique du bâtiment.

Tableau III-11 Récapitulatif du dimensionnement acoustique

Élément	**Matériau / Composition**	**Dimension**	**Performance**	**Référence**
Mur extérieur	Brique pleine 22 cm + enduits	e=25 cm	R= 47,6 dB	Éq. II.6-1
Fenêtres	Double vitrage 4-12-4	S=16 m²	R=35 dB	CSTB(annexe)
Portes	Portes acoustiques	S=15 m²	R=32 dB	

Façade complète	Mur + fenêtres + portes	Stot=182 m²	Rglobal=40,3 dB	Éq. II.6-2
Niveau int	-	-	**Lint=34,8 dB(A)**	
Toiture	Laine de verre	e= 80 mm	fr = 177 Hz	Tableau III-8
Plancher flottant	Laine de roche	e= 40 mm	fr= 30,2Hz	Tableau III-10
Absorption	Panneaux acoustiques (α=0.9)	S=150 m²	Tr=0,81 s	Tableau III-13

III.3 Analyse structural

Dans cette partie nous allons présenter les résultats de de calcul de l'analyse de notre structure, il s'agit de calcul des efforts intérieurs, et de contraintes dans les éléments, on va finir par valider les dimensions des éléments notre structure en le vérifier selon les conditions prescrites à la méthodologie.

III.3.1 Pré dimensionnement des éléments structuraux

III.3.1.1 **Pré dimensionnement des plancher**

Nous allons étudier le plus grand des panneaux, qui est une dalle rectangulaire, ayant comme dimensions $l_x = 5{,}67m$ et $l_y = 6{,}56m$, le rapport des portées donné par la relation II-12 est tel-que :

$$\alpha = \frac{lx}{ly} = \frac{5{,}67}{6{,}56} = 0{,}864 > 0{,}4$$

Comme $\alpha > 0{,}4$, notre dalle porte donc dans le deux sens, donc les moments existent selon x et selon y : $M_x \; et \; M_y$. Vu que nous avons une dalle avec continuité, l'épaisseur e_d s'obtient en utilisant la relation II-17 et dois vérifier la condition de la flèche donnée par la relation II-18 telle que :

$e_d \geq \frac{5{,}67}{40} = 0.14$ et $\frac{5.67}{30} \geq 0.14 \geq \frac{5.67}{50}$ $d'o$ù $0.18 \geq 14 \geq 0.11$

Ici pour le pré dimensionnement de notre dalle, nous prenons une épaisseur e_d = 15 cm =0.15

m afin de garantir une bonne stabilité et isolation acoustique entre les deux étages

III.3.1.2 **Pré dimensionnement des poutres**

Pour nos bâtiments nous allons considérer une poutre hyperstatique, avec comme grande portée $L\max = 8.5$ m.

La hauteur h_p de la poutre est obtenu par la relation II-19

$$\frac{8.5}{15} \leq h_t \leq \frac{8.5}{10} \rightarrow 0.56 \leq h_t \leq 0.85$$

Nous optons pour une hauteur $h_p = 0.5$ m,

partant de la relation II-20, la base de notre poutre sera :

$$0{,}3 \times 0.5 \leq b \leq 0{,}8 \times 0.5 \rightarrow 0.15 \leq b \leq 0.4$$

Ici nous adoptons comme base de notre poutre $b = 25\ cm$, ainsi nous avons une poutre rectangulaire de section $S = 25\ cm \times 50\ cm$

Vérification RPA suivant la formuleII-21 :

$$\begin{cases} 25 \geq 20cm \\ 50 \geq 30cm \\ 2 \leq 4 \end{cases}$$

III.3.1.3 **Pré dimensionnement des poteaux**

Nos poteaux ici sont de section carrée, avec une hauteur $H = L_o = 350\ cm$. Partant des relations II-22 jusqu'à II-27 nous présentons dans le calcul de la section des poteaux dans le Tableau III-12

Tableau III-12 Pré dimensionnement Poteaux

Poteau type	$L_o(cm)$	$L_f(cm)$	λ	*Coté a (cm)*
Tout	350	175	24.3 <50	20,785

Nous prenons un côté a et $b = 25\ cm$ pour des raisons d'uniformité avec la poutre et la recommandation RPA pour en zone de sismicité faible (ZONE I) donc une section carrée de $25cm \times 25\ cm$.

III.3.1.4 **Pré dimensionnement des escaliers**

Avec une hauteur sous plafond $H = 3.5m$, nous avons choisi un escalier à deux volées avec palier de repos intermédiaire. La hauteur des marches h et le giron g sont obtenus par la formule de Blondel II-32

$$60cm \leq 2h + g \leq 64cm$$

Afin de respecter cette condition, nous adoptons une hauteur des marches h = 16 cm et un giron g = 28 cm

$60cm \leq 2 \times 16\ cm + 28\ cm \leq 64cm \Rightarrow 60cm \leq 60\ cm \leq 64cm$

1. **Nombre de contremarches**

$$n = \frac{H}{h} = \frac{350}{16} = 21.875$$

Nous prenons n= 22, Dans ce cas, le nombre des marches sera alors m= n-1 = 22-1=21 marches

2. **Inclinaison de paillasse**

Pour une longueur de la ligne de foulée L = 310 cm, l'inclinaison de la paillasse de notre escalier déterminée par la relation II-35 est :

$$tg\alpha = \frac{175}{310} = 0.564\ , \alpha = arctg(0.564) = 29.4°$$

Comme nous avons déjà l'angle d'inclinaison, la longueur de la paillasse L_{inc} est obtenue à partir de la relation *II-36*

$$Linc = \frac{175}{Sin(29.4°)} = 357{,}14\ cm.$$

Avec une inclinaison α = 29.4° et une longueur L_{inc} = 357.14 cm, il ne sera pas difficile de franchir notre paillasse vu que la pente est confortable.

3. Epaisseur de palier

Pour la détermination de l'épaisseur « e » du palier et de la paillasse, nous avons utilisé la relation II-37

$$\frac{357.14}{30} \leq e \leq \frac{357.14}{20} \rightarrow 11.9 \leq e \leq 17.857$$

Nous adoptons une épaisseur (e=15 cm)

III.3.1.5 **Pré dimensionnement des Semelles**

(Suivant les formules dans la 3ième colonne du tableau)

Condition d'homothétie	$\frac{B_x}{B_y} = \frac{25}{25} = 1$	**II-28**
coffrage	$Bx = By\sqrt{\frac{Ns.25}{\sigma_{adm}.Ay}} =$	II-29
Condition de la semelle rigide	$H \geq \max[\frac{Bx - Ax}{4}, \frac{By - Ay}{4}] + 5cm$	II-30
Condition aux contraintes	$\sigma_{sol} \geq \frac{Ns}{S}$ $donc\ S = \frac{Ns}{\sigma_{sol}}$	**II-31**

III.3.2 Evaluation des charges

III.3.2.1 Charge de la toiture

Les différentes charges sur notre charpente sont présentées dans le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** en appliquant toutes les relations du point II.7.1.2du chapitre précédent.

Tableau III-13 Calcul des charges des toiture

G	Poids propre de la ferme	$L(m)$	S(m^2)	V(m^3)	ρ_k	g	$Gferme(N)$
		Panne (50)	0.01	0,5	320	9.81	1569,6 N
		Ferme (37)	0.0125	0.462	320	9.81	1451.88N
		Gferme					3021.48 N
	Charge de l'isolation	$Entr_{ferme}(m)$	épaisseur	$S_u(m^2$	ρ		

		3	0.08m	25.5 m^2	40kg/m^3	9.81	800 N
	Charge des couvertures	$Entr_{ferme}(m)$	$L_{alb}(m)$	$S_u(m^2)$	$gcouv$	$Gcouverture(N)$	
		3	8,5	25.5	0,4kN/m^2	10200 N	
	$G = Gferme + Gcouverture$				**15473.36 N**		
Q	Charge due à l'entretien	$Entr_{ferme}(m)$	$L_{alb}(m)$	$S_u(m^2)$	$qentr$	$Qentretien(N)$	
		3	8.5	25.5	0,8	20400	
	Charge du au vent	$Entr_{ferme}(m)$	$L_{alb}(m)$	$S_u(m^2)$	q_v	$Q_{vent}(N)$	
		3	8,5	25.5	1640	41820	
	$Q = Qentret + Qvent$	**62220 N**					
	ELS: Ps = G+Q	**77693.36 N**					
	ELU: 1,35G + 1,5Q	**114219.036N**					
	ELU en kN	**114.2kN**					

III.3.2.2 **Charge du plancher**

Nous allons évaluer les charges de notre dalle qui a une épaisseur $e_d = 15\ cm$, et constituée par d'autres couches toutes décrites au point II.3.2.2 du précédent chapitre. Le tableau III.3 donne les valeurs trouvées du poids de la dalle :

Tableau III-14 Charge sur dalle

1. CHARGES PERMANENTES			
Couches constitutives	Epaisseur(m)	Poids volumique (KN/m³)	Poids surfacique (KN/m²)
Parquet + Chappe	0,03	-	0,6
Isolation(laine minérale de roche)	0.04	1kN/m^3	0.04kN/m^2
Dalle en B.A	0,15	25 kN/m^3	3,75
Enduit sous dalle	0,02	18	0,36
g			4,71

2. CHARGE D'EXPLOITATION	
Pour notre cas, il s'agit d'un bâtiment public (salle de lecture) D'après la norme NF P 06-004, la charge sera :	
q	4 kN/m^2
ELS : $P_s = G + Q$	8,71 KN/m²
ELU : $P_u = 1{,}35G + 1{,}5Q$	12,36 KN/m²

III.3.2.3 **Charge sur les poutres**

Nous avons considéré pour notre cas une poutre continue sur une longueur $Lt = 1580\ cm$ pour des raisons d'économie et de rigidité. Les poutres sont de section rectangulaire $S = 25\ cm \times 50\ cm$ obtenue lors du pré dimensionnement.

Le Tableau III-15 nous donne les valeurs de la charge influencées par la surface des dalles, le Tableau III-16 le poids propre de la poutre ainsi que le poids des murs dans le Tableau III-17 avec des travées qui sont égales.

Tableau III-15 Evaluation des charges influencées par la dalle sur la poutre

S_{infl}(m²)	P_s(KN/m²)	P_u (KN/m²)	$L_i(m)$	qdi en ELS (KN/m)	qdi en ELU(KN/m)
28.45	9,71	13,858	8.5	**32.499kN/m**	**46kN/m**

Tableau III-16 Poids propre de la poutre en étude

Section(m²)	γ_{BA}(KN/m³)	g_{pi} en ELS(KN/m)	g_{pi} en ELU(KN/m)
0,125	25	**3,125kN/m**	**4.218 kN/m**

Les charges dues aux murs sur les poutres sont calculées dans le Tableau III-17

Tableau III-17 Evaluation des charges dues par les murs sur la poutre

type	H.mur(m)	Epaisseur mur(m)	γ_{mur}(KN/m³)	g_{mi} en ELS (KN/m)	g_{mi} en ELU (KN/m)
Mur extérieur	3	0,25	19	**14,2 5kN/m**	**19,24kN/m**
Mur intérieur	3	0,20	9	**5,67kN/m**	**7,65 kN/m**

Apres évaluation des différentes charges, le Tableau III-18 nous donne les charges selon les

états limites (ELS et ELU)

Pour obtenir séparément les charges permanentes et concentrée sur nos poutres nous allons extraire la charge d'exploitation issu de la dalle comme présenter dans le tableau Tableau III-14

Tableau III-18 tableau des charges appliquée à la poutre

N°	G en ELS(KN/m)
ELS	**50kN/m**
ELU	**69.118 kN/m**

III.3.2.4 **Charge sur les poteaux**

Nous allons dimensionner seulement le poteau le plus chargé de notre bâtiment, les autres poteaux pourront adopter la section de celui-ci.

Notre poteau le plus chargé est sous R+2 avec une surface d'influence ($Sinfl$ = 16,12 m^2)

Avec une surface d'influence, l'évaluation des charges sur notre poteau est représentée dans le tableau III.9 pour l'influence de la toiture, tableau Tableau III-19pour l'étage 1 et 2 dans leTableau III-20 pour la RDC. La combinaison des charges se fera en ELU nous allons évaluer les charges appliquées sur le poteau se trouvant dans la partie du bâtiment ayant 3 niveau (R+2 , y compris la toiture) ayant une surface d'influence de 16.85 m^2.

Tableau III-19 évaluation des charge de toiture sur le poteau en étude

TOITURE	Poids total de la toiture sur poteau	$Sinfl(m2)$	γtoit$(KN/m2)$	Gtoit(KN)
		16,85	4,478	75 ,45
ELU : Nu_{Toit} (pot1)		**75,45 kN**		

Tableau III-20 évaluation des charge de l'étage sur le poteau en étude

	Plancher	$Sinfl(m2)$	$Poids_{dalle}(KN/m^2)$(ELU)	$Gdalle$(KN)
		16,85	12,36	208,3
	Poutres	$Lpoutre(m)$	$Poids_{poutre}(KN/m)$	$Gpoutre$(KN)
		8.29	4.218	35,524

ETAGE-1	Mur	$Lmur\ (m)$	$Poidsmur(KN/m)$ intérieur		$Gmur$(KN)
		8,3	7,65		63,5
	Poteau	$Hpoteau(m)$	$Spoteau(m2)$	$\gamma BA\gamma BA$ (KN/m^3)	$Gpoteau$(KN) En ELU
		3,5	0,0625	25	7,3 8kN
ELU : $Nu_{ETG} = 1{,}35G + 1{,}5Q$		**314,704kN**			
ETAGE-2		**314,704kN**			

Au niveau de l'étage, nous avons un effort ultime de **314,704kN** résultant du poids propre de la dalle, les poutres, les murs et le poteau ainsi que la charge d'exploitation sur la même surface d'influence.

Tableau III-21 Evaluation des charges de la RDC sur le poteau en étude

RDC	Poutres	$Lpoutre(m)$	$Poids_{poutre}(KN/m)$		$Gpoutre$(KN)
		8,29	4,218		35 kN
	Poteau	$Hpoteau(m)$	$Spoteau(m2)$	$\gamma_{BA}(KN/m^3)$	$Gpoteau$(KN)
		3,5	0,0625	25	7,3 kN
ELU : $Nu_{RDC} = 1{,}35G$		42,3kN			

En considérant le poids propre du poteau et des poutres on a un effort $NuRDC$ = 40,5 kN. Pour dimensionner le poteau, l'effort ultime résultant de la descente des charges est donné par le tableau Tableau III-22

Tableau III-22 Charges cumulées résultant de la descente des charges

Niveau	$Nu_i(KN)$	$Nucumulé$(KN)
TOITURE	75,45kN	75.45 kN
ETAGE-2	314,704kN	390,154 kN
ETAGE-1	314,704kN	704,858 kN
RDC	42,3kN	**747,158kN**

L'effort ultime à considérer lors du dimensionnement de notre poteau est l'effort $Nu_{cumulé}$ au niveau du rez-de-chaussée. Nu=**747,158kN**, cette même charge sera considérée Lors du dimensionnement de la semelle.

III.3.2.5 **Charge s des escaliers**

Evaluer les charges sur les escaliers revient à déterminer son poids propre ainsi que la charge d'exploitation que reprends sa surface. Le Tableau III-23 et Tableau III-24 présentent successivement le poids de la paillasse et le poids du palier de notre escalier partant des relations allant de **II-43** à **II-49.**

1. **Poids de la paillasse**

Tableau III-23 Evaluation des charges de la paillasse

1. Redans	*m*	*g (m)*	*h (m)*	$E_m(m)$	$V_r(m^3)$
	11	0,28	0,16	1,2	0,295
2.Dalle paillasse	*e (m)*	$E_m(m)$	$L_i(m)$	$V_p(m^3)$	
	0,15	1,2	3,571	0,642	
3. Enduit	$e_{end}(m)$	$E_m(m)$	$L_i(m)$	$V_{end}(m^3)$	
	0,02	1,2	3,571	0,085	
4. Carrelage/parquet	*m*	*g (m)*	*h (m)*	$E_m(m)$	$S_{carr}(m^2)$
	9	0,28	0,16	1,2	6,732
1 $G = [(Vr + Vp) \times \gamma BA + Vend \times \gamma enduit + Scarr \times \gamma carr] \times 1/\text{Li}$					11,27 KN/m
$Gpaillasse$	$G \times \cos \alpha$				6.956 KN/m
$Qpaillasse$	$(E_m \times 5KN/m^2) \times \cos \alpha$				6 KN/m

Nous trouvons le poids propre de la paillasse ainsi que la charge d'exploitation, lors du dimensionnement on va utiliser $Gpaillasse$, $Qpaillasse$ et la longueur $L = Li \times \cos \alpha$ car l'angle α obtenu pendant du pré dimensionnement intervient pour avoir une représentation horizontale. Donc L = 3,111 m

2. **Poids du palier**

Le poids du palier est obtenu en appliquant la relation**II-49** comme le montre le Tableau III-24

Tableau III-24Evaluations des charges du palier de repo

1. Dalle palier	*e (m)*	*Longueur Ly (m)*	*Largeur Lx (m)*	*V* (m^3)
	0,15	2,5	1,2	0.45
2. Enduit	e_{end} (m)	Longueur Ly (m)	Largeur Lx (m)	V (m^3)
	0,02	2,5	1,2	0,06

3. Carrelage	-	*Longueur Ly (m)*	*Largeur Lx (m)*	*S (m^2)*
		2,5	1,2	3
$G_{palier} = [(\gamma_{BA} \times e \times S_p) + (S_p \times \gamma_{carr}) + (S_p \times e_{end} \times \gamma_{enduit})] \times 1/\text{Lx}$				9,885 KN/m
$Q_{palier} = (Longueur \times 5KN/m^2)$				12,5 KN/m

Notre palier a une charge permanente $Gpalier$ = 9,885 KN/m et une charge d'exploitation $Qpalier$= 12,5 KN/m. Le Tableau III-25 représente les charges combinées par mètre linéaire que nous allons considérer lors du dimensionnement de notre escalier.

Tableau III-25Combinaison des charges de la paillasse et du palié

PAILLASSE	$Gpaillasse$	$Qpaillasse$	q_{paill} en ELS	q_{paill} en ELU
	6.956 KN/m	6 KN/m	13 KN/m	18,39 KN/m
PALIER	$Gpalier$	$Qpalier$	$qpalier$ en ELS	$qpalier$ en ELU
	9,888 KN/m	12,5 KN/m	22,388 KN/m	32KN/m

III.3.3 Dimensionnement des éléments de la structure

III.3.3.1 **Hypothèses de calcul**

Pour le dimensionnement, nous nous sommes fixés certaines hypothèses qui vont nous aider à bien procéder aux calculs en se basant des réalités de notre région.

1. La résistance caractéristique du béton est de :fc_{28}=25MPa =2.5kN/cm^2
2. La limite d'élasticité de l'acier : *fe*= 500MPa = 50kN/cm^2
3. La fissuration est peu préjudiciable (FPP)
4. σsol= 1,3 MPa =0.13 kN/cm^2
5. E= 2 .10^5 MPa
6. Coefficients de sécurité :

   γb = 1,5 (béton)
   γs = 1,15 (acier)

III.3.3.2 **Dimensionnement du plancher**

Nous allons dimensionner le plus grand panneau dans notre bâtiment, ce panneau a comme dimension : *lx* =5,67 m et *ly* = 6,56 m avec un coefficient α=0,864 >0,4 ; notre dalle porte bien dans les deux sens, le tableau nous donne les coefficients de réduction μ_x et μ_y en se servant de la relation

Tableau III-26 coefficient de réduction μx et μy

α=0,864	μ_x	μ_y
Etat Limite Ultime	0,0447	0,767
Etat Limite de Service	0,0517	0,837

1. **Moment isostatique**

Nous allons déterminer les moments isostatiques en se basant sur les relations II-50 et **II-53**. Le tableau III.17 présente les différentes valeurs de Mox et Moy.

Tableau III-27 Moments isostatiques de la dalle

$\alpha = 0{,}833$	μ_x	μ_y	$q\ (KN/m)$	$lx\ (m)$	$M_{ox}(KNm)$	$M_{oy}(KNm)$
ELU	0,046	0,773	12,36	5,67	16,28	12,58
ELS	0,052	0,722	8,71	5,67	13,44	9,7

2. **Moments en travée et aux appuis (selon les coefficient donnés sur la** Figure II-13**)**

Le tableau donne les valeurs des moments en travée et moment sur appuis selon x et y e

Tableau III-28 Moments en travées et aux appuis de la dalle

Moment	Coefficient	ELU (kNmm)	ELS (kNmm)
Mtx (travée x)	0,75 Mox	0,75×16,28 = **12,21**	0,75×13,44 = **10,08**
Max (appui x)	0,50 Mox	0,50×16,28 = **8,14**	0,50×13,44 = **6,72**
Mty (travée y)	0,75 Moy	0,75×12,58 = **9,44**	0,75×9,70 = **7,28**
May (appui y)	0,50 Moy	0,50×12,58 = **6,29**	0,50×9,70 = **4,85**

Nous allons effectuer notre dimensionnement en ELU, ainsi les valeurs des moments en travée et aux appuis considérées seront les valeurs maximums.

- En travée : on considère Mtx =12.21 kNm= **1221kNcm**, Mty =9,44kNm =**9440kNcm**
- Aux appuis : on considère May= 8,14 kNm = **814 kNcm**

3. **Calcul des armatures**

Ici nous allons alors déterminer le ferraillage de notre dalle en B.A en considérant

b = 100 cm; h = 15 cm; d = 0,9 h = 13,5 cm ; fbu = 1,4167 kN/cm² ; fsu = 43,48 kN/cm

Celle-ci sera dimensionner comme une poutre en flexion simple de base b en se basant sur les formules allant de *II-54* à II-58

A. Selon x

Tableau III-29 Section d'armatures de la dalle suivant x

Zone	*Mu (kNcm/m)*	*μ selon II-54*	*α cfr II-57*	*z cfr II-56*	*Ast =(cm²/m) Selon II-55*
Travée x	1221	**0,047**	**0,060**	**13,18**	**2,13**
Appui x	814	**0,032**	**0,041**	**13,28**	**1,41**

Nous constatons que la section d'armature en travée est supérieure à celle sur les appuis. Ceci s'explique par les différentes valeurs des moments car le moment ultime en travée est bien supérieur au moment ultime aux appuis et ceux-ci influencent la section des armatures.

Le Tableau III-30 présente la condition de non- fragilité que doit respecter notre dalle ainsi que la vérification en ELS donnée par les relations cela permet de valider ou non, les sections des armatures trouvées.

Tableau III-30 Condition de non-fragilité et vérification en ELS de la dalle suivant x

Condition de non fragilité				
$b\ (cm)$	$d\ (cm)$	$f_{t28}(KN/cm^2)$	$f_e(KN/cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$
100	13,5	0,21	50	1,33
Vérification en ELS				
	$M_u(KNcm)$	$M_s(KNcm)$	φ	$\bar{\alpha}$
En travée	12,21	1221	1,21	0,355
Aux appuis	8,14	814	0,8	0,153

Nous trouvons que la condition de non fragilité est respectée car notre faible section d'armature est supérieure à $Amin$, ($Ast > Amin$) ⇔ (1,41 > 1,33). Pour la vérification en ELS, nous constatons que celle-ci est bien vérifiée. Nous adoptons alors comme section d'armatures selon x les valeurs représentées dans leTableau III-31

Tableau III-31 Choix et espacement des armatures de la dalle suivant x

	$A_{st}(cm^2)$	*Choix des armatures*	*Espacement*
En travée	2,13	8 HA10/ml pour 2,51	20 cm
Aux appuis	1,41	8 HA8/ml pour 2,01	25 cm

B. Suivant y

Le Tableau III-32 présente les sections des armatures suivant la direction y de la dalle en étude

Tableau III-32 Section d'armatures de la dalle suivant y

Zone	*Mu (kNcm/m lineaire)*	*μ selon II-54*	*α selon II-57*	*z selon II-56*	*Ast =(cm²/m) Selon II-55*
Travée y	944	**0,036**	**0,09**	**13,01**	**1,66**
Appui y	814	**0,032**	**0,041**	**13,28**	**1,41**

Pour valider ou non les sections trouvées, le tableau présente la condition de non- fragilité que doit respecter notre dalle ainsi que la vérification en ELS suivant y.

Tableau III-33 Condition de non-fragilité et vérification en ELS de la dalle suivant y

Condition de non fragilité				
$b\ (cm)$	$d\ (cm)$	$f_{t28}(KN/cm^2)$	$f_e(KN/cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$
100	13,5	0,21	50	1,33
Vérification en ELS				
	$M_u(KNcm)$	$M_s(KNcm)$	φ	$\bar{\alpha}$
En travée	9,44	944	0,936	0,218
Aux appuis	8,14	814	0,8	0,153

Les conditions de non fragilité et celle en ELS sont aussi respectées comme dans le cas précèdent, sur ce nous adoptons comme section d'armatures selon y les valeurs représentées dans le Tableau III-34et le ferraillage de la dalle est illustrée dans la partie annexe.

Tableau III-34 Section d'armatures de la dalle suivant

	$A_{st}(cm^2)$	*Choix des armatures*	*Espacement*
En travée	2,13	8 HA10/ml pour 2,51	20 cm
Aux appuis	1,41	8 HA8/ml pour 2,01	25 cm

III.3.3.3 **Dimensionnement de poutre**

Pour limiter les calculs, nous avons choisis une poutre continue sur 2 travées, nous allons donc étudier calculer cette poutre en tenant compte de ses travées en suite généraliser les résultats, nous avons pris la poutre avec la plus grande travée dans tout le bâtiment.

Nous allons déterminer les sollicitations par la méthode forfaitaire présentée dans le Tableau II-9 et les charges appliquées à notre poutre en étude sont données dans al section du Tableau III-15 au Tableau III-18

Charge permanente G (dalle + poutre + mur)	**50,0 kN/m**
Charge d'exploitation Q (dalle seule)	**13,4 kN/m**
ELU : 1,35 G + 1,5 Q	**187,6 kN/m**

1. **Vérification des conditions**

- Condition 1 : $Q \leq \max(2G ; 5\ kN/m^2) \rightarrow 13,4 \leq 100$ Condition Validée (CV)
- Condition 2 : inertie constante le long de chaque travée CV
- Condition 3 : rapport des portées successives compris entre 0,8 et 1,25 L1/L2 =8,50/6,83=1,244 ∈ [0,8 ; 1,25]
- Condition 4 : fissuration peu préjudiciable CV (par hypothèse)

Toutes les conditions sont remplies, on peut utiliser la méthode forfaitaire

Comme toutes les 4 conditions sont vérifiées, nous pouvons alors utiliser la méthode forfaitaire.

Le Tableau III-35 nous donne le coefficient αi *sur* chaque travée.

Tableau III-35 détermination de αi

Travée	Gi(kN/m)	Qi (kN/m)	Gi+Qi (kN/m)	αi
1	16,43	11,29	27,72	**0,407**
2	13,84	10,92	24,76	**0,441**

Le moment fléchissant isostatique de référence est donnée par le selon la relationII-64 :

Tableau III-36 calcul de moment fléchissant isostatique en travée

Travée	pu,i (kN/m)	Li (m)	Li (m^2)	**Mo, (kNm)**
1	39,12	8,50	72,25	353,3
2	35,06	6,83	46,65	204,4

2. **Valeurs minimales de Mt, Mw et Me**

Les valeurs de Mt, Mw et Me sont obtenues dans le Tableau III-37 en se référant des formules présentées par la Figure II-14

Tableau III-37 Moment en travée et aux appuis de la poutre

Coefficient forfaitaire	0,661	0,666
Moments en travée (kNm)	Travée 1 : **233,6**	Travée 2 : **136,2**

Moments aux appuis (kNm)	Appui central : **287,0**	Appuis extrêmes : **0**

Avec ces moments, nous allons dimensionner notre poutre avec les moments maximums que ça soit en travée ou aux appuis, nous aurons alors :

- Mt = 84,323KNm = 233,6 $KNcm$
- M_a = 64,665KNm = 287,0$KNcm$

3. Calcul des armatures

En se référant des relations allant de II-68 à II-71, le Tableau III-38 présente les valeurs du moment réduit de notre poutre ainsi que le moment réduit limite.

Tableau III-38 Calcul du moment réduit de la poutre et du moment réduit limite.

Type	$M_u(KNcm)$	$d(cm)$	μ	ε_l	α_l	μ_l
Travée	**3360**	45	0,326	0,00217	0,999	0,48
Appuis centrale	**28700**	45	0,400	0,00217	0,999	0,48

Ici nous trouvons que le moment ultime réduit est inférieur au moment ultime réduit limite $\mu <$ 0,48. Nous allons prendre le deuxième cas en utilisant la formule II-77 comme l'indique le Tableau III-39

Tableau III-39 Section d'armature de la poutre

Mu (kNcm)	α	d (cm)	β	b(cm)	*fbu* (kN/cm²)	*fsu* (kN/cm²)	A(cm²)
23360	0,513	45	0,410	25	1,4167	43,48	15,03
28700	0,691	45	0,553	25	1,4167	43,48	20,27

4. Condition de non fragilité

Afin de valider les sections d'armatures trouvées, nous allons vérifier si celles-ci ne sont pas inférieures à la section minimale présentée dans le tableau III.28. La vérification en ELS est aussi donnée dans le même tableau.

Tableau III-40 Condition de non-fragilité et vérification en ELS de la poutre

Condition de non fragilité				
$b\ (cm)$	$d\ (cm)$	$f_{t28}(KN/cm^2)$	$f_e(KN/cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$
25	36	0,21	50	1,25
Vérification en ELS				

	$M_u(KNcm)$	$M_s(KNcm)$	φ	$\bar{\alpha}$
En travée	23360	15915	1,468	0,484
Aux appuis	28700	20310	1,413	0,4564

Nous remarquons que La vérification en ELS pour l'appui central avec une hauteur de 50 cm a donné $\alpha = 0{,}523 > \bar{\alpha} = 0{,}456$, ce qui nécessitait une correction.

Deux solutions sont possibles : augmenter la hauteur de la poutre ou ajouter des aciers comprimés. Pour une raison économique nous avons préféré L'augmentation de la hauteur à 60 cm est retenue comme solution à ce problème. le Tableau III-31 nous montre les nouvelles valeurs de Gi et du coefficient αi

Calcul de la poutre (h=60)

Tableau III-41 coefficient αi pour la poutre de h=60

Travée	Gi(kN/m)	Qi (kN/m)	Gi+Qi (kN/m)	αi
1	17,055	11,29	28,345	0,398
2	14,465	10,92	25,385	0,43

Le moment fléchissant isostatique de référence est donnée par le selon la relationII-64 :

Tableau III-42 calcul de moment fléchissant isostatique en travée

Travée	pu,i (kN/m)	Li (m)	Li (m²)	**Mo, (kNm)**
1	39,96	8,50	72,25	360,9
2	35,91	6,83	46,65	209,4

Les valeurs de Mt, Mw et Me sont obtenues dans le Tableau III-43 référant des formules présentées par la Figure II-14

Tableau III-43 Moment en travée et aux appuis de la poutre (h=60)

Coefficient forfaitaire	0,660	0,665
Moments en travée (kNm)	Travée 1 : **238,2**	Travée 2 : **139,3**
Moments aux appuis (kNm)	Appui central : **293,4**	Appuis extrêmes : **0**

Nous allons dimensionner notre nouvelle poutre avec les moments maximums que ça soit en travée ou aux appuis, nous aurons alors :

- $Mt = 238{,}2KNm = 238320KNcm$
- $M_a = 293{,}4KNm = 29340KNcm$

En se référant des relations allant de II-68 à II-71, le Tableau III-44présente les valeurs du

moment réduit de notre poutre ainsi que le moment réduit limite.

Tableau III-44 Calcul du moment réduit de la poutre et du moment réduit limite (poutre h=60cm).

Type	$M_u(KNcm)$	$d(cm)$	μ	ε_l	α_l	μ_l
Travée 1	23 820	54	0,231	0,00217	0,999	0,48
Appui central	29 340	54	0,284	0,00217	0,999	0,48

Ici nous trouvons que le moment ultime réduit est inférieur au moment ultime réduit limite $\mu < 0{,}48$. Nous allons prendre le deuxième cas en utilisant la formule II-77 comme l'indique leTableau III-45

Tableau III-45 section d'armature pour la poutre (h=60cm)

Mu (kNcm)	α	d (cm)	β	b(cm)	*fbu* (kN/cm²)	*fsu* (kN/cm²)	A(cm²)
23 820	0,333	54	0,266	25	1,4167	43,48	**11,72**
29 340	0,428	54	0,342	25	1,4167	43,48	**15,06**

Afin de valider les sections d'armatures trouvées, nous allons vérifier si celles-ci ne sont pas inférieures à la section minimale présentée dans le tableau Tableau III-46. La vérification en ELS est aussi donnée dans le même

Tableau III-46 Condition de non-fragilité et vérification en ELS de la poutre

Condition de non fragilité				
$b\ (cm)$	$d\ (cm)$	$f_{t28}(KN/cm^2)$	$f_e(KN/cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$
25	36	0,21	50	1,50
Vérification en ELS				
	$M_u(KNcm)$	$M_s(KNcm)$	φ	$\bar{\alpha}$
En travée 1	23 820	16 266	1,464	0,482
À l'appui central	29 340	20 790	1,411	0,4555

Nous trouvons que la condition de non fragilité est respectée car notre faible section d'armature est supérieure à A_{min}, $(A > A_{min}) \Leftrightarrow (11{,}72 > 1{,}5\ cm^2)$. Pour la vérification en ELS, nous constatons que celle-ci est bien vérifiée pour la poutre avec une hauteur h=60cm

5. Vérification de besoin de dimensionnement à l'ELS

Partant des relations allant deII-85 à II-91 le Tableau III-47 nous donne la valeur de contrainte

de compression maximale σbc ainsi que les valeurs de tous les autres paramètres.

Tableau III-47 Contrainte de compression maximale de la poutre (h=60)

type	$Mser$	$y\ (cm)$	$I\ (cm^2)$	$K\ (KN/cm^3)$	$\sigma_{bc}(MPa)$	$\bar{\sigma}_{\bar{bc}}(MPa)$
Travée	16 259	21,41	268 472	0,06056	12,97	15
Appuis	20 790	23,48	318 181	0,06534	14,34	15

Avec 12,967 MPa et 14,34MPa, la condition est respectée. On ne va pas donc dimensionner la poutre en ELS. Nous adoptons alors comme section d'armatures les valeurs représentées dans le Tableau III-48

Tableau III-48 choix des armatures de la poutre (h=60cm)

Armement	$A_{st}(cm^2)$	*Choix des armatures*
En travée	11,72	6HA16 pour 12,06 cm^2
Aux appuis	15,06	8HA16 pour 16,08 cm^2

6. Armatures transversales

Partant des résultats du Tableau III-48, le diamètre et l'espacement des armatures transversales sont représentées dans le tableau en appliquant les relations II-80 et II-81

$\emptyset L_{max}(mm)$	$\emptyset_t(mm)$	$\emptyset_t$ *choisi*	$Espacement : t$
16	5,33	6	18 cm

Pour les armatures transversales nous adoptons un diamètre $\emptyset t$ = 6mm et un espacement $t =$ 18 cm.

7. Vérification de la contrainte tangentielle

Pour la contrainte tangentielle nous allons vérifier si la travée intermédiaire de notre poutre respecte la relation II-82 . Le Tableau III-49 donne les valeurs des efforts tranchants à gauche et à droite de la travée en appliquant les relations II-84.

Tableau III-49 Efforts tranchants à gauche et à droite de la travée étudiée

M_w	M_e	$M_t(KNm)$	$L\ (m)$	$a = b\ (m)$	$V_w\ (KN)$	$V_e(KN)$
0	293,4	238,9	8,5	4,25	204,35	135,31

$Vw = Tu$ = 204,35 KN est l'effort tranchant ultime. Le tableau III.33 présente les valeurs de τu et $\bar{\tau} u$ successivement contrainte tangentielle calculée et contrainte tangentielle limite obtenues par les relations II-82 et II-83

$T_u(KN)$	$b\ (cm)$	$d\ (cm)$	$f_{c28}(KN/cm^2)$	γ_b	$\tau_u(KN/cm^2)$	$\bar{\tau}_{\bar{u}}(KN/cm^2)$
204,4	25	54	2,5	1,5	0,1541	0,333

Nous remarquons que la contrainte tangentielle est bien inférieure à la contrainte tangentielle admissible $\tau_u < \bar{\tau}_{\bar{u}} \Leftrightarrow 0{,}1514 KN/cm^2 < 0{,}333 KN/cm^2$ Soit $1{,}514 MPa < 3{,}33 MPa$, les sections d'armatures et dimensions obtenues précédemment sont donc retenus.

8. Vérification de la flèche

Avec une section rectangulaire de 25 cm × 60 cm, partant de la formule II-94 , les valeurs de la flèche maximale de notre poutre ainsi que la flèche admissible sont données par le Tableau III-50

Tableau III-50 Vérification de la flèche en ELS

$q(KN/cm)$	$L(cm)$	$E(KN/cm^2)$	$I(cm^4)$	$f_{max}(cm)$	$f_{lim}(cm)$
0,2835	850	20000	450 000	0,34	1,7

La flèche maximale de notre poutre est bien respectée car 0,34 cm < 1,7 cm. Nous n'aurons donc pas des déplacements et déformées excessifs.

III.3.3.4 **Dimensionnement de poteau**

Afin de déterminer la section du béton et celle des armatures, le dimensionnement du poteau se fait en ELU en considérant donc l'effort ultime Nu =**747,158kN**

1. Coffrage et dimensionnement

Ici nous allons déterminer la section du poteau que lui impose l'effort ultime puis vérifier si cette dernière respecte la condition de flambement $\lambda \leq 70$.

Tableau III-51 Section et élancement du poteau

Condition de contrainte						
$Nu(Kg)$	$\sigma_b(Kg/cm^2)$	$S\ (cm^2)$	Coté (cm)	$\sigma_b(Kg/cm^2)$	$Sadopté(cm2)$	Coté (cm)

10658	186	400	20	119	625	25

Vérification au flambement						
Coté (cm)	$Sadoptée(\ cm2)$	I (cm^4)	$i\ (cm)$	$lf\ (cm)$	λ	Décision
25	625	32552	7,2	175	24,2	C.V

Avec un effort de **747,158kN**, la section de $(25 \times 25)\ cm^2$ adoptée lors du pré dimensionnement est maintenu pour le dimensionnement car celle-ci respecte la condition de flambement et celle de contrainte. Avec une contrainte σ_b=11,9 MPa <15 MPa<25Mpa.

2. Calcul des armatures

La section d'armatures du poteau est obtenue dans le Tableau III-52 en appliquant les relations allant de II-100 à II-105

Tableau III-52 Section d'armatures du poteau

$Nu\ (Kg)$	$Br(cm^2)$	$fc28(Kg/cm^2)$	$fe(Kg/cm^2)$	γb	γs	α	$A\ (cm^2)$
7471,58	529	250	5000	1,5	1,15	0,776	-0.386

Nous venons de trouver, une section négative, cela veut dire le béton seul peut supporter les efforts, alors on prend Amin=A.

La valeur de la section minimale et maximale des armatures dans un poteau calculées dans le Tableau III-53

Tableau III-53 Section d'armatures minimale et maximales du poteau

$Perimetre$	B	$A_{min} = max[4cm \times P/100;\ 0{,}2\%B]$		$A_{max} = 5\%B.$
1	625	4	1,25	31,25

$A = 4\ cm^2$, nous maintenons $4HA12$ comme choix d'armature pour une section réelle de 4.52cm².

3. Armature transversales

Le diamètre et l'espacement des armatures transversales du poteau sont données par le tableau en utilisant la relation II-106

Tableau III-54 Diamètre et espacement des armatures transversales du poteau

$\emptyset L_{max}(mm)$	$\emptyset_t(mm)$	$\emptyset_t$ *choisi en mm*	$Espacement : t$

12	4	HA6	18 cm

Pour les armatures transversales du poteau nous adoptons un diamètre $\emptyset t$ = 8mm et un espacement St = 20 cm.

III.3.3.5 **Dimensionnement de fondation**

1. Détermination des dimensions

Tableau III-55 Dimension de la semelle

tape	Calcul	Résultat	Formule
Surface nécessaire		574,74 cm²	**II-31**
Côté de la semelle	√5747,4 ≈ 75,8 cm	On adopte = 80cm	
Condition de la semelle rigide	H (80-25)/4 +5= 18,75	On adopte H=20cm	
Poids propre semelle	On prend H = 20 cm → 0.80²×0,20×25 = 5,64 kN	3,2 kN	Gsem = B² × H × 25 kN/m³
Effort total N	747,158+ 1,35×3,2	751,478 kN	II-108

Nous adoptons ici une hauteur de 20 cm. Afin de valider ces dimensions, nous devrons faire la vérification au cisaillement donnée par la relation II-111 et II-112 (Voir tableau III.40)

Tableau III-56 vérification au cisaillement 1

Nu (KN)	$h\ (cm)$	$Ax\ (cm)$	$Ay\ (cm)$	$fc28$ (KN/cm^2)	γ_b	τ (KN/cm^2)	τadm (KN/cm^2)
747,158	20	25	25	2,5	1,5	0.373	0,25

Ici nous constatons que la contrainte de cisaillement est supérieure à la contrainte admissible, $\tau > \tau_{adm} \Leftrightarrow 3{,}73\ MPa > 2{,}5\ MPa$. Il peut donc y avoir rupture de la semelle. Nous essayons avec une hauteur h = 35 cm.

Tableau III-57 vérification au cisaillement 2

Nu (KN)	$h\ (cm)$	$Ax\ (cm)$	$Ay\ (cm)$	$fc28$ (KN/cm^2)	γ_b	τ (KN/cm^2)	τadm (KN/cm^2)
747,158	35	25	25	2,5	1,5	0,213	0,25

Tableau III-58 vérification au cisaillement finale

Ici nous constatons que la contrainte de cisaillement est bien inférieure à la contrainte admissible, soit : $\tau < \tau_{adm} \Leftrightarrow 0{,}213KN/cm^2 < 0{,}25KN/cm^2$ soit $2{,}13MPa < 2{,}5\ Mpa$. Comme les dimensions respectent toutes les conditions nous les adoptons toutes. Sur ce, on peut évaluer le poids propre de la semelle comme suit :

$$G_{semelle} = (0{,}8m \times 0{,}8m \times 0{,}35m) \times 25KN/m^3 \text{ x}1.35 = 7{,}56KN$$

2. Calcul des armatures

Tableau III-59 Section d'armatures de deux lits de la semelle

Armatures du lit inferieur						
Nu (KN)	$Gsemelle\ (KN)$	$Bx\ (cm)$	$Ax\ (cm)$	$d\ (cm)$	$f_{su}(KN/cm^2)$	A(cm^2)
754,718	2,250	0,8	25	22,5	34,7826	3,94
Armature du lit supérieur						
Nu (KN)	$Gsemelle\ (KN)$	$By\ (cm)$	$Ay\ (cm)$	$d\ (cm)$	$f_{su}(KN/cm^2)$	A(cm^2)
754,718	2,250	0,8	25	22,5	34,7826	3,94

Pour le ferraillage de notre semelle nous trouvons deux sections d'armatures égales pour les deux lits compte tenu des sections carrées de notre semelle et notre poteau en respectant la condition d'homothétie. Avec ces valeurs, nous adoptons donc comme choix d'armement les valeurs présentées dans le tableau Tableau III-60

Tableau III-60 Choix d'armatures de la semelle

Lit	Section calculée (cm²)	Choix d'armatures	Section réelle (cm²)	Espacement
Inférieur	5,75	6 HA12	6,78	≈ 16 cm
Supérieur	5,75	6 HA12	6,78	≈ 16 cm

III.3.3.6 **Dimensionnement de l'escalier**

Pour le dimensionnement de l'escalier, nous allons assimiler celui-ci à une poutre en flexion simple avec une base b = 1m dont les armatures seront déterminées par mètre linéaire. La charge équivalente est obtenue dans le tableau Tableau III-61 en appliquant le relation II-113

Tableau III-61 Calcul de la charge équivalente de l'escalier

$Pu_{paill} = 17{,}22\ KN/m$	$L_{paill} = 3{,}11\ m$	$L = 5{,}611m$
$Pu_{pal} = 34{,}65\ KN/m$	$L_{pal} = 2{,}5\ m$	$q_{éq}$ =25 KN/m

Le tableau III.45 donne les valeurs des moments en appliquant les relations du tableau

Tableau III-62 Calculs des moments sur l'escalier

Grandeur	Résultat	Formule
Moment isostatique Mo	**98,4 kNm**	Tableau II-10
Moment en travée Mt	**83,6 kNm**	
Moment sur appui Ma	**19,7 kNm**	
Effort tranchant Vu	**70,1 kN**	II-114

1. **Calculs des armatures**

Le Tableau III-63 nous donne les sections d'armature de l'escalier à partir des relations *II-114* à II-116

Tableau III-63 *Sections d'armatures de l'escalier*

Zone	Mu	μ	α	z	Ast = (cm²)
Travée	8360	0,270	0,400	11,34	**16,96**
Appui	1970	0,0636	0,082	13,05	**3,47**

Pour valider les sections trouvées, le Tableau III-64 présente la condition de non-fragilité que doit respecter la dalle et la vérification en ELS donnée par les relations

Tableau III-64 Condition de non-fragilité et vérification en ELS de l'escalier

Condition de non fragilité				
$b\ (cm)$	$d\ (cm)$	$f_{t28}(KN/cm^2)$	$f_e(KN/cm^2)$	$A_{min}(cm^2)$
100	13,5	0,21	50	1,33
Vérification en ELS				
	$M_u(KNcm)$	$M_s(KNcm)$	φ	$\bar{\alpha}$
En travée	8360	4550	1,8	0,65

Aux appuis	1970	1072	1,83	0,665

Ici, nous trouvons que la condition de non fragilité est respectée car notre faible section d'armature est supérieure à A_{min}, $(A > A_{min}) \Leftrightarrow (3{,}47 > 1{,}33)$. Pour la vérification en ELS, nous constatons que celle-ci est bien vérifiée. Nous adoptons alors comme section d'armatures les valeurs représentées dans le Tableau III-65

Tableau III-65 Choix et espacement d'armatures de l'escalier

Zone	A calculé	Choix	A réelle	espacement
Travée (porteur)	14,13	11HA14	16,92	10 cm
Appui (porteur)	3,47	5HA10	3,92	20 cm
Répartition	3,53	5HA10	3,93	20 cm

Nous allons vérifier si notre escalier respecte la relation II.74

2. **Vérification de la contrainte tangentielle**

Pour la contrainte tangentielle, dans le tableau III.49 nous allons vérifier si notre escalier respecte la relation II.74

Tableau III-66 Efforts tranchants de l'escalier

$M_w = M_e$	$M_t(KNm)$	$L\ (m)$	$V_w\ (KN)$	$V_e(KN)$
19,7	83,6	5,611	$-70{,}1$	70,1

$V_e = \lvert V_w \rvert = T_u = 70{,}1$KN est l'effort tranchant ultime. Le Tableau III-67 présente les valeurs des contraintes tangentielles calculée et limite $\tau_u$et $\bar{\tau}_{\bar{u}}$.

Tableau III-67 Valeurs des contraintes tangentielles sur l'escalier

$T_u(KN)$	$b\ (cm)$	$d\ (cm)$	$fc28$ (KN/cm^2)	γ_b	τ_u (KN/cm^2)	$\bar{\tau}_{\bar{u}}(MPa)$
70,1	100	13,5	2,5	1,5	0,0433	0,333

Nous remarquons que la contrainte tangentielle est inférieure à la contrainte tangentielle admissible $\tau_u < \bar{\tau}_{\bar{u}} \Leftrightarrow 0{,}051 KN/cm^2 < 0{,}33 KN/cm^2$ soit $0{,}527\ MPa < 3{,}33 MPa$, les sections d'armatures et dimensions obtenues précédemment sont donc retenus et illustrées par la figure III-5

III.4 Conclusion partielle

Ce chapitre a abordé l'analyse structurale dont l'analyse statique de notre structure et l'analyse acoustique acoustique du bâtiment, nous avons trouvées les efforts dans les élément de la structure et les contraintes qui nous a permis de dimensionner les éléments structuraux, concernant l'analyse acoustique nous avons trouvé les niveau sonore à l'intérieur du bâtiment que nous avons généralisé pour tout le bâtiment en étude ainsi que le niveau de réduction de bruit de nos parois et les performances de nos portes en se basant sur des hypothèses de fréquence de résonances des matériaux utilisés, leur raideur dynamique et leur indice d'affaiblissement acoustique en suivant les recommandation du CSTB et du CNB .

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté avait pour objectif de concevoir et d'analyser, sur les plans structural et acoustique, un bâtiment bibliothèque publique R+2 en béton armé à implanter sur le terrain SOTRAKI à Goma. Face au défi de concilier la sécurité d'une structure soumise à des charges importantes et le confort sonore indispensable à la lecture dans un environnement urbain bruyant, une approche méthodique et pluridisciplinaire a été mise en œuvre.

L'étude a débuté par une campagne de mesures acoustiques a permis de quantifier la nuisance sonore extérieure de référence (75 dB(A)). La conception architecturale, guidée par les normes du Neufert et les recommandations de l'IFLA-UNESCO, a défini un programme fonctionnel répondant aux besoins des usagers, avec une capacité d'accueil cohérente avec les projections démographiques.

Sur le plan structural, l'application rigoureuse des règles BAEL 91 et des normes NF a permis de dimensionner l'ensemble des éléments porteurs. Une valeur de 747,2 kN.a été trouvée comme effort normale sous poteau. Le dimensionnement de la poutre principale a mis en évidence la nécessité d'augmenter sa hauteur à 60 cm pour satisfaire les critères de l'ELS, un choix justifié par des considérations économiques et techniques face à l'alternative d'ajouter des aciers comprimés. Les sections d'acier résultantes (6 HA16 en travée, 8 HA16 sur appui) assurent la résistance et la durabilité de l'ouvrage.

L'analyse acoustique a démontré que l'objectif de confort sonore (Lint ≤ 35 dB(A)) est atteignable grâce à une combinaison judicieuse de matériaux. La brique d'argile cuite, par sa masse, constitue une barrière efficace contre les bruits aériens (Rmur = 47,6 dB). L'application du principe masse-ressort-masse a permis de dimensionner avec précision les épaisseurs de laine de roche (40 mm) et de laine de verre (80 mm) pour les planchers et la toiture, garantissant une isolation performante contre les bruits d'impact. Le traitement du temps de réverbération par panneaux absorbants (150 m²) a permis de ramener sa valeur de 8 s à 0,89 s, créant ainsi un environnement intérieur propice à la concentration et à l'étude.

Ce travail de recherche appliquée a donc permis de valider les hypothèses de départ. Il démontre qu'une analyse statique rigoureuse, basée sur les organigrammes BAEL, couplée à l'application des lois fondamentales de l'acoustique (loi de masse, système masse-ressort-masse), permet de concevoir un bâtiment à la fois sûr et confortable. L'usage de matériaux comme la brique d'argile cuite, associé à des isolants minéraux courants (laine de roche, laine de verre), offre une réponse technique viable et économiquement accessible au contexte gomatracien.

Le principal résultat de ce mémoire réside dans la production d'un dossier technique complet comprenant les notes de calcul détaillées, les plans de ferraillage des éléments structuraux (poteaux, poutres, dalles, fondations, escaliers) et les spécifications acoustiques (performances des parois, épaisseurs d'isolants, traitement de la réverbération). Ce dossier constitue une base solide pour une éventuelle phase d'exécution.

Enfin, ce travail ouvre des perspectives pour des recherches futures. Il serait pertinent d'approfondir l'analyse en considérant les actions dynamiques (séisme), d'étudier l'intégration des systèmes MEP (chauffage, ventilation, électricité) sans compromettre les performances acoustiques, ou encore de réaliser une étude comparative des coûts avec d'autres filières constructives.

Bibliographie

[1] IFLA/UNESCO, Manifeste de l'IFLA/UNESCO sur la bibliothèque publique., 1994.

[2] Neufert, E., Les éléments des projets de construction, Dunod, 2012.

[3] UNESCO, Manifeste de l'UNESCO sur la bibliothèque publique, Paris: UNESCO, 1994.

[4] A. D. B. D. F. (ABF), Construire et aménager une bibliothèque, Paris: Éditions du Cercle de la Librairie, 2012, p. 15–42..

[5] M. Battles, Bibliothèque, la ruine de Babilone, edition la decouverte, 2004.

[6] T. Kelly, A History of Public Libraries in Great Britain,1845-1975., The Library Association., 1977.

[7] O. Ray, The Great Good Place: Cafés, Coffee Shops, Bookstores, Bars, Hair Salons, and Other Hangouts at the Heart of a Community., Marlowe & Company., 1999.

[8] A. McDonald, The Topography of Tomorrow, Redesigning Library , 2007.

[9] B. K. Gaël, analyse structurale d'un batiment R+6 en beton armé servant de parking, cas de la ville de Goma, Goma: ULPGL, 2022-2023.

[10] C. BISWEKA, *Cours de Resistance des matériaux/L2GC,* Goma: Ulpgl, 2023-2024.

[11] B. Michel, Auditoriums et théâtres : conception acoustique,, Paris: CSTB Éditions., 2009.

[12] C. François, Architecture et acoustique, Paris: Éditions Le Moniteur, 2005.

[13] CSTB, Guide de traitement acoustique des locaux, Paris: CSTB Éditions, 2018.

[14] T. H. AUGOYARD Jean-François, À l'écoute de l'environnement, Marseille: édition Parenthèse, 1995, pp. 11-34.

[15] S. P. Muvunga, conception d'isolation thermique et acoustique des Murs Swandichs prèfabriqué sur base des bottes des pailles, Goma: ULPGL, 2021-2022.

[16] MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE, reglementation acoustique des bâtiment, Paris: documentation officielle française, 2016.

[17] o. i. d. n. (ISO), ISO 16283-1:2014 : Acoustique — Mesurage in situ de l'isolation acoustique des bâtiments et des éléments de construction..

[18] S. d. i. e. Architecte, *SIA 181:2020-protection contre les bruit dans le batiment,* Zurich: SIA, 2020.

[19] I. 11654:1997, Acoustique — Absorbants pour l'utilisation dans les bâtiments..

[20] CSTB, Isolation acoustique des bâtiments – Principes et solutions, Paris: CSTB Éditions, 2015, pp. 19-48.

[21] NRA, Guide pratique de l'isolement dans les établissements publics..

[22] CROISÉ Jacques, Acoustique du bâtiment, Paris: CSTB Éditions, 2010.

[23] CSTB, Guide pratique de l'acoustique des bâtiments, Paris: CSTB Éditions, 2012.

[24] p. SEM, cours d'architecture et notion d'urbanisme/L3/GC, Goma: ULPGL, 2024-2025.

[25] Nations Unies, Convention relative aux droits de l'enfant, 1989.

[26] ,. CSTB, Confort acoustique dans les bâtiments, Paris.

[27] C. N. d. B. (CNB), *guide CNB n°6-Réglementation acoustique des bâtiments,* Paris: Ministère de la transition écologique, 2024.

[28] A. Aly, cours d'initiation au béton armé/L3/GC, Goma: ULPGL, 2024-225.

[29] Dr Ally ALINABIWE, cours d'initiation aux fondations /L3/GC, GOMA: ULPGL, 2024-2025.

[30] BAEL, Règles BAEL 91 révisées 99, 2000.

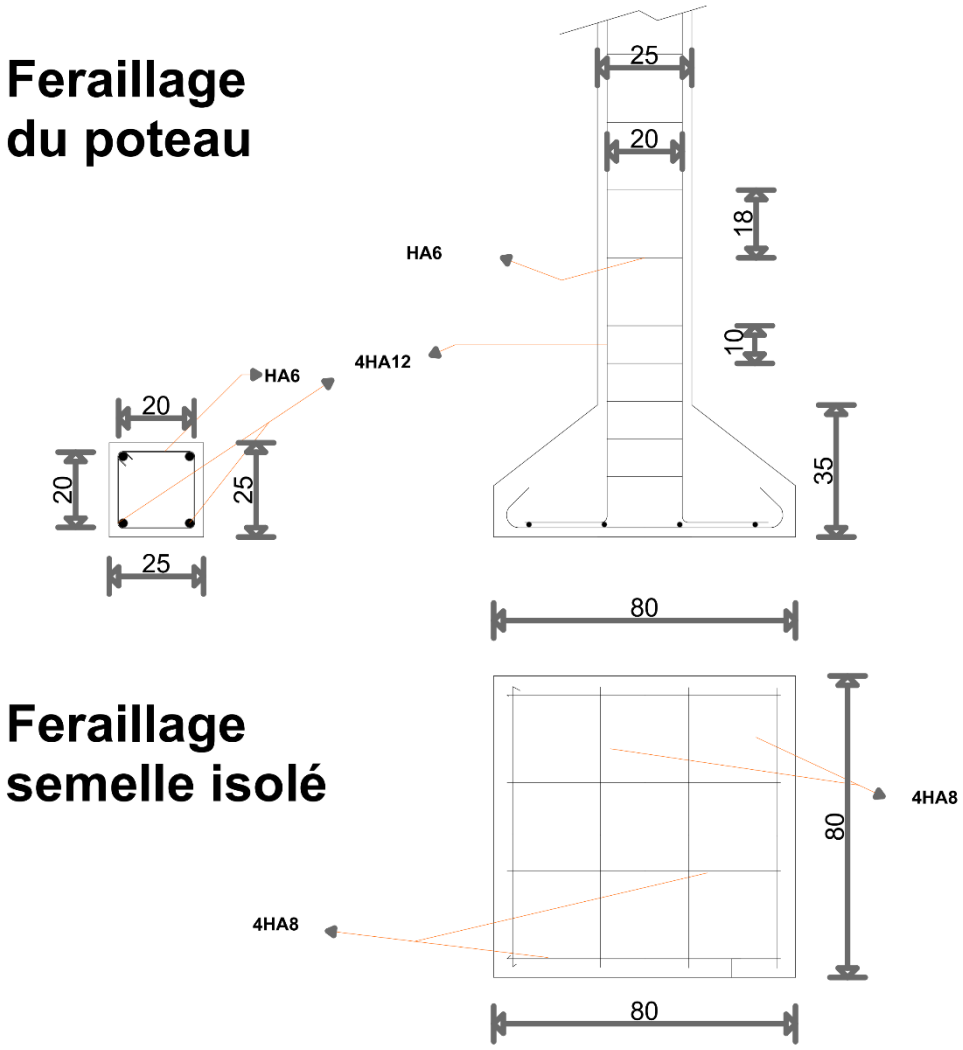
[31] K. M. Elie, CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UNE OSSATURE EN BÉTON ARMÉ : CAS DU MARCHÉ DE SAKE, Goma: ULPGL, 2022-2023.

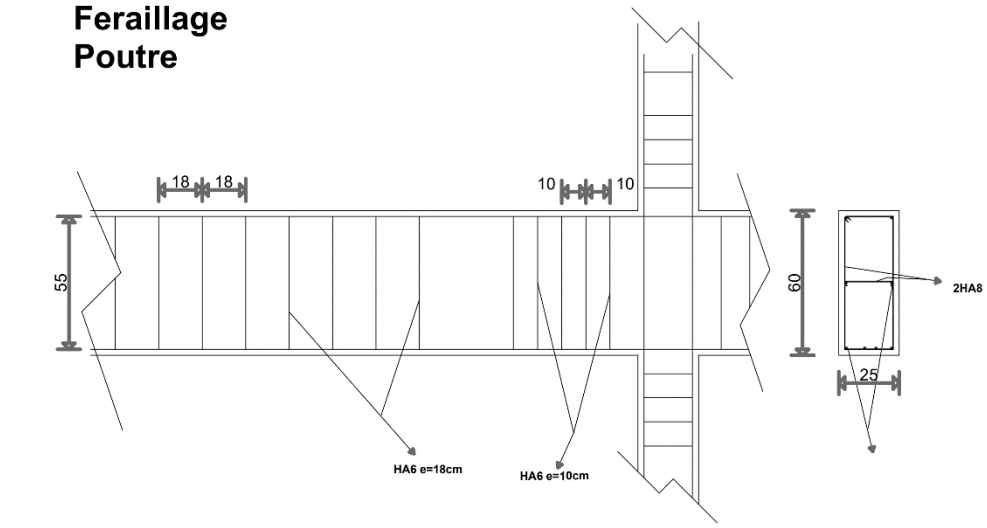
[32] B. 9. R99, Organigrame Bael sous formes resumé.

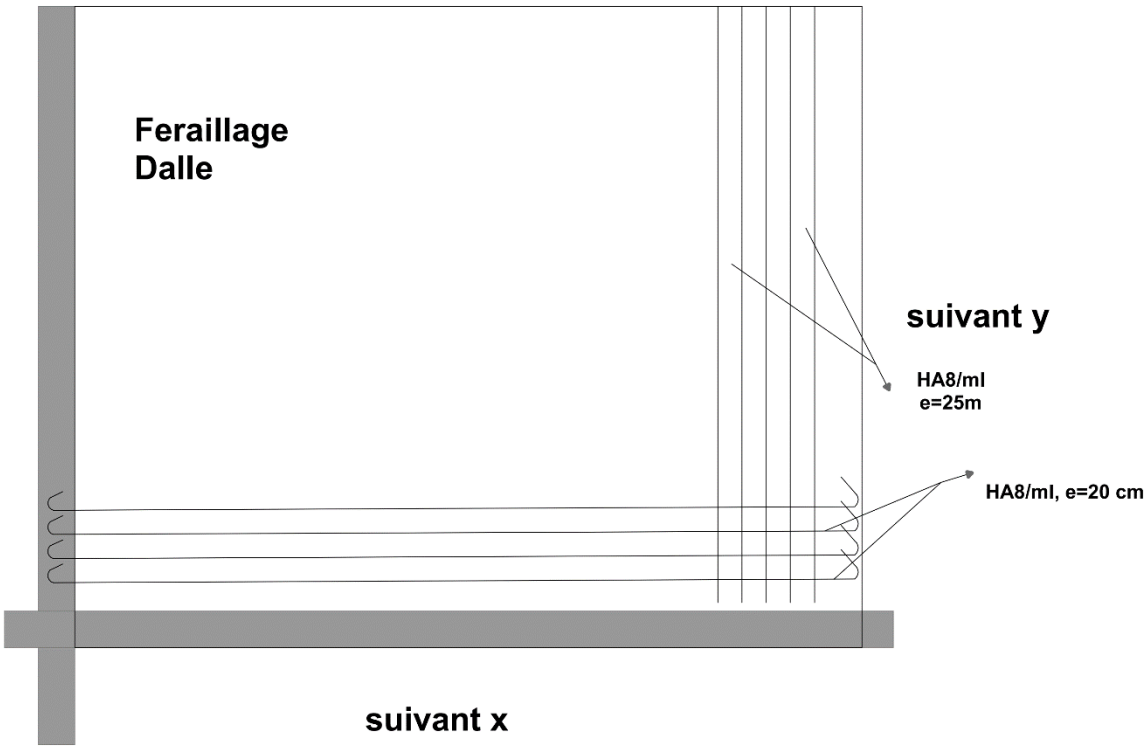
Annexes

A.1 Plans d'exécution obtenus (ferraillage)

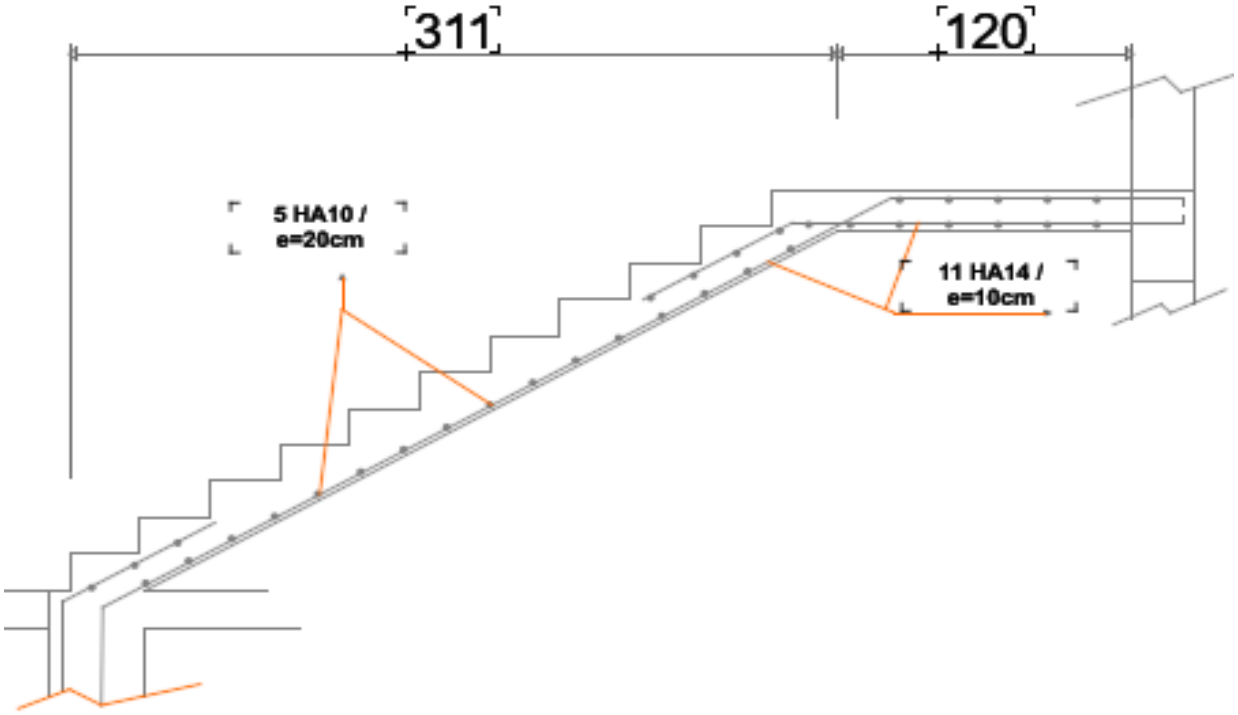
Ferraillage poteau et semelle




Feraillage
Poutre
18
18
10
10
55
60
2HA8
25
HA6 e=18cm
HA6 e=10cm


Feraillage
Dalle
suivant y
HA8/ml
e=25m
HA8/ml, e=20 cm
suivant x

Ferraillage escaler



A.2 La norme NF P-06-004 (valeurs des actions)

Evaluations des charges d'exploitation (NF P 06 001)	Valeur en daN / m²
Bureaux, circulations et escaliers pour bâtiments de bureaux	250
Logements y compris combles aménageables pour bâtiment à usage d'habitation	150
Balcons pour bâtiments à usage d'habitation	350
Escaliers pour bâtiments à usage d'habitation	250
Combles non-aménageables, dont l'utilisation n'est pas prévue à priori, non-accessibles avec plancher pour bâtiments à usage d'habitation	100
Greniers proprement dits, étages des caves pour bâtiments à usage d'habitation	250
Terrasses accessibles privées	150
Terrasses accessibles au public	500

Evaluation des charges permanentes (NF P 06 004)	Poids surfacique en daN / m²
Contreplaqué okoumé, par cm d'épaisseur	5
Plaque de plâtre (de type Placoplâtre ou Prégypan), par cm d'épaisseur	9
Enduit au plâtre, par cm d'épaisseur	10
Enduit au ciment de liants hydrauliques, par cm d'épaisseur	18
Carreau de plâtre, par cm d'épaisseur	10
Chape en mortier de ciment, par cm d'épaisseur	20
Carrelage collé, par cm d'épaisseur	20
Couverture en tuile mécanique à emboîtement y compris liteaux	40
Couverture en tuile béton y compris liteaux	45
Revêtement de sol souple y compris ragréage	2
Cloison de distribution (charge par m² de plancher)	50
Complexe isolant collé 8 – 1	12
Complexe isolant collé 9 – 1	14

Evaluation des charges permanentes (NF P 06 004)		
	Epaisseur réelle en cm	Poids surfacique en daN / m²
Parois en briques pleines	6 10,5 22	114 200 418
Parois en briques creuses	5 10 15 20	45 90 135 180
Parois en B.B.M.P.	5 10 15 20	105 210 315 420
Parois en B.B.M.C.	5 10 15 20	65 135 200 270

Evaluation des charges permanentes (NF P 06 004)	Poids volumique en daN / m³	Evaluation des charges permanentes (NF P 06 004)	Poids volumique en daN / m³
Acier	7 850	Béton non armé	2 350
Aluminium	2 700	Béton armé	2 500
Plomb	11 400	Maçonnerie de briques pleines	1 900
Bois de conifères sapin ou pin	500	Maçonnerie de briques creuses	900

DT 1

BACCALAUREAT PROFESSIONNEL TECHNICIEN D'ETUDES du BATIMENT Option A ETUDES et ECONOMIE	CONSTRUCTION DE 24 LOGEMENTS COLLECTIFS	
	EPREUVE E1 : EPREUVE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE SOUS-EPREUVE U 11 : ANALYSE D'UN PROJET	DOSSIER ETUDES
Session 2011	DUREE : 4 H 00	COEFFICIENT : 2

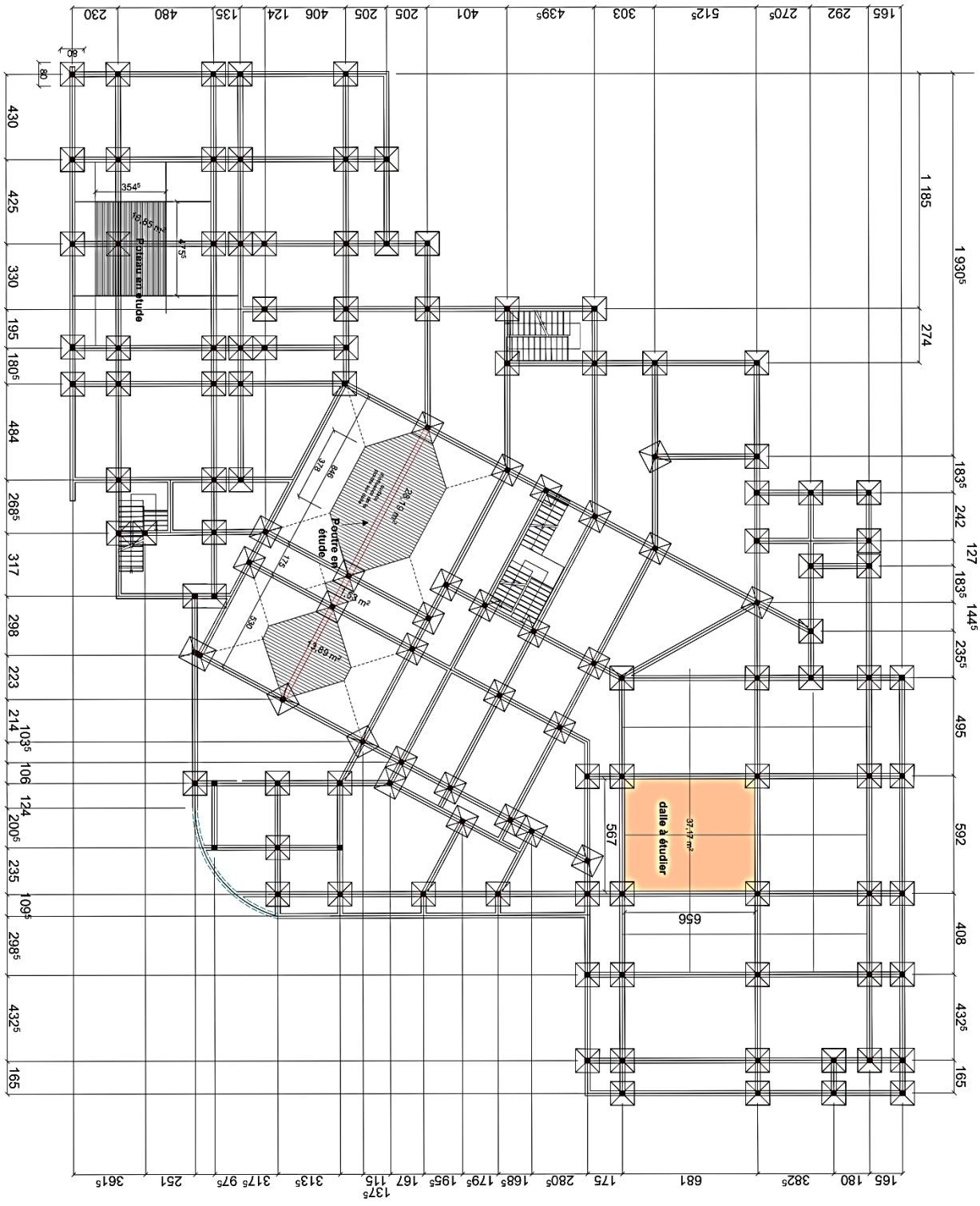
A.3 Tableau de section d'armature et tableau des contrainte admissible de sol

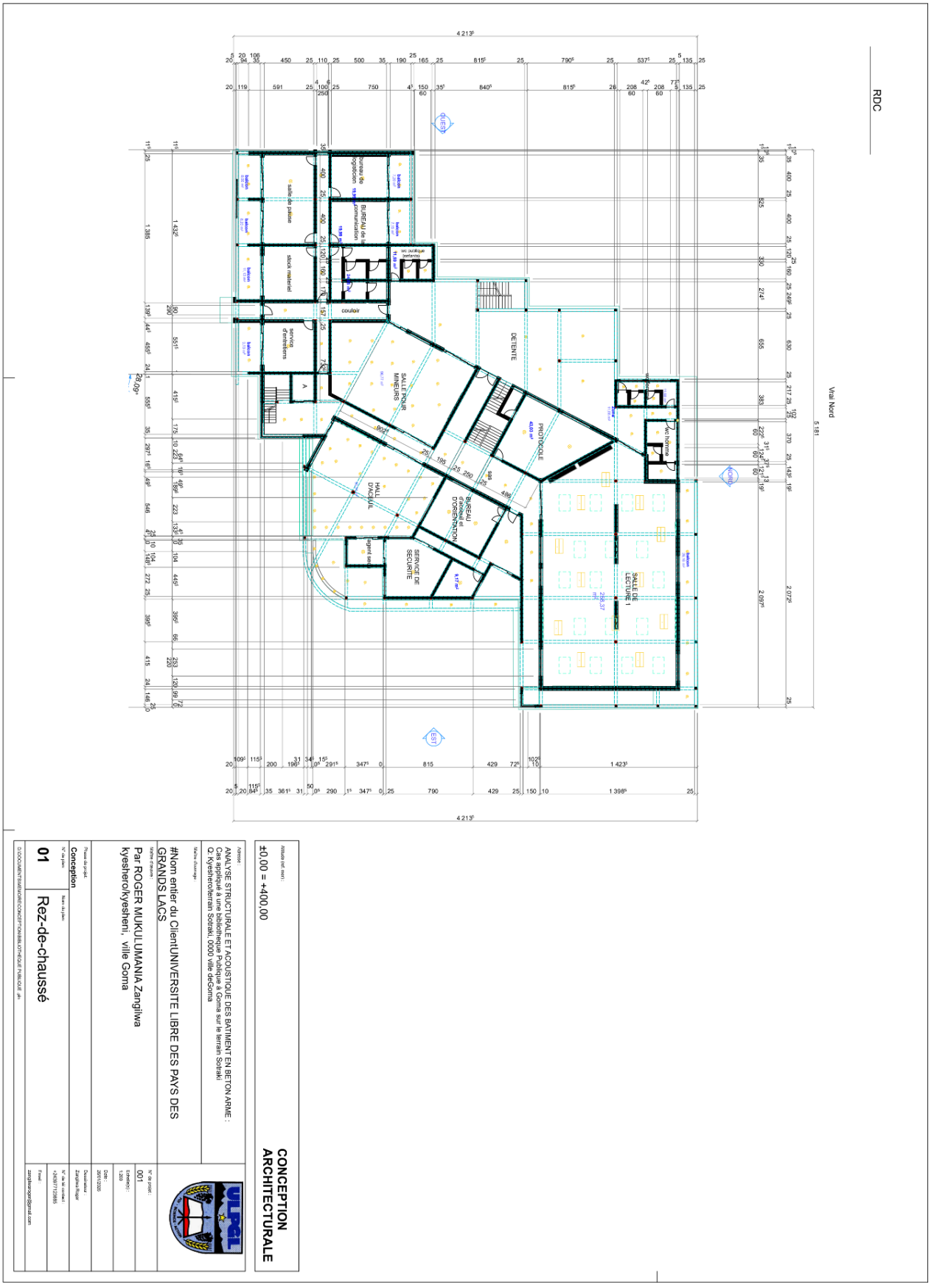
Image tirée de l'organigramme BAEL [28]

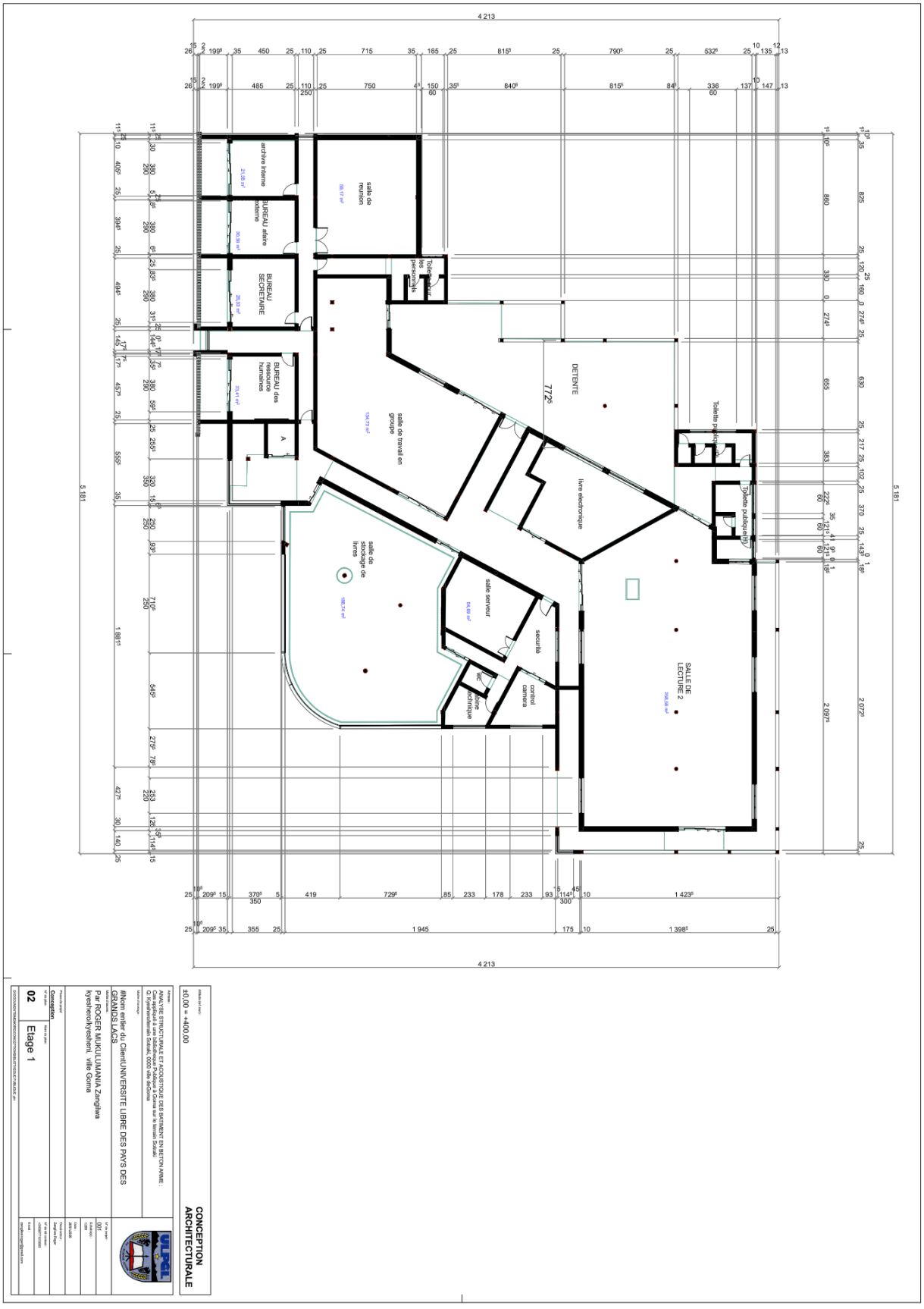
Ø mm	Poids ml	SECTION D'ACIER DES BARRES D'ARMATURES (cm^2) NOMBRE DES BARRES									
d/mm	P/ kg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,154	0,20	0,39	0,59	0,78	0,98	1,18	1,37	1,57	1,76	1,96
6	0,222	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,7	1,98	2,26	2,55	2,83
7	0,302	0,38	0,77	1,15	1,54	1,92	2,31	2,69	3,08	3,46	3,85
8	0,395	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,53	5,03
10	0,617	0,78	1,57	2,53	3,14	3,92	4,71	5,49	6,28	7,06	7,85
12	0,88	1,13	2,26	3,39	4,52	5,85	6,78	7,91	9,04	10,17	11,3
14	1,208	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,76	12,32	13,8	15,39
16	1,578	2,01	4,02	6,03	8,04	10,5	12,06	14,07	16,08	18,09	20,1
20	2,466	3,14	6,28	9,42	12,56	15,7	18,84	21,98	25,12	28,26	31,42
25	3,854	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
32	6,313	8,04	16,08	24,12	32,16	40,2	48,54	56,28	64,32	72,36	80,4
40	9,865	12,57	25,13	37,7	50,27	62,83	75,4	87,96	100,53	113,1	125,66

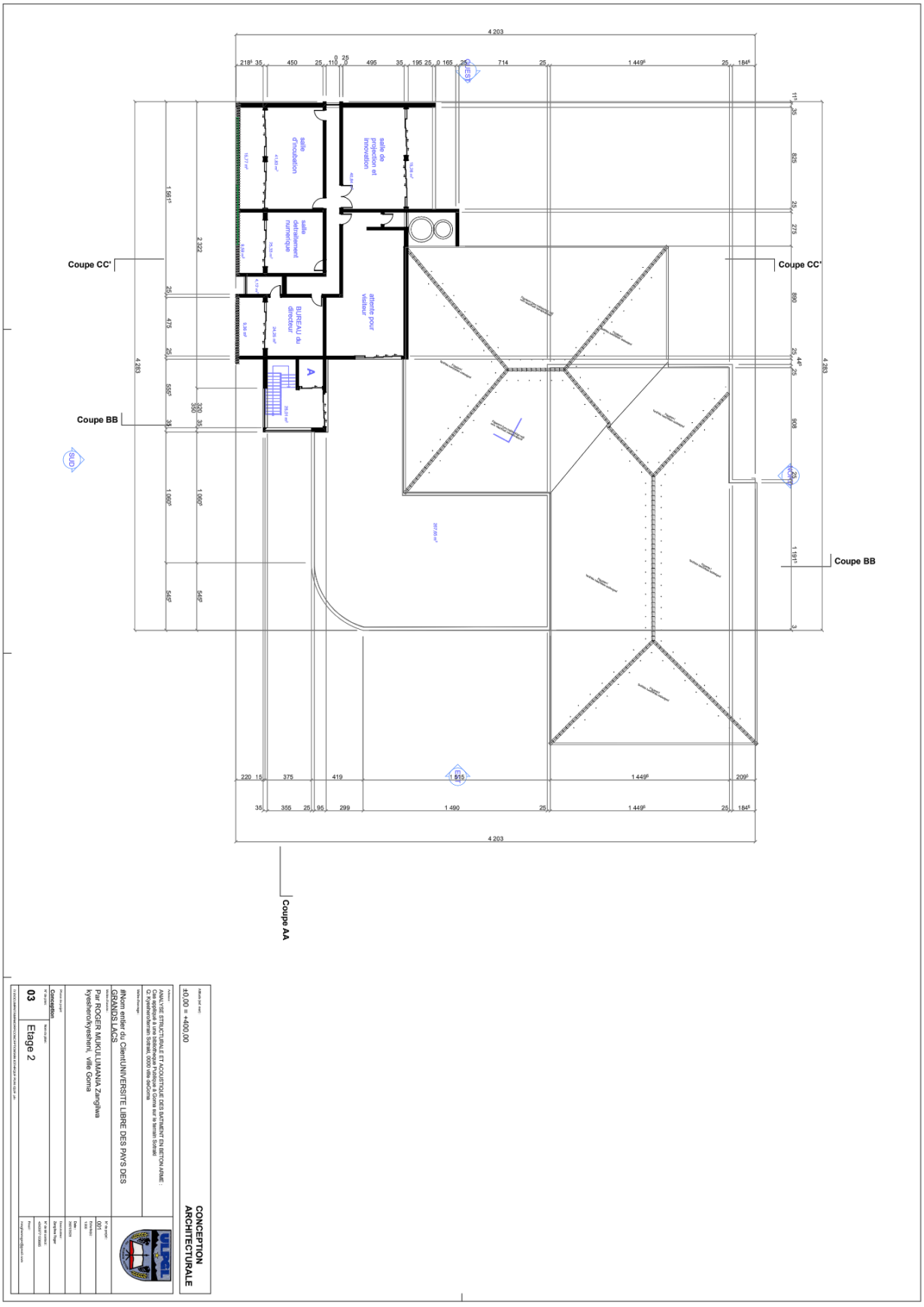
Nature du sol	σ_{Rd} (MPa)
Roches peu fissurées, saines, non désagrégées, de stratification favorable	0,75 à 4,5
Terrains non-cohérents à bonne compacité	0,35 à 0,75
Terrains non-cohérents à compacité moyenne	0,2 à 0,4
Argiles (à l'exception de celles très plastiques)	0,1 à 0,3

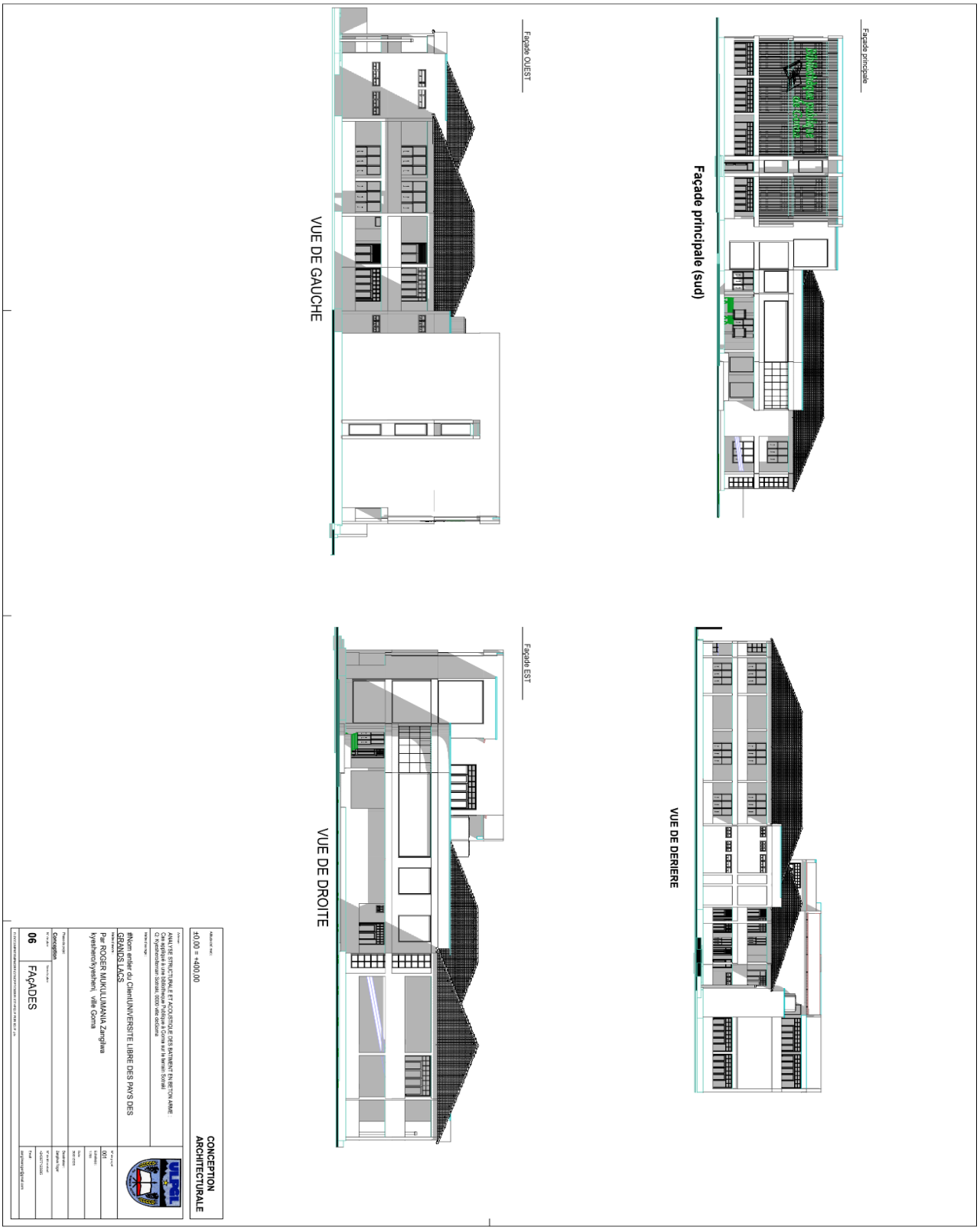
Figure 0-1 containte admissible de sol [31]

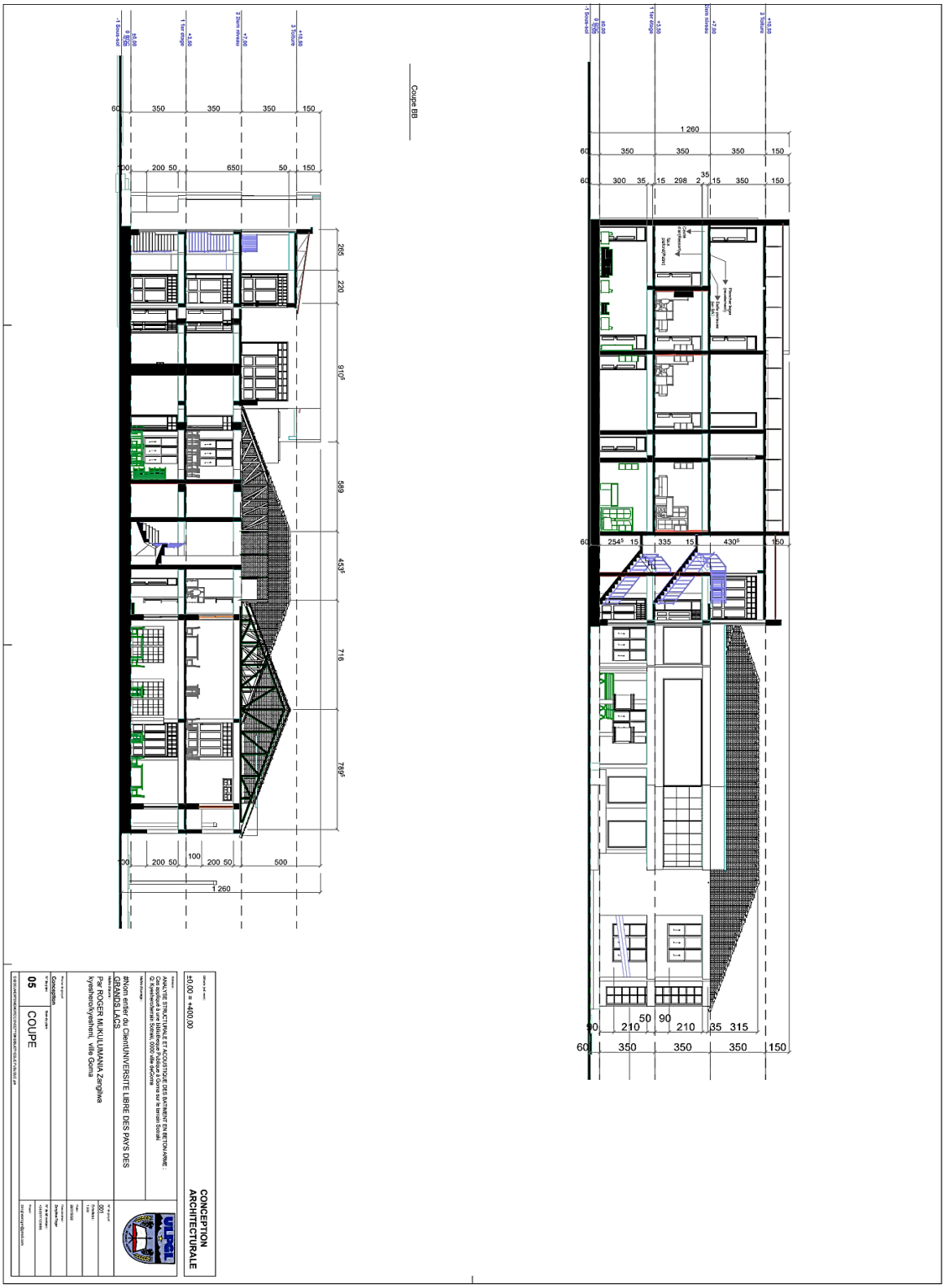

Poutre en étude
dalle à étudier
37,17 m²
567
656
1 930⁵
1 185
274
183⁵
242
127
144⁵
235⁵
495
592
408
432⁵
165
430
425
330
195
180⁵
484
268⁵
317
298
223
214
103⁵
106
124
200⁵
235
109⁵
298⁵
432⁵
165
230
480
135
124
406
205
205
401
439⁵
303
512⁵
270⁵
292
165
361⁵
251
317⁵ 97⁵
313⁵
137⁵
115
167
195⁵
179⁵
168⁵
280⁵
175
681
382⁵
180
165


RDC
Vrai Nord
DETENTE
PROTOCOLE
SALLE DE LECTURE 1
SERVICE DE SECURITE
HALL D'ACCUEIL
couloir
stock matériel
salle de pause
CONCEPTION ARCHITECTURALE
±0,00 = +400,00
#Nom entier du ClientUNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS
Par ROGER MUKULUMANIA Zangilwa
Kyesheri/kyesheri, ville Goma
Conception
01
Rez-de-chaussé


4 213
archive interne
BUREAU affaire externe
BUREAU SECRETARIE
BUREAU des ressource humaines
salle de reunion
Toilette pour les personnels
salle de travail en groupe
DETENTE
772⁵
Toilette publique(H)
Toilette publique(F)
livre électronique
salle de stockage de livres
salle serveur
securité
WC
zone technique
control camera
SALLE DE LECTURE 2
5 181
1 889¹⁵
2 097⁵
4 213
CONCEPTION ARCHITECTURALE
±0,00 = +400,00
ANALYSE STRUCTURALE ET ACOUSTIQUE DES BATIMENT EN BETON ARME :
Etage 1
02
Par ROGER MUKULUMANIA Zangilwa
kyesherc/kyesherii, ville Goma
GRADUS LAUS


Coupe CC'
Coupe BB
Coupe AA
salle d'incubation
salle de projection et innovation
salle d'apprentissage numérique
BUREAU du directeur
attente pour visiteur
4 203
4 283
CONCEPTION ARCHITECTURALE
±0,00 ≡ +400,00
ANALYSE STRUCTURALE ET ACOUSTIQUE DES BATIMENT EN BETON ARME
Cas applicatif à une bibliothèque Publique à Goma sur le terrain Sotraki
#Nom entier du ClientUNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS
Par ROGER MUKULUMANIA Zangilwa
kyesherokyyeshero, ville Goma
03
Etage 2


Façade principale
Façade principale (sud)
Façade OUEST
VUE DE GAUCHE
VUE DE DERIERE
Façade EST
VUE DE DROITE
CONCEPTION ARCHITECTURALE
±0,00 = +400,00
ANALYSE STRUCTURALE ET ACOUSTIQUE DES BATIMENT EN BETON ARME
Par ROGER MUKULUMANIA Zangilwa
Kyeitheri/kyeitheri, ville Goma
GRANDS LACS
FAçADES
06


Coupe BB
CONCEPTION ARCHITECTURALE
05
COUPE
ULPGL

A.7images Rendus 3d du bâtiment



Figure 0-2 image rendu 3d (1)du batiment



Figure 0-3mage rendu 3d (2)du batiment



Figure 0-4mage rendu 3d (3)du bâtiment



Figure 0-5 image rendu 3d (4)du bâtiment