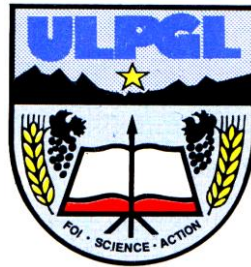


UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS

FACULTE DE SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

**CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT
D'UNE BIBLIOTHEQUE UNIVERSITAIRE.
CAS DE L'ULPGL GOMA**

Par : KATEMBO LUCIE Huguette

Travail présenté en vue de l'obtention du Diplôme
de Bachelor en Sciences de l'Ingénieur

Option : Génie Civil

Directeur : Dr. Ir. Ally ALINABIWE, PhD.

Encadreur : Ass. Ir. Tresor MUHATIKANI

ANNEE ACADEMIQUE 2023 - 2024

Epigraphe

« Le dimensionnement juste c'est le compromis optimal entre la sécurité, l'économie et la fonctionnalité.»

Jean Résal

Dédicace

A ma famille.

KATEMBO LUCIE Huguette

Remerciements

Nos remerciements vont en premier à Dieu, sans qui nous ne serons pas où nous sommes aujourd'hui.

Nous tenons également à remercier la faculté des Sciences de l'ingénieur pour la formation reçue tout au long de ces années.

Nous remercions également l'ingénieur Dr. Ally ALINABIWE, directeur de ce travail, pour sa disponibilité, ses conseils et orientations.

Nos remerciements à l'ingénieur Tresor MUHATIKANI, notre encadreur, pour son suivi et son implication dans la réussite de ce travail.

Nos remerciements à nos chers parents Guy-Abdon KATEMBO et Sylvine BAMENYA qui nous ont soutenus depuis le début.

Nous ne manquerons pas de remercier nos différents collègues qui de près ou de loin ont contribué à l'achèvement de ce travail par leur apport scientifique quels qu'ils soient.

Résumé

Ce travail porte sur une étude complète de conception architecturale et de dimensionnement structurel d'une bibliothèque universitaire. Il vise à répondre aux besoins croissants en matière d'accès à l'information, de confort des usagers et de respect des normes techniques en milieu universitaire. La bibliothèque envisagée intègre des espaces fonctionnels adaptés à différents types d'utilisateurs (étudiants, enseignants, chercheurs), incluant des salles de lecture, des espaces de travail individuel et collaboratif, des bureaux administratifs, des zones techniques, ainsi que des équipements numériques modernes.

La structure du bâtiment est en béton armé et a été réalisée suivant le règlement BAEL 91 modifié 99. Les résultats du dimensionnement nous ont permis d'offrir une structure stable et rigide, qui offre une garantie de confort et de bon fonctionnement. Le pré dimensionnement de notre structure a été fait analytiquement et ensuite pour le dimensionnement, la structure a été modélisée et calculée dans le logiciel de calcul Robot Structural Analysis qui nous a fournis les plans d'exécution des différents éléments structuraux. Nous avons trouvé pour les dimensions des éléments structuraux, des dalles de 15cm d'épaisseur, une section de 30x60cm pour les poutres, une section de 30x30cm pour les poteaux et pour les semelles, une section de 80x80cm avec une hauteur de 25cm. Le projet intègre également un matériau écologique local, le lambris de bois, pour améliorer la qualité intérieure et réduire l'empreinte environnementale du bâtiment. Un métré quantitatif a permis d'évaluer les volumes de matériaux et le coût estimatif du projet et un planning des travaux a été établi sous forme de diagramme de Gantt.

Mots clés : Conception, Dimensionnement, Bibliothèque, Béton armé

Abstract

This work presents a comprehensive study of the architectural design and structural analysis of a university library. The project aims to address the growing needs for access to information, user comfort, and compliance with technical standards in academic environments. The proposed library incorporates functional spaces tailored to various user groups (students, teachers, researchers), including reading rooms, individual and collaborative study areas, administrative offices, technical zones, and digital equipment spaces.

The building's structure is made of reinforced concrete and was designed according to the BAEL 91 Modified 99 standard. The structural analysis was conducted using Robot Structural Analysis software, which enabled the modeling and calculation of structural elements and provided detailed execution plans. The structural dimensions include 15 cm thick slabs, 30x60 cm beams, 30x30 cm sections for columns and footings, and 80x80 cm sections for footings with a height of 25 cm. The project also incorporates a local eco-friendly material, wooden paneling, to enhance indoor quality and reduce the building's environmental footprint. A quantitative estimate was conducted to evaluate material volumes and the project's cost, and a construction schedule was developed using a Gantt chart.

Keywords: Design, Structural Analysis, Library, Reinforced

Table des matières

Epigraphe.....	i
Dédicace	ii
Remerciements	iii
Résumé	iv
Abstract	v
Table des matières.....	vi
Liste des abréviations.....	ix
Liste des tableaux	x
Liste des figures	xi
0. Introduction générale.....	1
0.1. Contexte.....	1
0.2. Identification et formulation du problème.....	1
0.3. Questions de recherche	2
0.4. Formulation des hypothèses	2
0.5. Justification du choix du sujet et motivations	3
0.5.1. Motivation et intérêt pour le sujet.....	3
0.5.2. Pertinence scientifique du sujet	3
0.5.3. Pertinence sociale du sujet.....	3
0.6. Objectifs du travail	3
0.6.1. L'objectif général	3
0.6.2. Les objectifs spécifiques.....	4
0.7. Méthodologie et délimitation du travail	4
0.8. Structure du mémoire/Subdivision du travail.....	4

Chapitre 1 Généralités	5
1.1 Généralités sur les bibliothèques	5
1.1.1 Définition.....	5
1.1.2 Petite historique sur les bibliothèques en RDC	5
1.1.3 Les différents types de bibliothèques	6
1.1.4 Espaces à prévoir pour la conception d'une bibliothèque	6
1.1.5 Fonctionnement d'une bibliothèque universitaire	7
1.2 Généralités sur le milieu	8
1.2.1 Présentation du milieu	8
1.2.2 Situation géographique du site	9
1.3 Généralités sur la conception.....	9
1.3.1 Conception architecturale	9
1.3.2 Conception architecturale d'une bibliothèque	10
1.3.3 Logiciel de conception.....	11
1.4 Généralités sur le dimensionnement.....	12
1.4.1 Introduction	12
1.4.2 Principes de base du dimensionnement	13
1.4.3 Le prédimensionnement	13
1.4.4 Vérification des résultats	15
1.5 Généralités sur les matériaux utilisés	16
1.5.1 Le béton	16
1.5.2 L'acier.....	17
1.5.3 Le béton armé	18
1.5.4 Le bois et les lambris comme matériau écologique.....	19
1.6 Conclusion partielle.....	21
Chapitre 2 Méthodologie.....	22
2.1 Conception architecturale	22
2.2 Le dimensionnement	25
2.2.1 Choix et justification des matériaux de construction	25
2.2.2 Notions d'Etats limites et vérification des sections.....	27

2.2.3	La structure du bâtiment	29
2.2.4	Pré dimensionnement	30
2.2.5	Actions sur le bâtiment	36
2.2.6	Présentation du logiciel Robot structural Analysis.....	37
2.3	Le métré du projet.....	40
2.4	Le planning de travaux	40
2.5	Conclusion partielle	40
Chapitre 3 Présentation et interprétation des résultats		41
3.1	Introduction	41
3.2	Conception architecturale	41
3.3	Dimensionnement.....	45
3.3.1	Pré dimensionnement	45
3.3.2	Résultats du calcul dans Robot Structural Analysis	49
3.4	Le métré de la structure	61
3.5	Planning des travaux.....	77
Conclusion générale		80
Bibliographie		81
Annexes		83
Annexe 1 Plans aménagés		84
Annexe 2 Les coupes.....		87
Annexe 3 Les façades.....		89
Annexe 4 Les vues en 3D.....		90

Liste des abréviations

A_{min}	: La section minimale des armatures longitudinales
A_t	: La section des armatures transversales
B. A	: Béton Armé
BAEL	: béton armée aux états limites
B_r	: La section réduite du béton
C	: Dosage en ciment
E	: Dosage en eau
GPa	: Giga Pascal
HA	: haute adhérence
i	: rayon de giration
kN	: Kilo Newton
m	: Mètre
MPa	: Méga Pascal
N_u	: L'effort normal ultime
ϕ_l	: Le diamètre des armatures longitudinales
ϕ_t	: Le diamètre des armatures transversales
RSA	: Robot Structural Analysis
S_t	: L'espacement des armatures transversales
γ_b	: Le poids volumique du béton armé
λ	: L'élancement mécanique
λ_{rel}	: L'élancement relatif

Liste des tableaux

Tableau 1-1 : Classification des béton selon la masse volumique [6].....	16
Tableau 1-2 : Classification des béton selon la résistance [6].....	17
Tableau 1-3 : Caractéristiques des aciers [7].....	18
Tableau 2-1 : Matériaux utilisés et justification de leur choix	27
Tableau 2-2 : Poids volumique des matériaux.....	37
Tableau 3-1 : Répartition des charges selon les niveaux.....	47
Tableau 3-2: Résultats du pré dimensionnement.....	49
Tableau 3-3 : Sections de ferrailage de la dalle.....	49
Tableau 3-4 : Sollicitations de la poutre la plus chargée	53
Tableau 3-5 : Sections d'aciers théoriques.....	54
Tableau 3-6 : Valeurs de la flèche de la poutre	55
Tableau 3-7 : Section d'armatures de ferrailage.....	56
Tableau 3-8 : Analyse de l'élançement.	58
Tableau 3-9 : Armatures longitudinales du poteau.....	58
Tableau 3-10 : Les armatures transversales du poteau	59
Tableau 3-11 : Armatures de la semelle	60
Tableau 3-12 : Devis estimatif du projet	62
Tableau 3-13 : Les étapes de la construction.....	77

Liste des figures

Figure 2-1 : Panneau de dalle [12].....	31
Figure 2-2 : Section transversale d'une poutre	32
Figure 2-3 : Perspective d'une semelle isolée.....	35
Figure 3-1: Vue en plan RDC du bâtiment.....	42
Figure 3-2 : Vue en plan R+1 du bâtiment	43
Figure 3-3 : Vue en plan R+2 du bâtiment	44
Figure 3-4 : Ferrailage inférieur de la dalle.....	50
Figure 3-5 : Ferrailage supérieur de la dalle.....	51
Figure 3-6 : Epure d'arrêt de barres	52
Figure 3-7 : La poutre la plus chargée de l'ouvrage.	53
Figure 3-8 : Diagrammes de sollicitations de la poutre.....	54
Figure 3-9 : Sections d'acier théorique dans la poutre	55
Figure 3-10 : Diagramme des flèches de la poutre.....	56
Figure 3-11 : Plan de ferrailage de la poutre	57
Figure 3-12 : Le poteau le plus chargé de l'ouvrage.....	58
Figure 3-13 : Plan d'exécution du poteau le plus chargé.	59
Figure 3-14 : Plan d'exécution de la semelle.....	61

0. Introduction générale

0.1. Contexte

Dans un pays comme la République Démocratique du Congo, où l'accès à une éducation de qualité reste un enjeu fondamental pour le développement humain et économique, les infrastructures universitaires jouent un rôle central. Située dans la ville de Goma, l'Université Libre des Pays de Grands Lacs connaît une croissance constante de sa population estudiantine, entraînant une demande accrue en espaces d'apprentissage adaptés, notamment en bibliothèque. La bibliothèque universitaire est une infrastructure essentielle dans toute institution d'enseignement supérieur. Elle représente un lieu d'apprentissage, de recherche, de consultation et de diffusion du savoir.

Or, l'état des bibliothèques universitaires congolaises est généralement critique. Par exemple, la bibliothèque centrale de l'Université de Kisangani, construite en 1978, souffre d'un manque de ressources actualisées, limitant l'accès à la connaissance pour les étudiants. En réponse à ce déficit, des programmes de modernisation ont été lancés, comme le projet Astria Learning à l'UPN Kinshasa, ou encore la bibliothèque numérique connectée via la carte SIM Academia [1]. Dans ce contexte, l'ULPGL Goma a besoin d'un espace documentaire mieux conçu, répondant aux exigences structurelles, fonctionnelles et environnementales modernes. Le présent projet de conception et dimensionnement d'une bibliothèque universitaire vise à répondre à cette urgence, en s'inscrivant dans la dynamique de modernisation de l'enseignement supérieur congolais [2].

0.2. Identification et formulation du problème

Les projets de bâtiments publics à usage éducatif doivent aujourd'hui concilier sécurité structurelle, fonctionnalité, durabilité et maîtrise des coûts. Dans le contexte de l'ULPGL Goma, où la croissance de la population étudiante accentue la pression sur les infrastructures existantes, l'absence d'espaces documentaires modernes constitue un frein à l'amélioration des conditions d'apprentissage.

La conception d'une bibliothèque universitaire ne se limite pas à la création d'un espace bâti. Elle exige une réponse structurée aux exigences techniques, normatives, environnementales et pédagogiques. Cela suppose une approche d'ingénierie intégrée, alliant analyse des besoins, conception architecturale, dimensionnement des éléments porteurs et optimisation des ressources.

Le défi réside alors dans la capacité à dimensionner une bibliothèque universitaire durable, fonctionnelle et économiquement viable, répondant aux normes structurelles et aux réalités spécifiques du site de l'ULPGL Goma.

0.3. Questions de recherche

Au cours de ce travail, nous nous sommes posé les questions suivantes :

- Quelles sont les exigences fonctionnelles et spatiales qu'une bibliothèque universitaire doit satisfaire dans le contexte de l'ULPGL Goma ?
- Comment peut-on concevoir et dimensionner une bibliothèque universitaire stable et conforme aux normes techniques, en utilisant le béton armé ?
- Quels sont les éléments à prendre en compte pour estimer de manière fiable les quantités de matériaux et planifier les travaux de construction ?

0.4. Formulation des hypothèses

Les hypothèses formulées dans le cadre de ce travail sont les suivantes :

- Une analyse rigoureuse des besoins des usagers (étudiants, enseignants, personnel) permet de définir des exigences fonctionnelles et spatiales adaptées au contexte de l'ULPGL Goma.
- L'application des normes BAEL 91 modifiées 99, combinée à une modélisation numérique (Robot Structural Analysis), permet de concevoir une structure en béton armé stable, sécurisée et conforme aux exigences d'un bâtiment éducatif.
- Un métré basé sur les résultats du dimensionnement structurel, complété par un planning Gantt, permet d'estimer de manière fiable les quantités de matériaux et de planifier efficacement les travaux.

0.5. Justification du choix du sujet et motivations

0.5.1. Motivation et intérêt pour le sujet

Ce sujet répond à un double intérêt : d'une part, il permet de mobiliser les compétences requises en génie civil (calcul de structure, matériaux, modélisation), et d'autre part, il contribue à résoudre un problème réel d'intérêt collectif dans le domaine éducatif.

0.5.2. Pertinence scientifique du sujet

Sur le plan scientifique, ce travail permet la mise en pratique des connaissances acquises en conception et calcul de structures en béton armé, conformément aux normes techniques internationales (Eurocode 2, BAEL). Il mobilise également des outils numériques de modélisation structurelle (comme Robot Structural Analysis), et intègre une réflexion sur l'architecture durable à travers l'usage décoratif du bois lambrissé, ce qui contribue à une approche scientifique multidisciplinaire.

0.5.3. Pertinence sociale du sujet

Dans un contexte où l'accès aux ressources documentaires reste un défi dans de nombreuses institutions, contribuer à la conception d'un espace d'apprentissage fonctionnel représente un enjeu social majeur. Le sujet a donc un impact direct sur l'amélioration des conditions d'étude des étudiants.

0.6. Objectifs du travail

0.6.1. L'objectif général

Ce travail a pour objectif principal de concevoir et dimensionner une bibliothèque universitaire conforme aux normes techniques et fonctionnelles.

0.6.2. Les objectifs spécifiques

- Définir les besoins fonctionnels, spatiaux et organisationnels nécessaires à la conception d'une bibliothèque universitaire adaptée au contexte académique et géographique de l'ULPGL Goma.
- Concevoir l'architecture et dimensionner la structure en béton armé d'une bibliothèque universitaire, en conformité avec les normes techniques (BAEL 91 modifiée 99) et en tenant compte du contexte sismique de Goma.
- Evaluer les quantités de matériaux nécessaires, estimer le coût global de la construction et proposer un planning d'exécution adapté, en intégrant les principes d'un chantier durable.

0.7. Méthodologie et délimitation du travail

La démarche adoptée pour ce travail comprend les étapes suivantes :

- Conception architecturale à l'aide du logiciel ArchiCAD, en se basant sur les normes ergonomiques et fonctionnelles (références : Neufert, programmes types).
- Dimensionnement des éléments structuraux selon la norme BAEL 91 R99 à l'aide du logiciel Robot Structural Analysis.
- Estimation du coût des travaux à l'aide du métré et des prix unitaires locaux.
- Élaboration du planning d'exécution sous forme de diagramme de Gantt.

Ce travail se limite à la conception architecturale, au dimensionnement de la structure porteuse, à l'estimation du coût et à la planification des travaux. Il ne traite pas de la gestion documentaire, des ressources humaines ou de l'organisation interne du personnel de bibliothèque.

0.8. Structure du mémoire/Subdivision du travail

Hormis l'introduction et la conclusion, notre travail sera subdivisé en trois chapitres, dont le premier consacré aux généralités concernant le sujet ; le deuxième consacré à la méthodologie, qui est une approche à suivre pour le développement de notre structure ; et le troisième consacré à la présentation et l'interprétation des résultats obtenus.

Chapitre 1 Généralités

1.1 Généralités sur les bibliothèques

La bibliothèque universitaire est une composante essentielle de tout établissement d'enseignement supérieur. Elle joue un rôle stratégique dans l'accès à la connaissance, la conservation de l'information scientifique ainsi que dans l'accompagnement pédagogique et la recherche.

Dans cette section, nous présentons les notions relatives à la bibliothèque universitaire, en abordant sa définition, ses fonctions, son organisation spatiale ainsi que les exigences fonctionnelles à prendre en compte dans sa conception.

1.1.1 Définition

Selon le dictionnaire, la bibliothèque est un établissement où sont conservés les livres, revues, dictionnaires etc., souvent ouvert au public et offrant la possibilité d'emprunter des ouvrages gratuitement.

1.1.2 Petite historique sur les bibliothèques en RDC

L'histoire des bibliothèques en République Démocratique du Congo remonte d'abord aux formes traditionnelles de transmission du savoir, principalement fondées sur l'oralité, la mémoire collective et les récits transmis par les chefs coutumiers, les griots et les dignitaires des anciens royaumes tels que le Kongo, le Luba ou le Lunda. Ces systèmes constituaient les premiers modes d'organisation du savoir avant l'introduction des bibliothèques modernes pendant la période coloniale, où furent créées les premières collections administratives et missionnaires destinées à l'enseignement, à l'évangélisation et aux besoins de l'administration belge (Ndaywel è Nziem, 1998 ; De Herdt & Bontinck, 1966) [3] [4].

Après l'indépendance en 1960, le pays institutionnalise progressivement ses infrastructures documentaires avec la création de la Bibliothèque Nationale du Congo en 1974 et le renforcement des bibliothèques universitaires à Kinshasa, Lubumbashi et Kisangani. Malgré un déclin marqué dans les années 1980–1990 en raison des crises socio-politiques, les années 2000 voient une reprise progressive à travers la réhabilitation de bibliothèques, l'implantation de centres de lecture communautaires et l'introduction du numérique, qui modernisent lentement mais sûrement le paysage documentaire congolais (Mukoka, 1984 ; Luyeye, 2016) [5] [6].

1.1.3 Les différents types de bibliothèques

On distingue plusieurs types de bibliothèques :

- Bibliothèques nationales : Chargée d'acquérir et de conserver des copies de tous les documents pertinents publiés dans le pays où se trouve la bibliothèque.
- Bibliothèques universitaires : La fonction première de cette bibliothèque est de couvrir les besoins en information de l'apprentissage et de la recherche.
- Bibliothèques publiques : Ouvertes au public et qui dessert toute la population d'une communauté locale ou régionale et est généralement financée par des fonds publics.
- Bibliothèques communautaires : Offre des services de bibliothèque à la population d'une communauté locale ou régionale et peut être gérée et financée par des groupes communautaires, des organismes de bienfaisances, des ONG, et d'autres organismes.
- Bibliothèques scolaires : Rattachée à tous les types d'écoles en dessous du troisième niveau d'enseignement dont la fonction première est de servir les élèves et les enseignants d'une telle école [7].

1.1.4 Espaces à prévoir pour la conception d'une bibliothèque

La conception d'une bibliothèque universitaire repose sur une planification rigoureuse des espaces fonctionnels, afin d'assurer à la fois l'efficacité, le confort des usagers et la conformité aux normes.

Un espace d'accueil central est indispensable, comprenant une réception de 20 à 50 m² selon le flux estimé d'usagers. Cet espace inclut également un point d'information et d'orientation permettant de guider les visiteurs vers les différents services. Les circulations horizontales (couloirs) et verticales (escaliers, ascenseur) sont dimensionnées pour garantir un flux fluide et sécurisé, conformément aux recommandations du Neufert.

Les espaces de consultation et de lecture sont organisés selon différents modes d'usage. On distingue des salles de lecture silencieuse, avec une densité moyenne de 1,5 à 2 m² par place assise, et des salles de lecture en groupe ou de travail collaboratif, dimensionnées à environ 25 à 30 m² pour 10 à 12 personnes. Ces salles sont conçues pour favoriser la concentration, tout en offrant une certaine flexibilité. Les espaces multimédias ou informatiques exigent également une surface de 1,5 à 2 m² par poste pour garantir confort et accessibilité.

En ce qui concerne la conservation des documents, deux types d'espaces sont à prévoir : les rayonnages en libre accès et les réserves. Les premiers nécessitent des allées de 1,2 à 1,5 m de large entre les rayonnages, une profondeur de 25 à 30 cm et une surface indicative de 0,1 à 0,15 m² par volume stocké. Les réserves, quant à elles, sont fermées au public et occupent généralement entre 10 et 30 m², selon les volumes à conserver.

Les services aux usagers comprennent une salle de prêt et retour, des bureaux pour l'assistance à la recherche documentaire, et une salle de reprographie/impression de 10 à 20 m². Ces espaces sont essentiels pour assurer un service efficace et répondant aux besoins pédagogiques et de recherche.

Pour le personnel, des bureaux administratifs de 10 à 15 m² par personne sont nécessaires, avec la possibilité de recourir à des bureaux partagés pour optimiser l'espace. Enfin, des locaux techniques et sanitaires complètent l'ensemble. Les sanitaires doivent être répartis selon le genre, avec une surface de 2 à 4 m² par cabine, conformément aux standards en vigueur pour les établissements accueillant du public [8].

1.1.5 Fonctionnement d'une bibliothèque universitaire

Le fonctionnement d'une bibliothèque universitaire repose sur une série de services organisés pour garantir un accès fluide aux ressources documentaires et un accompagnement efficace des usagers dans leurs activités académiques.

Tout d'abord, l'accueil et l'orientation des usagers sont assurés dès l'entrée du bâtiment. L'inscription est généralement réservée aux membres de la communauté universitaire (étudiants, enseignants, personnel), munis d'une carte d'accès ou d'un identifiant. Le personnel d'accueil joue un rôle d'interface, orientant les visiteurs vers les différents services disponibles. Les usagers ont ensuite accès aux collections documentaires, composées de documents imprimés (livres, revues, mémoires, thèses, rapports) et de ressources électroniques (bases de données, revues en ligne, etc.). La consultation de ces ressources peut se faire sur place, dans les salles de lecture, ou à distance via un catalogue informatisé accessible en ligne.

La bibliothèque offre également une gamme de services aux usagers, notamment le prêt et le retour de documents selon une durée limitée, l'accès à internet, des salles de lecture individuelles ou collectives, ainsi qu'un service d'aide à la recherche documentaire pour les étudiants et chercheurs.

Enfin, l'organisation interne repose sur une structure hiérarchisée. La direction assure la gestion administrative globale. Elle est appuyée par un personnel spécialisé, comprenant des bibliothécaires-documentalistes, des techniciens en documentation et parfois des informaticiens pour la gestion des systèmes numériques. Cette structure organisationnelle permet une gestion efficace des ressources, des équipements et des services proposés, garantissant un fonctionnement optimal de l'établissement.

1.2 Généralités sur le milieu

1.2.1 Présentation du milieu

Goma est une ville située à l'est de la République Démocratique du Congo, dans la province du Nord-Kivu. Elle se trouve sur la rive nord du lac Kivu, à la frontière avec le Rwanda, près de la ville de Gisenyi. Elle est le chef-lieu de la province du Nord-Kivu.

La ville est bâtie sur d'anciennes coulées de lave issues de la chaîne volcanique de Virunga, principalement du volcan Nyiragongo, situé à environ 14km au Nord de la ville [9].

1.2.2 Situation géographique du site

a. Localisation

Goma est située dans une région montagneuse, à une altitude d'environ 1500m de la vallée du Rift, ce qui lui confère un climat tempéré et humide.

b. Données climatologiques

Goma bénéficie d'un climat tropical d'altitude, influencé par sa situation dans la vallée du Rift et sa proximité avec le Lac. La température moyenne annuelle est proche de 19 et 22°C, la température maximale moyenne de 24 à 26°C et la température minimale moyenne de 12 à 16°C [9]. Grâce à son altitude élevée, Goma bénéficie d'un climat plus frais que d'autres régions tropicales.

On compte deux saisons au cours de l'année : la saison des pluies de septembre à mai, avec des précipitations abondantes et la saison sèche de juin à août, période avec peu de pluie mais une humidité toujours présente.

c. Situation socio-économique

Depuis 2022, l'insécurité dans la ville a gravement affecté la santé publique et la prise en charge des malades. La guerre a provoqué la destruction ou la fermeture de nombreux centres de santé aux environs de Goma, limitant ainsi l'accès aux soins. La concentration de la population dans la ville et dans des camps insalubres et l'accès limité à l'eau potable a favorisé la propagation des maladies infectieuses.

d. Végétation

La végétation de la ville de Goma est influencée par son climat tropical d'altitude et son environnement volcanique. La ville est en grande partie urbanisée, mais on y trouve des arbres et des petits jardins cultivés.

1.3 Généralités sur la conception

1.3.1 Conception architecturale

La conception architecturale est le processus par lequel un architecte crée des espaces fonctionnels, esthétiques et durables. Elle intègre divers éléments tels que la structure, l'ergonomie, l'esthétique, l'environnement et les besoins spécifiques des utilisateurs [10].

La fonctionnalité : L'architecture doit répondre à des besoins spécifiques, qu'il s'agisse d'un logement, d'un lieu de travail, d'un espace public, etc. L'organisation des espaces, les circulations et les équipements doivent être conçus pour optimiser l'utilisation du bâtiment.

L'esthétique : L'architecture a une dimension artistique. Le choix des formes, des couleurs, des matériaux et des proportions contribue à créer une ambiance et une identité visuelle.

La structure : La structure d'un bâtiment doit être solide et stable pour résister aux contraintes physiques. Les architectes travaillent en étroite collaboration avec des ingénieurs pour concevoir des structures efficaces et sûres.

Matériaux : Le choix des matériaux est crucial car il influence l'esthétique, la durabilité, le coût et l'impact environnemental du bâtiment.

Environnement : L'architecture doit s'intégrer harmonieusement dans son environnement et respecter les contraintes naturelles et réglementaires.

Il existe plusieurs facteurs déterminant la conception [10] :

- La destination de l'ouvrage et son programme ;
- Le site et la forme de la parcelle où sera érigé l'ouvrage ;
- Les exigences en matière d'urbanisme et de construction ;
- Les exigences environnementales ;
- Les conditions géologiques, géotechniques et hydrologiques du terrain ;
- Les choix architecturaux ;
- Les choix relatifs aux matériaux et aux principes de systèmes porteurs.

1.3.2 Conception architecturale d'une bibliothèque

La conception architecturale d'une bibliothèque consiste à organiser l'espace de manière à répondre aux besoins fonctionnels liés à l'accueil, à la consultation et à la conservation des documents. Elle repose sur une analyse préalable des usagers, des types de services à offrir et des flux internes, permettant de définir des espaces adaptés comme les salles de lecture, les

zones de stockage, les espaces multimédias et les services d'accueil. Selon Ching (2014), la conception architecturale vise à harmoniser la fonction, la circulation et la forme du bâtiment, tandis que des auteurs comme Neufert (2015) insistent sur les normes dimensionnelles et l'ergonomie nécessaires pour assurer confort, accessibilité et efficacité [11] [10].

Dans le cas d'une bibliothèque universitaire, la conception doit également intégrer des exigences techniques spécifiques telles que la capacité portante des planchers, la ventilation, l'éclairage naturel, la sécurité incendie et l'acoustique, afin de garantir de bonnes conditions d'étude et de conservation. Elle s'inscrit aujourd'hui dans une démarche durable, encourageant l'usage de matériaux écologiques, l'efficacité énergétique et la flexibilité spatiale pour accueillir des services numériques en constante évolution. Ainsi, la conception architecturale d'une bibliothèque vise à combiner fonctionnalité, confort, sécurité et durabilité, tout en offrant un espace propice à l'apprentissage et à la recherche (Allen & Iano, 2019) [12].

1.3.3 Logiciel de conception

Les logiciels de conception architecturale jouent un rôle essentiel dans la création et le développement de projets architecturaux. Ils permettent aux architectes et aux designers de visualiser, modéliser et simuler leurs idées, facilitant ainsi le processus de conception et améliorant l'efficacité du travail.

Le BIM est une approche intégrée qui permet de modéliser les informations du bâtiment tout au long de son cycle de vie. Revit est un exemple phare qui permet non seulement la conception mais aussi la gestion des données liées au projet [13].

Les logiciels de conception peuvent être classés en catégories comme suit :

- Logiciels de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) : Utilisés pour créer des plans en 2D et des modèles simples en 3D. Exemple : AutoCAD
- Logiciels de modélisation BIM (Building Information Modeling) : Ces outils permettent de concevoir des bâtiments intelligents en intégrant des informations précises sur les matériaux, les coûts, et les performances énergétiques.

Exemples : Revit, ArchiCAD.

- Logiciels de rendu et de visualisation : Utilisés pour produire des rendus réalistes.

Exemples : Lumion, Twinmotion, V-Ray.

- Logiciels de calcul et d'analyse structurelle : Pour évaluer la résistance des structures et leur conformité aux normes.

Exemples : Robot Structural Analysis, ETABS.

L'utilisation de ces logiciels présente plusieurs avantages [13] :

- Les outils numériques permettent une grande précision dans les dimensions et les détails techniques.
- La modélisation 3D aide à visualiser l'espace avant même qu'il ne soit construit, ce qui facilite la communication avec les parties prenantes.
- De nombreux logiciels permettent une collaboration en temps réel entre différents intervenants (architectes, ingénieurs, clients), ce qui améliore l'efficacité du processus
- Certains logiciels offrent des fonctionnalités pour simuler des scénarios (comme l'évacuation en cas d'urgence), ce qui est particulièrement important dans le cadre d'une clinique où la sécurité est primordiale.

1.4 Généralités sur le dimensionnement

1.4.1 Introduction

Le dimensionnement consiste à déterminer les dimensions, les matériaux et les caractéristiques mécaniques des éléments qui supportent les charges d'une structure, afin qu'elle soit sûre, stable, économique et conforme aux normes en vigueur.

Pour dimensionner un élément structural (poteau, poutre, plancher) de sorte qu'il résiste aux efforts qui sont appliqués, il est important de connaître d'abord la totalité de ces efforts, puis en déduire certaines grandeurs qui vont permettre d'effectuer le dimensionnement.

Il est crucial d'identifier et de calculer toutes les charges qui agiront sur les éléments porteurs [14] :

- **Charges permanentes** : Poids des matériaux de construction, systèmes mécaniques.
- **Charges d'exploitation** : Nombre prévu d'occupants, équipements médicaux.
- **Charges climatiques** : Neige, vent, température.

Éléments structuraux à dimensionner sont :

- **Fondations** : Elles doivent supporter les charges de l'ensemble du bâtiment et s'adapter aux caractéristiques du sol.
- **Poteaux** : Ils assurent la transmission des charges verticales vers les fondations.
- **Poutres** : Elles supportent les planchers et les charges réparties.
- **Dalles** : ils constituent les planchers et doivent résister aux charges concentrées (équipements) et aux charges réparties (personnes).

Les normes de sécurité doivent être respectées pour garantir la protection des patients, des personnels et des visiteurs entre autres les facteurs de sécurité appliqués aux charges et aux matériaux ainsi que l'évaluation spécifique pour les hôpitaux, où la sécurité est primordiale.

1.4.2 Principes de base du dimensionnement

Le dimensionnement doit respecter certains principes fondamentaux [15] :

- **Résistance** : Les éléments doivent être capables de supporter les charges permanentes et les charges variables.
- **Stabilité** : Les structures doivent rester stables sous l'effet des forces externes (vent, séismes).
- **Durabilité** : Les matériaux doivent résister aux conditions environnementales et à l'usure due à l'utilisation.

1.4.3 Le prédimensionnement

Le prédimensionnement est une étape cruciale dans la conception d'un bâtiment. Il s'agit d'une estimation initiale des dimensions et des caractéristiques des éléments structurels (poutres, colonnes, fondations, etc.) qui composeront le bâtiment. Le but du prédimensionnement est de définir les dimensions des différents éléments de la structure. Ces dimensions sont choisies selon la préconisation de BAEL et de RPA 99, les résultats peuvent être modifiés après vérification dans la phase de dimensionnement.

Le prédimensionnement a pour objectifs :

- L'évaluation des premières dimensions des éléments porteurs pour assurer leur capacité à supporter les charges.
- Faciliter l'étude de faisabilité en proposant une base pour estimer le coût et les matériaux nécessaires.
- Gagner du temps dans les phases initiales de conception avant d'entamer des calculs précis.

Les dimensions doivent respecter les normes locales ou internationales de conception (par exemple : Eurocodes ou ACI).

Les résultats du prédimensionnement sont approximatifs et nécessitent une validation par des calculs détaillés. Mais aussi, le prédimensionnement ne prend pas en compte certains aspects complexes comme les effets dynamiques ou les charges spécifiques. Nous pouvons souligner quelques étapes du prédimensionnement tels que :

- La définition du programme qui implique l'identification des besoins fonctionnels et architecturaux.
- L'estimation des dimensions initiales qui consiste à appliquer les règles empiriques (par exemple : épaisseur d'un plancher = portée/30 pour un plancher béton armé).
- Le choix des matériaux selon les besoins architecturaux, esthétiques ou techniques.
- La vérification pour s'assurer de la conformité avec les normes et ajustements selon les contraintes identifiées.

Dans le cadre architectural, le prédimensionnement doit prendre en compte :

- Les contraintes esthétiques : Les dimensions des éléments structurels influencent l'esthétique générale (hauteur des plafonds, finesse des colonnes).
- L'intégration des espaces : Les dimensions doivent répondre aux besoins spatiaux et fonctionnels (largeur des ouvertures, dégagements nécessaires).
- Les innovations : Certaines solutions modernes permettent d'optimiser les structures (matériaux composites, systèmes préfabriqués)

1.4.4 Vérification des résultats

La vérification des éléments porteurs est cruciale pour garantir que notre clinique résiste aux charges prévues (charges permanentes et charges d'exploitation) et pour prévenir tout risque d'effondrement.

Nous devons nous rassurer que le dimensionnement respecte les normes de construction en vigueur, telles que les Eurocodes ou les normes locales spécifiques à la construction hospitalière. Les déformations des éléments porteurs doivent rester dans les limites admissibles pour garantir le confort des occupants et le fonctionnement des équipements. Cette vérification peut se faire suivant deux méthodes :

- **Les calculs structurels**, qui consistent à utiliser des méthodes analytiques pour calculer les efforts internes (moment fléchissant, cisaillement) et les déformations des éléments porteurs (poutres, colonnes) sous différentes charges.
- **La modélisation numérique**, qui fait appel à des logiciels de modélisation et d'analyse structurelle pour simuler le comportement des éléments porteurs sous charge et identifier les points critiques. Les logiciels comme Robot Structural Analysis, SAP2000, ou ETABS permettent de simuler les charges et de valider les résultats obtenus.

Dans cette section, il est essentiel de vérifier que les matériaux utilisés possèdent une résistance suffisante pour supporter les charges appliquées. Il faut également s'assurer que le dimensionnement et la disposition des armatures garantissent une résistance efficace à la traction du béton. De plus, les dimensions des différents éléments structuraux doivent être adaptés aux sollicitations afin d'assurer la stabilité globale de la structure, en évitant tout risque d'effondrement ou de déformation excessive.

Pour une clinique, certaines particularités méritent d'être soulignées, notamment :

- **Charge importante des équipements médicaux** : Les dalles doivent être dimensionnées pour supporter des équipements lourds comme des scanners ou IRM.
- **Fluidité des circulations** : Les portées doivent être optimisées pour limiter les obstacles (poteaux ou murs porteurs dans des espaces critiques).
- **Impact des charges dynamiques** : Prendre en compte les vibrations dues aux équipements et aux déplacements fréquents des usagers (patients, personnel).

1.5 Généralités sur les matériaux utilisés

La structure de notre bâtiment a été faite en béton armé, un matériau composite qui associe les propriétés mécaniques complémentaires du béton et de l'acier.

1.5.1 Le béton

Le béton est un mélange composé de granulats (sables et graviers), de ciment, d'eau et, éventuellement, d'adjuvants en quantités précisément définies. Le béton est un matériau qui résiste mieux à la compression et très mal à la traction raison pour laquelle, on lui associe des armatures pour reprendre les efforts de traction et pour ainsi avoir un béton armé [16].

1.5.1.1 Classification du béton

Le béton peut être classé selon la masse volumique, la résistance, etc. Dans ce travail, nous présentons les deux classifications.

a) Selon la masse volumique

On distingue le béton très lourd, le béton lourd, le béton léger et le béton très léger comme cela est indiqué dans le [Tableau 1-1](#). Les bétons très lourds sont formés de ciment et d'agrégats spéciaux à masse volumique élevés.

Tableau 1-1 : Classification des bétons selon la masse volumique [17]

Classification	Masse volumique (ρ)
Béton très lourd	$\rho \geq 2500 \text{ kg/m}^3$
Béton lourd	$1800 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 2500 \text{ kg/m}^3$
Béton léger	$500 \text{ kg/m}^3 \leq \rho \leq 1800 \text{ kg/m}^3$
Béton très léger	$\rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$

b) Selon la résistance

Pour classer le béton selon la résistance, on réalise des essais à la compression des éprouvettes cylindriques de dimension (11 x 22 ; 16 x 32 ; 25 x 50). Le moule le plus utilisé est le moule 16 x 32. Par ailleurs les essais peuvent également se passer sur les moules cubiques. La norme

ENV 206 classe les bétons en fonction de leurs résistances caractéristiques à la compression reprises dans le [Tableau 1-2](#) [17].

[Tableau 1-2 : Classification des béton selon la résistance](#) [17]

Classes	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30
$f_{c,k,cyl}$	12	16	20	25
$f_{c,k,cub}$	15	20	25	30

Dans ce tableau, $f_{c,k,cyl}$ et $f_{c,k,cub}$ sont les résistances caractéristiques du béton obtenu respectivement sur les éprouvettes cylindriques et cubiques.

1.5.2 L'acier

L'acier, alliage métallique du fer et du carbone, dont la teneur en carbone varie entre 0,005% et 2%, tire ses propriétés remarquables de ce mélange. Bien que présent en faible quantité, le carbone améliore significativement les propriétés du fer, notamment la dureté, la résistance à la rupture et la résistance à la déformation élastique. En raison de ces caractéristiques, l'acier est largement utilisé en génie civil, pour divers produits comme les câbles, les profilés, les armatures, ...

Les aciers utilisés en construction sont classés en 4 catégories : les barres lisses, les barres à haute adhérence, les treillis soudés et les profils [18].

a) Barres lisses

Les barres lisses sont rondes et lisses, sans motif ni aspérité sur la surface. Elles ont une bonne résistance mécanique mais une faible adhérence au béton (comparée aux barres haute adhérence) et elles sont utilisées pour les applications simples ou non structurales, en tant qu'élément secondaire par exemple.

b) Barres à haute adhérence

Ce sont des barres d'acier avec des nervures ou des reliefs réguliers sur la surface. Elles adhèrent parfaitement au béton grâce aux nervures et ont une résistance élevée à la traction. Elles sont utilisées comme armatures principales dans les structures en béton armé en raison de leur capacité exceptionnelle à supporter des efforts importants.

c) Treillis soudés

Il s'agit d'un réseau de barres d'acier disposé en quadrillage, soudés à leurs intersections. On

peut noter une répartition uniforme des efforts, la rapidité d'installation grâce à leur forme prête à l'emploi, une flexibilité moindre comparé aux barres mais une efficacité remarquable pour les grandes surfaces.

d) Profils ou profilés

Les profilés sont des sections d'acier laminées à chaud, disponibles sous différentes formes (I, U, H, L, ...). Ils ont une très haute résistance mécanique et sont utilisées principalement dans les structures métalliques, mais ils peuvent aussi être intégré dans les constructions en béton armé.

e) Caractéristiques mécaniques

Les principales caractéristiques mécaniques des aciers sont : la limite d'élasticité, la résistance à la traction et la rupture à l'allongement qu'on peut représenter dans le [Tableau 1-3](#)

Tableau 1-3 : Caractéristiques des aciers [18]

Désignation	Symbole	Nuance $F_e E$	Limite d'élasticité (MPa)	Résistance à la traction (MPa)	Allongement de rupture (%)
Barres lisses	\emptyset	215	215	330	22
	\emptyset	235	235	410	22
Barres haute adhérence	HA	400	500	480	14
	HA	500	500	550	12
Treillis soudés	TS	500	500	550	8

1.5.3 Le béton armé

Le béton armé est matériaux composite résultant de l'association du béton et de l'acier. L'association du béton-acier repose sur les caractéristiques spécifiques de ces matériaux. Le béton, excellent en compression mais faible en traction, présentait des limites importantes pour les structures sollicitées en traction, comme les poutres et les dalles. Avec la découverte de l'acier et de ses propriétés idéales en traction, il a été démontré qu'il était le matériau parfait pour compenser les faiblesses du béton.

Le béton armé présente plusieurs avantages tels que :

- Résistance élevée : Résiste très bien à la compression et, grâce à l'acier, aussi à la traction.
- Durabilité : Longue durée de vie s'il est bien dosé, compacté et protégé. Résiste aux intempéries, au feu et à la corrosion.
- Bonne inertie thermique : Il régule la température intérieure, ce qui est favorable dans les bâtiments publics.
- Matériau localement disponible.
- Formabilité : Peut-être moulé dans presque toutes les formes.

Bien qu'il présente plusieurs avantages, le béton a cependant quelques inconvénients :

- Poids élevé.
- Temps de cure : Plus lent à mettre en œuvre car nécessite un temps de prise et de durcissement.
- Réparation difficile : Une fois fissuré ou endommagé, le béton est plus difficile à réparer que d'autres matériaux comme le bois ou l'acier.
- Empreinte écologique : Le ciment a un fort impact environnemental (émission CO₂).

1.5.4 Le bois et les lambris comme matériau écologique

Face aux enjeux environnementaux et à la nécessité de concevoir des bâtiments plus durables, l'utilisation de matériaux écologiques et renouvelables devient incontournable dans l'architecture contemporaine.

Parmi ces matériaux, le bois occupe une place privilégiée en raison de sa disponibilité, de sa faible empreinte carbone et de ses performances techniques. Il est utilisé aussi bien dans la structure que dans les finitions des bâtiments. Dans le cadre du présent projet, le bois est intégré principalement sous forme de lambris pour le revêtement intérieur, dans une logique d'esthétique, de confort et de durabilité.

1.5.4.1 Le bois en tant que matériau de construction

a) Définition

Le bois est un matériau naturel d'origine végétale, obtenu par la transformation des troncs d'arbres. Il est utilisé dans le domaine de la construction depuis des siècles, aussi bien pour les structures porteuses que pour les éléments de finition. Sa composition organique et sa structure fibreuse lui confèrent des propriétés mécaniques, thermiques et esthétiques remarquables.

b) Constituants du bois

Le bois est principalement composé de :

- Cellulose : matière fibreuse assurant la résistance à la traction.
- Hémicellulose : contribue à la stabilité interne.
- Lignine : responsable de la rigidité du bois et de sa résistance à la compression. Il contient également de l'eau (humidité), des résines et divers composés organiques influençant son comportement et sa durabilité.

c) Propriétés générales

Le bois est un matériau anisotrope (ses propriétés varient selon les directions), léger, isolant thermique naturel, facile à travailler, mais sensible à l'humidité et aux agents biologiques (insectes, champignons) s'il n'est pas traité.

1.5.4.2 Avantages et inconvénients du bois

a) Avantages

- Renouvelable et biodégradable, lorsqu'il provient de forêts gérées durablement ;
- Faible énergie grise (nécessite peu d'énergie pour sa transformation) ;
- Bon isolant thermique et acoustique ;
- Aspect chaleureux et esthétique naturelle ;
- Facilité de pose et d'entretien dans les applications intérieures.

b) Inconvénients

- Sensibilité à l'humidité, au feu et aux insectes sans traitement adapté ;
- Variation dimensionnelle selon le taux d'humidité (gonflement ou retrait) ;
- Durabilité dépendante de l'essence et de la qualité de mise en œuvre ;
- Nécessite un entretien régulier pour les ouvrages exposés.

1.5.4.3 Le lambris en bois : application décorative et écologique

Le lambris est un produit de finition en bois, constitué de fines lames fixées sur les murs ou les plafonds, à l'aide de clous, vis ou clips. Il est utilisé principalement pour des raisons esthétiques, thermiques et acoustiques.

Il peut être réalisé à partir de différentes essences de bois (pin, sapin, eucalyptus, etc.) et se décline en plusieurs types selon la finition (brut, verni, peint) et le profil (rainuré, chanfreiné, etc.).

Dans le projet de la bibliothèque universitaire de l'ULPGL Goma, le lambris est intégré comme revêtement intérieur non structurel, notamment dans les salles de lecture et les espaces de circulation. Ce choix s'inscrit dans une démarche de construction durable et locale, utilisant le bois comme ressource naturelle disponible dans la région du Nord-Kivu.

En plus de son rôle décoratif, le lambris contribue à améliorer le confort thermique des espaces (en réduisant les parois froides) et à absorber une partie des nuisances sonores, ce qui est essentiel dans un cadre d'étude.

1.6 Conclusion partielle

En résumé, ce chapitre a présenté les bases théoriques nécessaires à la conception d'une bibliothèque universitaire, en abordant ses exigences fonctionnelles, les matériaux de construction retenus et en particulier le rôle du bois sous forme des lambris comme solution écologique de finition intérieure. Ces éléments serviront de fondement à l'approche méthodologique développée dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 Méthodologie

Dans ce chapitre, nous présentons premièrement les principes architecturaux qui nous ont guidés dans la conception des plans de notre bâtiment. Deuxièmement, nous présentons les matériaux utilisés ainsi que les principes du dimensionnement de la structure adoptée et les actions à considérer. Troisièmement, nous présenteront le coût d'exécution de l'ouvrage et enfin, le planning des travaux.

2.1 Conception architecturale

La phase de conception architecturale est cruciale, car elle permet de traduire les besoins fonctionnels de l'utilisateur en espaces physiques cohérents, confortables, esthétiques et techniquement réalisables. Dans le cadre de cette bibliothèque universitaire, la conception s'est basée sur des principes normatifs et ergonomiques inspirés notamment du Neufert [10], en tenant compte des spécificités locales.

2.1.1. Les principes fonctionnels

Le fonctionnalisme en architecture suppose que la forme d'un bâtiment découle de sa fonction. L'architecte Louis Sullivan est célèbre pour avoir résumé le principe fonctionnaliste en une phrase : « La forme suit la fonction. » Il a résumé ses idées selon lesquelles la taille, la masse, l'apparence et toutes les autres caractéristiques d'un bâtiment doivent provenir entièrement de sa fonction.

Les différents principes fonctionnels qui nous ont guidés dans l'élaboration des plans sont les suivants :

a) Notion de proportion

Les dimensions des salles de lecture, de travail collaboratif, des rayonnages ou des bureaux ont été proportionnées au nombre d'utilisateurs et au mobilier nécessaire. La hauteur sous-linteau a été fixée à 3.20 mètres, assurant une ventilation naturelle suffisante et un confort spatial optimal et

les différentes dimensions en plan des autres pièces en se basant sur les proportions. Ces principes sont illustrés dans la septième édition du livre de NEUFERT [10].

b) L'étude du schéma fonctionnel

L'organisation fonctionnelle de la bibliothèque universitaire proposée repose sur une répartition claire et hiérarchisée des espaces, selon les normes ergonomiques et architecturales recommandées, notamment celles du Neufert (édition 2012), complétées par les directives issues de projets de bibliothèques universitaires modernes.

Au rez-de-chaussée (RDC), on retrouve les espaces d'accueil et d'orientation, incluant la réception et les bureaux administratifs. La réception est conçue pour accueillir les usagers dès l'entrée, avec une surface d'environ 25 m², ce qui correspond aux préconisations du Neufert pour des bibliothèques accueillant plus de 300 usagers par jour. À proximité se trouvent les bureaux administratifs qui assurent la gestion de la bibliothèque.

Toujours au RDC, sont implantées quatre salles de lecture commune, chacune d'environ 100 m², pouvant accueillir 72 personnes. Ces salles sont destinées au travail en groupe et à la lecture collective. Cette capacité respecte la norme d'occupation de 1,5 m² par place assise en lecture commune, tout en assurant la fluidité de circulation. Ces espaces sont également dotés de revêtements en lambris de bois sur les parois, afin d'assurer une atmosphère propice à la concentration et un meilleur confort acoustique.

Un espace multimédia est également prévu au RDC, équipé de 56 postes informatiques, répartis sur une surface de plus de 80 m². Selon les normes recommandées, chaque poste nécessite au moins 1,5 à 2 m² d'espace. Cet aménagement permet une accessibilité optimale aux ressources numériques, indispensable dans une bibliothèque universitaire moderne. Les blocs sanitaires du rez-de-chaussée comprennent quatre cabines pour femmes et trois pour hommes, ce qui correspond aux exigences minimales des établissements recevant du public de type R (bâtiments scolaires/universitaires).

Le premier étage (R+1) est dédié au travail individuel. Il comprend quatre salles de lecture individuelle pouvant accueillir au total 136 personnes. Ces salles offrent un cadre calme et isolé pour la consultation personnelle, avec des postes espacés selon les recommandations de confort (1,5 m² par usager au minimum). Un espace multimédia supplémentaire y est aménagé, avec 36 postes, afin de compléter les équipements numériques disponibles au RDC.

Le deuxième étage (R+2), en cohérence avec l'organisation verticale du projet, est également réservé à la lecture individuelle, avec une capacité totale portée à 288 personnes. Cela permet d'absorber les pics d'affluence lors des périodes d'examen. Le mobilier de ces salles est en bois local, et les parois en lambris contribuent à créer un cadre chaleureux, en cohérence avec l'identité architecturale recherchée. Un espace numérique y est également présent, doté de 38 postes.

Les circulations verticales sont assurées par des escaliers implantés stratégiquement à chaque niveau, conformément aux normes d'évacuation et d'accessibilité (au moins 1,20 m de largeur pour des bâtiments à usage éducatif à étages multiples). Les circulations horizontales (couloirs) respectent également une largeur minimale de 1,5 m pour permettre une circulation fluide.

Cette organisation fonctionnelle respecte donc les standards des bâtiments éducatifs modernes, tout en intégrant les contraintes spécifiques du site de l'ULPGL Goma. Elle propose une architecture durable, confortable et accessible, en adéquation avec les exigences d'une bibliothèque universitaire du 21^e siècle.

2.1.2. Les principes esthétiques

L'aspect esthétique du projet a été soigneusement étudié pour offrir un cadre harmonieux, fonctionnel et accueillant à la communauté universitaire. Les formes simples, les volumes équilibrés et le choix des matériaux contribuent à créer une identité architecturale sobre mais contemporaine, en phase avec la vocation du lieu.

Une attention particulière a été portée au traitement des façades, avec l'intégration de murs rideaux en façades principales pour maximiser l'apport de la lumière naturelle et renforcer la transparence des espaces lecture. Les lambris en bois utilisés à l'intérieur ajoutent une touche naturelle et chaleureuse, tout en améliorant l'acoustique des salles.

2.1.3. Emplacement de l'ouvrage

Le projet de bibliothèque universitaire est prévu pour être implanté au campus Salomon de l'ULPGL, situé dans la province du Nord-Kivu ; en République Démocratique du Congo. Le campus est localisé au n°2, Avenue du Lac, dans la commune de Goma.

2.2 Le dimensionnement

Dès le stade de l'esquisse, pour que le projet d'architecture soit représentatif de la réalité future du bâtiment, il est important de pouvoir donner des dimensions réalistes aux planchers, dalles, poutres et colonnes (ossature) des bâtiments étudiés. L'étape de pré dimensionnement précède celle du dimensionnement, et fournit les dimensions de bases sur lesquelles s'appuie l'ingénieur dans un projet [19].

2.2.1 Choix et justification des matériaux de construction

La conception structurelle de la bibliothèque universitaire repose sur le choix de matériaux performants, disponibles localement et adaptés aux exigences techniques, environnementales et esthétiques du projet. Trois matériaux principaux ont été retenus : le béton armé, l'acier à haute adhérence et le bois sous forme de lambris décoratif. Le choix de ces matériaux résulte à la fois des normes de calcul utilisées (BAEL 91 modifié 99) et des spécificités fonctionnelles du bâtiment.

2.2.1.1 Le béton

Le béton armé constitue l'ossature principale de l'ouvrage. Le béton utilisé est de classe C25/30, selon les recommandations de la norme BAEL. Ce choix assure un bon compromis entre résistance mécanique, durabilité et coût. Ce type de béton est particulièrement adapté aux structures porteuses telles que les dalles, les poutres, les poteaux et les semelles, avec les caractéristiques suivantes :

- Résistance caractéristique en compression : 25 MPa sur cylindre, 30 MPa sur cube ;
- Bonne durabilité en milieu peu agressif, tel que le site du campus Salomon à Goma ;

- Facilité de mise en œuvre avec les moyens techniques disponibles localement.

Le béton C25/30 a permis d'obtenir des éléments structuraux efficaces : dalles de 15 cm, poutres de section 30×60 cm, poteaux de 30×30 cm, et semelles de 80×80 cm.

2.2.1.2 L'acier

L'acier utilisé dans ce projet est un acier à haute adhérence de type FeE400, conforme à la norme BAEL. Il a été choisi pour ses excellentes propriétés mécaniques, notamment :

- Limite élastique : 400 MPa ;
- Bonne adhérence au béton, grâce à sa surface nervurée ;
- Ductilité importante, garantissant une meilleure résistance aux sollicitations sismiques potentielles.

Les sections d'armatures (longitudinales et transversales) ont été calculées à partir des efforts internes extraits du logiciel Robot Structural Analysis, en respectant les exigences d'enrobage, d'espacement et de recouvrement des barres.

2.2.1.3 Intégration d'un matériau écologique : le choix du lambris en bois

Dans une logique de développement durable et d'intégration de matériaux à faible impact environnemental, le lambris en bois a été retenu comme revêtement intérieur non structurel. Ce matériau est utilisé dans les salles de lecture et les couloirs pour ses avantages multiples :

- Confort thermique et acoustique, réduisant les parois froides et absorbant les nuisances sonores ;
- Aspect esthétique chaleureux, en harmonie avec l'architecture du bâtiment ;
- Matériau local et renouvelable, issu des essences disponibles dans la région (pin ou eucalyptus).

La pose des lambris se fera sur une ossature secondaire, c'est-à-dire une structure légère fixée aux murs ou aux plafonds, généralement constituée de tasseaux en bois ou de rails métalliques. Cette ossature ne participe pas à la stabilité du bâtiment, mais elle permet :

- De garantir une surface de pose plane,
- De ménager un espace pour la ventilation ou le passage de câbles,
- Et de faciliter la fixation des lames de lambris dans de bonnes conditions techniques.

Les lambris seront en outre traités préventivement contre l'humidité et les insectes, conformément aux recommandations techniques pour les matériaux bois. Ce choix s'inscrit pleinement dans une démarche de construction durable, alignée avec les principes d'architecture bioclimatique adaptés aux bâtiments éducatifs.

Tableau 2-1 : Matériaux utilisés et justification de leur choix

Matériau	Type / Classe	Utilisation dans le projet	Justification du choix
Béton armé	C25/30	Élément porteur principal : dalles, poutres, poteaux, semelles	Bonne résistance en compression, durabilité, disponibilité locale, adapté aux normes BAEL
Acier à haute adhérence	FeE400 (HA 400)	Armatures dans les éléments en béton armé	Excellente résistance à la traction, bonne adhérence, ductilité, conforme aux normes
Lambris en bois	Bois local (pin, eucalyptus)	Revêtement intérieur non structural (murs et plafonds) dans les salles de lecture et de circulation	Matériau écologique, isolation thermique et acoustique, esthétique, ressource locale

2.2.2 Notions d'Etats limites et vérification des sections

Un état limite est un état particulier dans lequel une condition requise pour une construction, ou l'un de ses éléments, est strictement satisfaite et cesserait de l'être en cas de modification défavorable d'une action.

a) Etats limites ultimes E.L.U

Il correspond à une valeur maximale de la capacité portante du matériau sans qu'il y ait risque d'instabilité, et on en distingue trois :

- STR : Vérification de la résistance et des déformations des différentes parties de la structure ;
- EQU : Vérification des risques de perte d'équilibre statique ;
- GEQ : Vérification du non dépassement de la résistance du sol.

b) Etats limites de service E.L.S

Cet état vise à assurer le confort des personnes et à limiter les déformations. Il est dépassé lorsque les déformations maximales sont dépassées. Il faut vérifier que la flèche provoquée par les actions appliquées à la structure est inférieure à la flèche limite. On distingue :

- Etat limite de résistance à la compression du béton ;
- Etat limite de déformation : éviter les flèches excessives ;
- Etat limite d'ouverture des fissures : la limitation des fissures évite la corrosion des aciers ce qui entre dans le cadre de la durabilité de la structure.

c) Vérification des sections aux états limites

La structure doit être vérifiée pour assurer pendant toute sa durée d'exploitation la sécurité des personnes et permettre une utilisation conforme à sa destination ; Elle doit résister à toutes les actions susceptibles d'intervenir pendant la réalisation et sa durée d'utilisation [20].

La relation (2-1) présente la combinaison considérée en ELS.

$$P = G + Q \quad (2-1)$$

La relation (2-2) présente la combinaison considérée en ELU.

$$P = 1,35 * G + 1,5 * Q \quad (2-2)$$

Avec :

G : La charge permanente ;

Q : La charge d'exploitation ;

2.2.3 La structure du bâtiment

La structure du bâtiment désigne l'ensemble des éléments porteurs qui supportent et distribuent les charges (poids du bâtiment, poids des utilisateurs, les meubles et les forces environnementales telles que le vent et la neige) au sol et assurent sa stabilité. Cela inclut les fondations, les structures verticales (colonnes, les murs porteurs), les structures horizontales (poutres, planchers) et les structures de couverture (toit). Le but du dimensionnement est de déterminer les formes, dimensions, matériaux afin de satisfaire la fonction demandée dans toutes les conditions de vie de la structure.

2.2.3.1 Types de structures

Il existe plusieurs types de structures utilisées dans la construction des bâtiments, chacune ayant ses propres caractéristiques et applications. Ils peuvent être classés en fonction du matériau utilisé, de la forme, de la fonction, etc. Voici quelques-uns des types les plus courants :

a) Selon le matériau utilisé

- **Les structures en acier :** Couramment utilisées pour les bâtiments industriels, commerciaux, et les gratte-ciels. On préfère l'acier pour sa flexibilité et sa capacité à supporter les grandes charges.
- **Les structures en bois :** Utilisées pour les maisons d'habitation, les chalets, des petits bâtiments commerciaux, etc. Le bois est apprécié pour sa facilité de manipulation et ses propriétés esthétiques.
- **Les structures en béton :** Elles sont les plus répandues.

b) Selon la fonction

- **Les structures porteuses :** Elles supportent la charge du bâtiment. Elles comprennent les fondations, les poteaux, les poutres, les murs porteurs et les dalles.
- **Les structures de circulation :** Elles sont conçues pour faciliter le déplacement des personnes et des biens. Elles comprennent les escaliers et les ascenseurs.

Le choix du type de structure dépend de plusieurs facteurs, tels que la taille du bâtiment, les charges à supporter, le budget, l'espace disponible, les normes, l'esthétique etc. [21]

c) Modèle du bâtiment

La structure considérée pour notre bâtiment est une structure porteuse en béton armée à R+2 à usage de bibliothèque universitaire. Les murs de ce bâtiment sont considérés comme non-porteurs donc ils n'assument que le rôle de remplissage. Le cumul des charges portées par les poteaux constitue le chargement de la fondation.

2.2.4 Pré dimensionnement

Le pré dimensionnement des éléments structuraux est une étape importante dans le calcul de la structure d'un ouvrage car il est la base même du dimensionnement de la structure ; On doit déterminer des sections économiques afin de ne pas gaspiller les matériaux.

Le pré dimensionnement a pour but de déterminer les sections des différents éléments structuraux. Il sera fait selon les règles du BAEL 91 modifié 99 et de l'Eurocode 5.

2.2.4.1 Le plancher

Le plancher est un élément de construction généralement horizontal qui sert à limiter les étages d'un bâtiment, avec une épaisseur faible par rapport à ses dimensions en plan, il supporte les charges verticales et les répartit sur les poutres et les colonnes ; Il assure la stabilité de la construction tout en offrant une surface praticable. Il peut être fait de divers matériaux comme le bois, le béton, l'acier etc. Dans ce travail, il est en B.A.

Le dimensionnement d'un panneau de dalle passe par la détermination du coefficient de portance α . Les portées l_x et l_y d'un panneau de dalle sont mesurées entre les nus des appuis. Par convention on nomme la plus petite portée l_x et l_y la plus grande portée. La [Figure 2-1 : Panneau de dalle](#) présente un panneau de dalle.

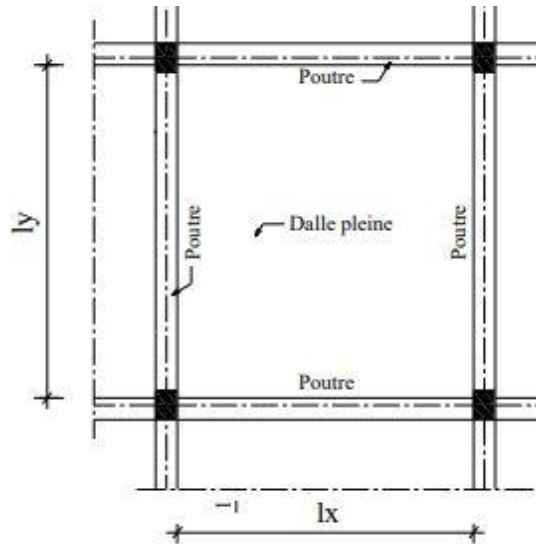


Figure 2-1 : Panneau de dalle [22]

Le coefficient de portance α est donné par la relation (2-3)

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y} \leq 1 \quad (2-3)$$

Il est différent selon que la dalle est unidirectionnelle ou bidirectionnelle. Les relations (2-4) et (2-5) présentent ses intervalles d'appartenance dans les deux cas.

- $\alpha \leq 0,4$ **Pour une dalle unidirectionnelle** (2-4)

- $0,4 \leq \alpha \leq 1$ **Pour une dalle bidirectionnelle** (2-5)

L'épaisseur courante (ou hauteur) d'une dalle unidirectionnelle est déterminée par la relation (2-6).

$$h_0 \geq \begin{cases} \frac{l_x}{20} & \text{Pour un panneau de dalle isolé} \\ \frac{l_x}{25} & \text{Pour un panneau de dalle continu} \end{cases} \quad (2-6)$$

2.2.4.2 La poutre

Une poutre est un élément structural, généralement horizontal dont une dimension, la longueur « L » est de loin supérieure aux deux autres, la base « b » et la hauteur « h ». La [Figure 2-2](#) présente la section d'une poutre [23].

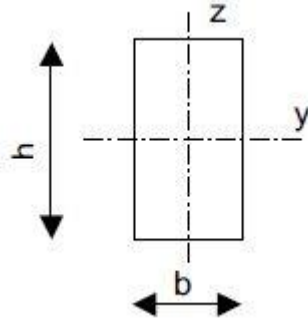


Figure 2-2 : Section transversale d'une poutre

Le pré dimensionnement des sections de poutres est fait selon BAEL91 modifié 99 ; ainsi les dimensions de la section doivent satisfaire aux conditions reprises par les relations (2-7) et (2-8) :

$$\frac{L}{15} \leq h \leq \frac{L}{10} \quad (2-7)$$

$$\frac{2h}{5} \leq b \leq \frac{h}{2} \quad (2-8)$$

Avec :

b : La base de la poutre ;

h : La hauteur de la poutre.

Les dimensions de la section transversales doivent satisfaire aux conditions du RPA 99 (Règles parasismiques Algériennes) Article 7.5.1 reprises par la relation (2-9).

$$\left\{ \begin{array}{l} b \geq 20 \text{ cm} \\ h \geq 30 \text{ cm} \\ \frac{h}{b} \leq 4 \end{array} \right. \quad (2-9)$$

2.2.4.3 Le poteau

Le poteau est un élément de structure, généralement vertical, dont la longueur est de loin supérieure aux deux autres dimensions qui sont la base et la largeur. Sa forme est généralement carrée, rectangulaire ou circulaire. Les dimensions de la section transversale (b_1 et h_1) des poteaux doivent satisfaire les conditions énumérées à partir de la relation (2-10) jusqu'à la relation (2-13).

- $Min (b_1, h_1) \geq 25 \text{ cm}$ En zones de sismicité I et II (2-10)

- $Min (b_1, h_1) \geq 30 \text{ cm}$ En zones de sismicité III (2-11)

- $Min (b_1, h_1) \geq \frac{he}{20}$ (2-12)

- $\frac{1}{4} < \frac{b_1}{h_1} < 4$ (2-13)

Avec :

he : La hauteur comptée entre les faces supérieures et inférieures de deux planchers consécutifs.
Pour le pré dimensionnement des poteaux on suppose que ces derniers sont soumis à une compression centrée. Le pré dimensionnement se fait pour le poteau le plus chargé et la section obtenue sera généralisée pour les autres poteaux du même niveau.

La surface afférente S , est trouvée grâce aux dimensions en plan l_x et l_y par $S = l_x \times l_y$.

- La section réduite du béton B_r est la section réelle de la pièce du béton déduite de 2cm de chaque côté. Elle est donnée par la relation (2-14)

$$B_r = \frac{\beta \times N_u}{\frac{f_{bu}}{0.9} + \frac{0.85 \times f_e}{100 \times \gamma_s}} \quad (2-14)$$

Avec :

N_u : La charge verticale à laquelle est soumis le poteau

$\gamma_s = 0.15$: Le coefficient de calcul des aciers

β : Le coefficient de correction, il varie en fonction de l'élanement et prend les valeurs suivantes :

$$\beta = 1 + 0.2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2 \quad \text{si } \lambda \leq 50 \quad (2-15)$$

$$\beta = \frac{0.85 \lambda^2}{1500} \quad \text{si } 50 < \lambda \leq 70 \quad (2-16)$$

On se fixe un élanement mécanique pour rester dans le domaine de la compression centrée, pour ensuite déterminer le coefficient de correction.

La résistance de calcul du béton f_{bu} , est calculée par la relation (2-17).

$$f_{bu} = \frac{0.85 f_{c28}}{\gamma_b} \quad (2-17)$$

Pour notre section carrée, on doit avoir :

$$B_r = (a - 2)^2 \quad (2-18)$$

A partir de cette relation, on trouve la valeur du côté du poteau.

- Vérification du poteau au flambement : on vérifie le poteau le plus chargé au niveau du rez-de-chaussée.

La longueur de flambement « L_f » est évaluée en fonction de la longueur libre « L_o » des pièces et de leurs liaisons effectives par la relation (2-19).

$$L_f = K \cdot L_o \quad (2-19)$$

Avec :

L_o : La longueur libre du poteau.

Les valeurs de K pour les bâtiments sont fixées par BAEL 91 R 99 à son article B.8.3,3, K est égale à :

- 0,7 si le poteau est soit encastré dans un massif de fondation, soit assemblé à des poutres de plancher ayant au moins la même raideur que lui dans le sens considéré et le traversant de part en part ;
- 1 dans tous les autres cas.

La longueur libre « L_o » d'un poteau appartenant à un bâtiment à étages multiples est comptée entre faces supérieures de deux planchers consécutifs ou de sa jonction avec la fondation à la face supérieure du premier plancher.

L'élanement est donné par la formule (2-20)

$$\lambda = \frac{Lf}{i} \leq 50 \quad (2-20)$$

Le rayon de giration est donné par la relation (2-21)

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} \quad (2-21)$$

Nos poteaux sont de forme carrée, donc le moment d'inertie se calcule par la relation (2-22)

$$I = \frac{a^4}{12} \quad (2-22)$$

Avec :

S : La section du poteau.

i : Le rayon de giration de la section du poteau.

I : Le moment d'inertie minimale de la section du poteau.

2.2.4.4 La fondation

Les fondations sont des ouvrages qui jouent le rôle d'interface entre l'ouvrage et le sol ; ils transmettent au sol, dans des bonnes conditions les charges permanentes et les charges variables d'une construction. Le choix de type de fondation dépend de la qualité du sol, des charges amenées par la construction et le coût d'exécution. La surface de la semelle doit être suffisante pour répartir sur le sol les charges apportées par les porteurs verticaux. Pour notre travail, nous avons choisi les semelles isolées. La [Figure 2-3](#) présente une semelle isolée [24].

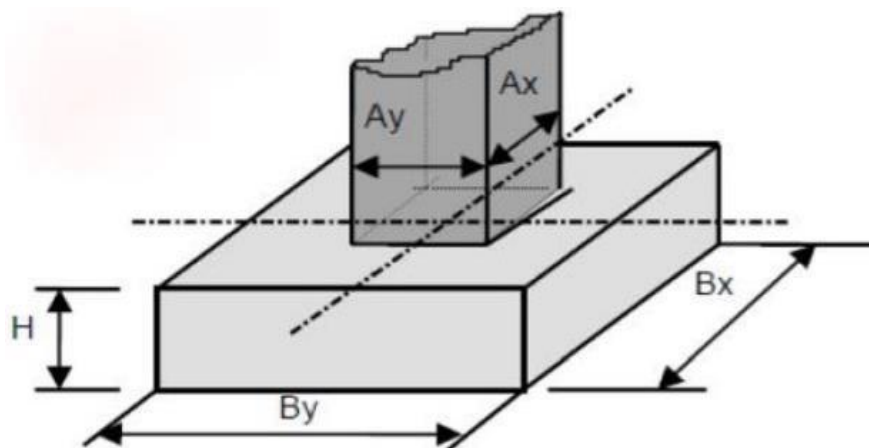


Figure 2-3 : Perspective d'une semelle isolée.

La surface de la semelle est retrouvée par la relation (2-23)

$$S = \frac{N_u}{q} \quad (2-23)$$

Avec :

N_u : l'effort ultime que la semelle reçoit de la part du poteau

q : la contrainte ou la capacité portante du sol

En se basant sur le caractère homothétique entre la semelle et le poteau traduit par la relation (2-24), on doit avoir :

$$\frac{A}{B} = \frac{a}{b} \quad (2-24)$$

La hauteur de la semelle doit vérifier les conditions reprises aux relations (2-25) et (2-26)

$$\frac{A-a}{4} \leq H - 10\text{cm} < A - a \quad (2-25)$$

$$\frac{B-b}{4} \leq H - 10\text{cm} < B - b \quad (2-26)$$

2.2.5 Actions sur le bâtiment

Les actions sont un ensemble de forces appliquées à la structure. Les charges qui seront appliquées à notre bâtiment, R+2 à usage de bibliothèque sont de différentes natures et agissent différemment.

Ainsi, pour ce travail, on pourra considérer deux types de charges dont les charges permanentes et les charges d'exploitation.

- Les charges permanentes (G) comprennent notamment le poids propre de la structure, et le poids des revêtements. Ils dépendent donc des dimensions des éléments de structure mais aussi de la masse volumique des matériaux utilisés.

- Les charges d'exploitation (Q) sont constituées par le poids des équipements, des utilisateurs. Pour notre ouvrage, il s'agit d'un bâtiment à usage de bibliothèque et la norme française européenne NF EN 1991-1-1 prévoit 5KN/m² comme charge d'exploitation.

Le [Tableau 2-2](#) reprend l'évaluation des charges permanentes [25].

[Tableau 2-3 : Poids volumique des matériaux](#)

Matériaux	Epaisseurs (cm)	Densité (kN / m ³)	Poids (kN/ m ²)
Blocs creux (15x20x40)	20	9	1.35
Enduit de ciment	5	18	0.9
Carrelage	1	22	0,22
Mortier de pose	2	21	0.42
Béton	15	25	3.75

2.2.6 Présentation du logiciel Robot structural Analysis

Le système Robot est un outil CAO/DAO destinée à modéliser, analyser et dimensionner les différents types de structures. Robot permet de modéliser les structures, les calculer, vérifier les résultats obtenus, dimensionner les éléments spécifiques de la structure ; la dernière étape gérée par Robot est la création de la documentation pour la structure calculée et dimensionnée [26].

Les sollicitations, le ferrailage et le dimensionnement des éléments en béton armé ont été générés par le logiciel Robot. Les plans d'exécutions générés par le logiciel Robot seront présentés en annexe.

Les hypothèses de calcul qui ont été utilisées pour le calcul des planchers sont :

- Type de ferrailage : ferrailage de la dalle
- Direction armatures principales : 0°
- Classe armatures principales : HA 400; résistance caractéristique = 400000,00 kPa
- Diamètres des barres inférieures d1 = 1,0 (cm) d2 = 1,0 (cm)

- Enrobage : supérieures $d1 = 1,0$ (cm) $d2 = 1,0$ (cm)
inférieur $c1 = 2,0$ (cm)
supérieure $c2 = 2,0$ (cm)
- Classe : BETON25; résistance caractéristique = 25000,00 kPa
- Densité : 2501,36 (kg/m³)
- Calculs suivant : BAEL 91 mod. 99
- Méthode de calcul de la section d'acier : Analytique
- Fissuration
 - lit supérieur : peu préjudiciable
 - lit inférieur : peu préjudiciable
- Vérification du poinçonnement : oui
- Tenue au feu : 0 h
- Type de calcul : flexion

Les hypothèses de calcul qui ont été utilisées pour le calcul des poutres sont :

- Béton : $f_{c28} = 25000,00$ (kPa) Densité = 2501,36 (kg/m³)
- Armature longitudinale : type HA 400 $f_e = 400000,00$ (kPa)
- Armature transversale : type HA 400 $f_e = 400000,00$ (kPa)
- Armature additionnelle : type HA 400 $f_e = 400000,00$ (kPa)
- Règlement de la combinaison : BAEL 91
- Calculs suivants : BAEL 91 mod. 99
- Dispositions sismiques : non
- Poutres préfabriquées : non
- Enrobage : Aciers inférieurs $c = 2,0$ (cm)
: Latéral $c1 = 2,0$ (cm)
: supérieur $c2 = 2,0$ (cm)
- Tenue au feu : forfaitaire
- Coefficient de redistribution des moments sur appui : 0,80
- Ancrage du ferrailage inférieur:
 - appuis de rive (gauche) : Auto

- appuis de rive (droite) : Auto
- appuis intermédiaires (gauche) : Auto
- appuis intermédiaires (droite) : Auto

Les hypothèses de calcul qui ont été utilisés pour le calcul des poteaux sont :

- Nom : RDC
- Niveau de l'étage : 0,00 (m)
- Tenue au feu : 0 h
- Fissuration : peu préjudiciable
- Milieu : non agressif
- Béton : $f_{c28} = 25000,00$ (kPa) Poids volumique= 2501,36 (kg/m³)
- Armature longitudinale : type HA 400 $f_e = 400000,00$ (kPa)
- Armature transversale : type HA 400 $f_e = 400000,00$ (kPa)
- Rectangle 30,0 x 30,0 (cm)
- Epaisseur de la dalle = 0,15 (m)
- Sous dalle = 3,85 (m)
- Sous poutre= 3,20 (m)
- Enrobage = 2,0 (cm)
- Calculs suivant : BAEL 91 mod. 99
- Dispositions sismiques : non
- Poteau préfabriqué : non
- Tenue au feu : forfaitaire
- Pré dimensionnement : non
- Prise en compte de l'élanement : oui
- Compression : simple
- Cadres arrêtés : sous plancher
- Plus de 50% des charges appliquées : après 90 jours

2.3 Le métré du projet

Le métré est l'ensemble des opérations qui permettent de calculer les dimensions d'une construction et d'en déduire le prix global en utilisant correctement les prix unitaires. Dans cette partie, nous traiteront les éléments structuraux en béton, la menuiserie des baies vitrées, la maçonnerie et la peinture [27].

2.4 Le planning de travaux

Le planning de travaux est un outil de gestion permettant de planifier les différentes étapes du chantier dans le temps. Pour ce projet, nous avons utilisé Microsoft Excel afin de générer le diagramme de GANTT qui est un outil de gestion de projet de planification de tâches. Il a été introduit en 1910 par Henry Gantt pour assister Taylor dans l'amélioration de l'organisation des ateliers. Son efficacité pour répertorier les activités nécessaires en vue de mener à bien ses projets a été améliorée en 1957, grâce aux contributions de Morgan Walker et James Kelley en intégrant la Méthode dite du « Chemin Critique ».

Chaque tâche y est positionnée en fonction de sa durée et de sa date de début. Le diagramme de Gantt présente en ordonnée la liste des tâches, et en abscisse l'échelle de temps (jours, semaines). Une barre horizontale représente chaque tâche, sa longueur traduisant la durée de réalisation [28].

2.5 Conclusion partielle

Ce chapitre a présenté la démarche méthodologique adoptée pour la conception de la bibliothèque universitaire de l'ULPGL Goma. Il a détaillé l'analyse des besoins fonctionnels, les principes architecturaux retenus ainsi que l'intégration de matériaux écologiques comme les lambris en bois. Le dimensionnement des éléments porteurs a été fait selon BAEL, en tenant compte des charges, des contraintes sismiques et des vérifications via modélisation. Enfin, le chapitre a exposé la méthode d'estimation des quantités et des coûts ainsi que la démarche suivie pour l'élaboration du planning d'exécution.

Chapitre 3 Présentation et interprétation des résultats

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord les résultats de la conception architecturale, ensuite les résultats du dimensionnement, le coût obtenu et enfin le diagramme de Gantt.

3.2 Conception architecturale

Ce point porte sur l'étude de la mise en œuvre d'une bibliothèque universitaire. La structure est constituée de 3 niveaux avec une hauteur sous-plafond de 4 m. Les plans de l'ouvrage ont été réalisés à partir du logiciel DAO ArchiCAD 24 et sont présentés ci-dessous sur les figures (Figure 3-1) ; (Figure 3-2); (Figure 3-3). Les plans aménagés, les coupes et les façades ainsi que les vues en 3D de l'ouvrage seront présentés en annexe.

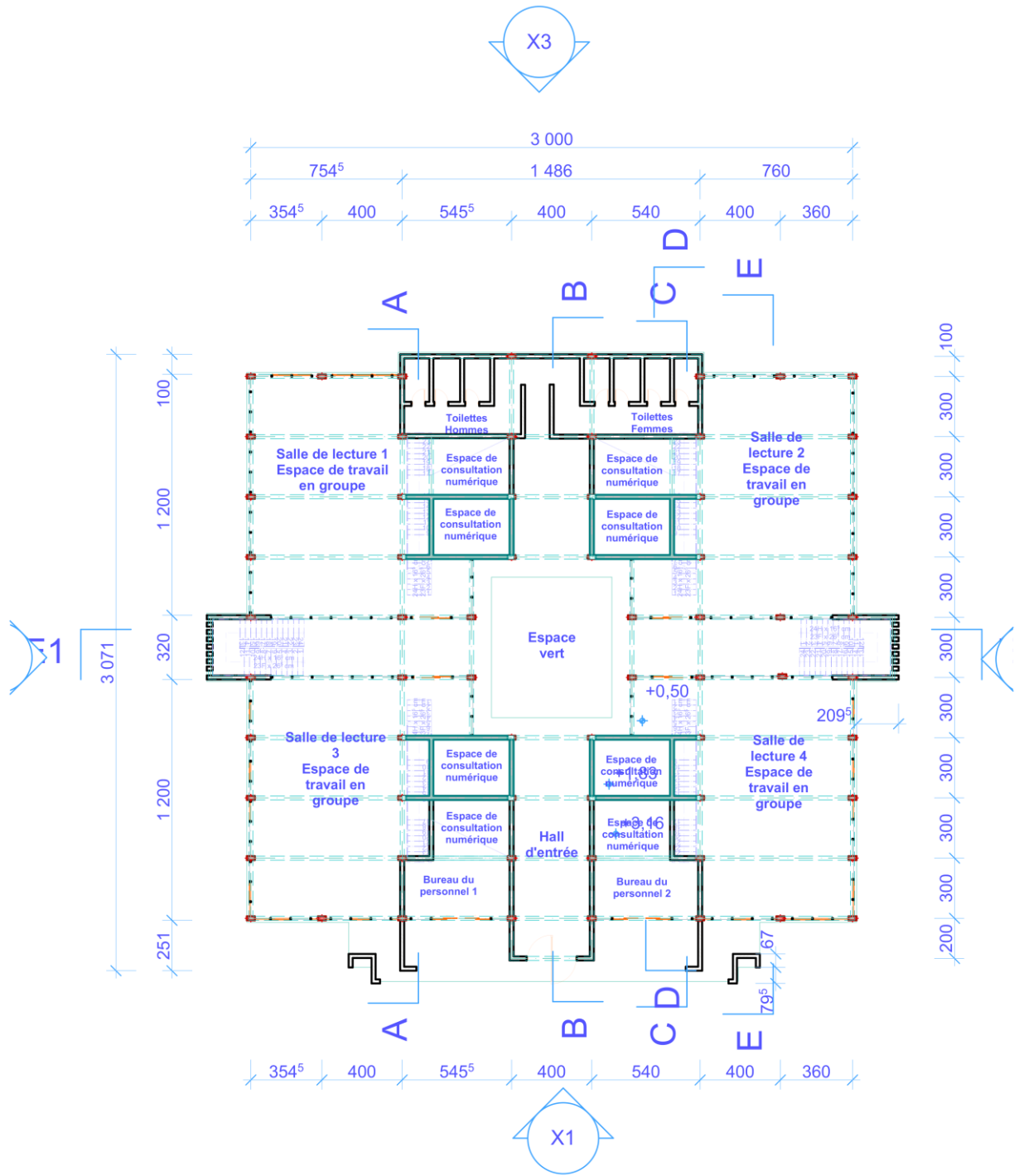


Figure 3-1: Vue en plan RDC du bâtiment

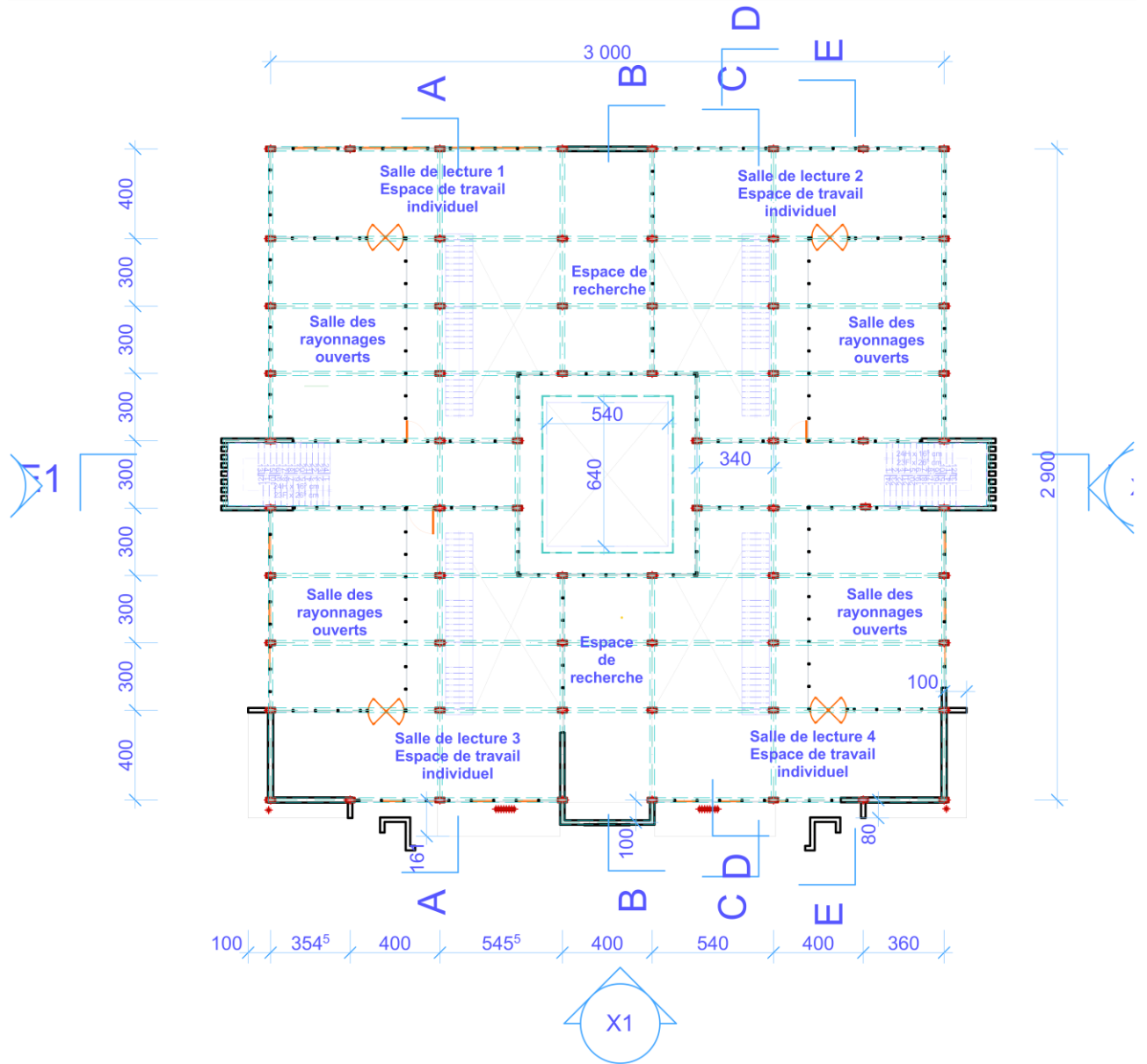


Figure 3-2 : Vue en plan R+1 du bâtiment

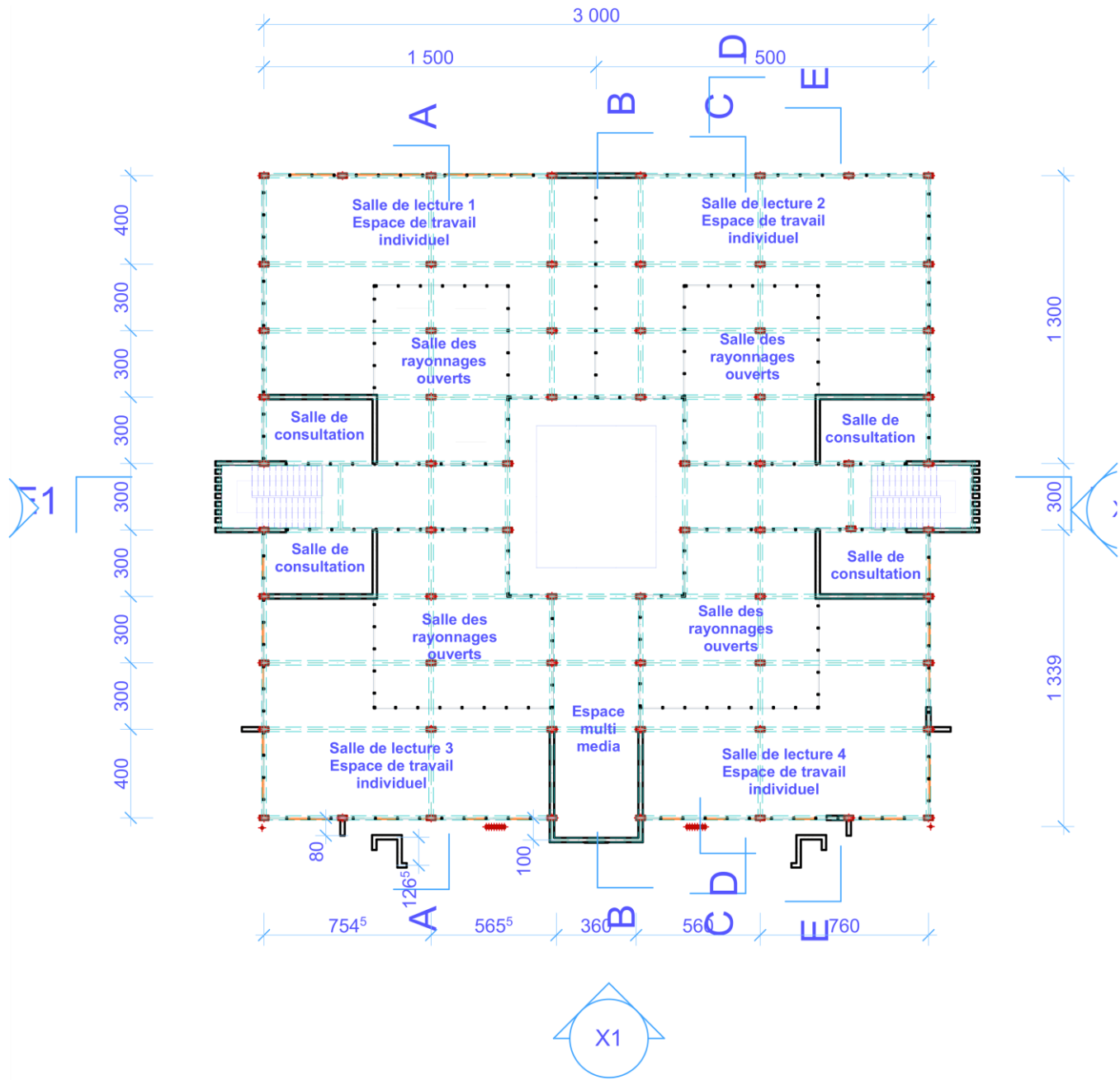


Figure 3-3 : Vue en plan R+2 du bâtiment

3.3 Dimensionnement

3.3.1 Pré dimensionnement

3.3.1.1 Le plancher

La plus grande portée : $l_y = 730$ cm

La plus petite portée : $l_x = 280$ cm

Le coefficient de portance est donné par la relation (2-3) :

$$\alpha = \frac{2.8}{7.3} = 0.38$$

On en déduit que la dalle est unidirectionnelle car $\alpha \leq 0.4$

L'épaisseur de la dalle est donnée par la relation (2-6) :

$$h_0 \geq \frac{2.8}{25} \Rightarrow h_0 \geq 0.11 \text{ m}$$

On considère une hauteur de 15 cm.

3.3.1.2 La poutre

Le pré dimensionnement des sections de poutres est fait selon BAEL91 modifié 99 ; ainsi les dimensions de la section doivent satisfaire aux conditions reprises par les relations (2-7) et (2-8) :

$$\frac{7.6}{15} \leq h \leq \frac{7.6}{10} \Rightarrow 0.51 \leq h \leq 0.76$$

On considère une hauteur de 60 cm.

$$\frac{2 \times 0.6}{5} \leq b \leq \frac{0.6}{2} \Rightarrow 0.24 \leq b \leq 0.3$$

On considère une base de 30 cm.

3.3.1.3 Le poteau

Le poteau le plus chargé supporte une surface des charges dues à un panneau de dalle dont la surface d'influence est de 22.75 m^2 soit $l_x = 3.5 \text{ m}$ et $l_y = 6.5 \text{ m}$. La longueur des poutres est $l_p = 10 \text{ m}$.

$$P_u : \text{ la charge de la dalle} \quad P_u = 1.35g + 1.5q$$

Au niveau du RDC

$$g_{RDC} = g_{dalle} + g_{poutres}$$

$$- \quad g_{dalle} = G_{dalle} \times S_1 = 4.39 \times 18.7 = 82.093 \text{ kN}$$

$$- \quad g_{poutres} = \gamma_b \times l_p \times S_p \quad \text{avec } \gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$$

$$g_{poutres} = 25 \times 10 \times (0.45 \times 0.30) = 33.75 \text{ kN}$$

$$g_{RDC} = 82.093 + 33.75 = 115.843 \text{ kN}$$

$$\text{Et } q = Q \times S \text{ avec } Q = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{RDC} = 5 \times 18.7 = 93.5 \text{ kN}$$

Au niveau R+1

$$g_{dalle} = G_{dalle} \times S_2 = 4.39 \times 22.75 = 99.8725 \text{ kN}$$

$$g_{R+1} = g_{dalle} + g_{poutres} = 133.6225 \text{ kN}$$

$$q_{R+1} = 5 \times 22.75 = 113.75 \text{ kN}$$

Au niveau R+2

$$g_{R+2} = g_{dalle} + g_{poutres} + g_{étanchéité}$$

$$g_{R+2} = 133.6225 + 0.5 \times 22.75 = 144.997 \text{ kN}$$

$$q_{R+2} = 1 \times 22.75 = 22.75 \text{ kN}$$

$$\text{Alors, } P_u = 1.35 (115.843 + 133.6225 + 144.997) + 1.5(93.5 + 113.75 + 22.75)$$

$$P_u = 877.524 \text{ kN}$$

Pour calculer la charge ultime, on utilise la formule :

$$N_u = P_u \times k$$

k est le coefficient de remplissage qui permet de prendre en compte le poids des poteaux.

$k = 1.1$ pour les poteaux à remplissage plein.

$$N_u = 877.524 \times 1.1 = 965.2764 \text{ kN}$$

La répartition des charges selon les différents niveaux est reprise dans le [Tableau 3-1](#)

Tableau 3-1 : Répartition des charges selon les niveaux

Etage	Charge permanente G (KN)				Charge d'exploitation Q (KN)		Nu = 1.35G _{cumulé} +1.5Q _{cumulé}
	Dalle	Poutre	G _{niveau}	G _{cumulé}	Q _{niveau}	Q _{cumulé}	
R+2	111.2475	33.75	144.97	144.97	22.75	22.75	229.8
R+1	99.8725	33.75	133.6225	278.5925	113.75	136.5	580.8
RDC	82.093	33.75	115.843	394.4355	93.5	230	877.5

On se fixe un élancement mécanique pour rester dans le domaine de la compression centrée ;
 $\lambda = 35$ et donc par la relation (2-15), le coefficient de correction est 1.2

La section réduite du poteau est déterminée par la relation (2-14)

$$B_r = \frac{1.2 \times 965.2764}{\frac{1.417}{0.9} + \frac{0.85 \times 40}{100 \times 1.15}} = 619.396 \text{ cm}^2$$

Pour notre section carrée, le côté est déterminé par la relation (2-18)

$$a \geq \sqrt{616.309} + 2$$

$$a \geq 26.887 \text{ cm}$$

D'où le poteau aura comme côté : $a = b = 30 \text{ cm}$

Vérifions le poteau au flambement :

Le moment d'inertie de la section est donné par la relation (2-22)

$$I = \frac{30^4}{12} = 67500 \text{ cm}^4$$

Le rayon de giration est donné par la relation (2-21)

$$i = \sqrt{\frac{67500}{900}} = 8.660 \text{ cm}$$

L'élancement est donné par la relation (2-20)

$$\lambda = \frac{0,7 * 400}{8.660} = 32.3$$

Comme $\lambda \leq 50$, alors il n'y a pas de risque de flambement.

3.3.1.4 La fondation

L'effort ultime au poteau le plus chargé a été évalué à $N_u = 960.465 \text{ kN}$. On trouve la surface de notre semelle par la relation (2-23)

$$S = \frac{965.2764}{2} = 4826.382 \text{ mm}^2$$

Par la relation (2-24), on obtient une semelle carrée de côté égal à :

$$A = \sqrt{S} = \sqrt{4826.382} = 69.472 \text{ cm}$$

On adopte une semelle de côté égal à 80 cm

La relation (2-25) permet de trouver la hauteur de notre semelle.

$$\frac{80-30}{4} \leq H - 10 \text{ cm} < 80 - 30$$

$$12.5 \leq H - 10 \text{ cm} < 50 \text{ cm}$$

On adopte une hauteur de 25 cm

Les éléments du pré dimensionnement sont repris dans le [Tableau 3-2](#)

[Tableau 3-2: Résultats du pré dimensionnement.](#)

Désignation	Section	
	Base (cm)	Hauteur (cm)
Poteau	30	30
Poutre	30	60
Dalle	-	15
Semelle	80	25

Les éléments structuraux ont été pré dimensionnés à la main selon les prescriptions de la norme BAEL 91 R 99.

3.3.2 Résultats du calcul dans Robot Structural Analysis

3.3.2.1 Le plancher

Le plus grand panneau de dalle a été choisi pour l'étude dans Robot structural.

a) Evaluation du volume du béton

Pour le plus grand panneau de dalle dont le volume du béton est de $3,38 m^3$.

b) Calcul des armatures

Le [Tableau 3-3](#) donne les sections d'aciers théoriques ainsi que les espacements entre barres.

[Tableau 3-3 : Sections de ferrailage de la dalle](#)

Désignation		Section (cm^2/m)	Espacement(cm)
Armatures principales	Inférieures	2,07	25
	Supérieures	1,00	25
Armatures de distribution	Inférieures	1,53	25
	Supérieures	1,03	25

La dalle a été ferrailée dans un seul sens en plan car elle est unidirectionnelle.

c) Plan de ferrailage

Les figures (Figure 3-4 : Ferrailage inférieur de la dalle) et (Figure 3-4 : Ferrailage inférieur de la dalle) présentent le plan de ferrailage de la dalle.

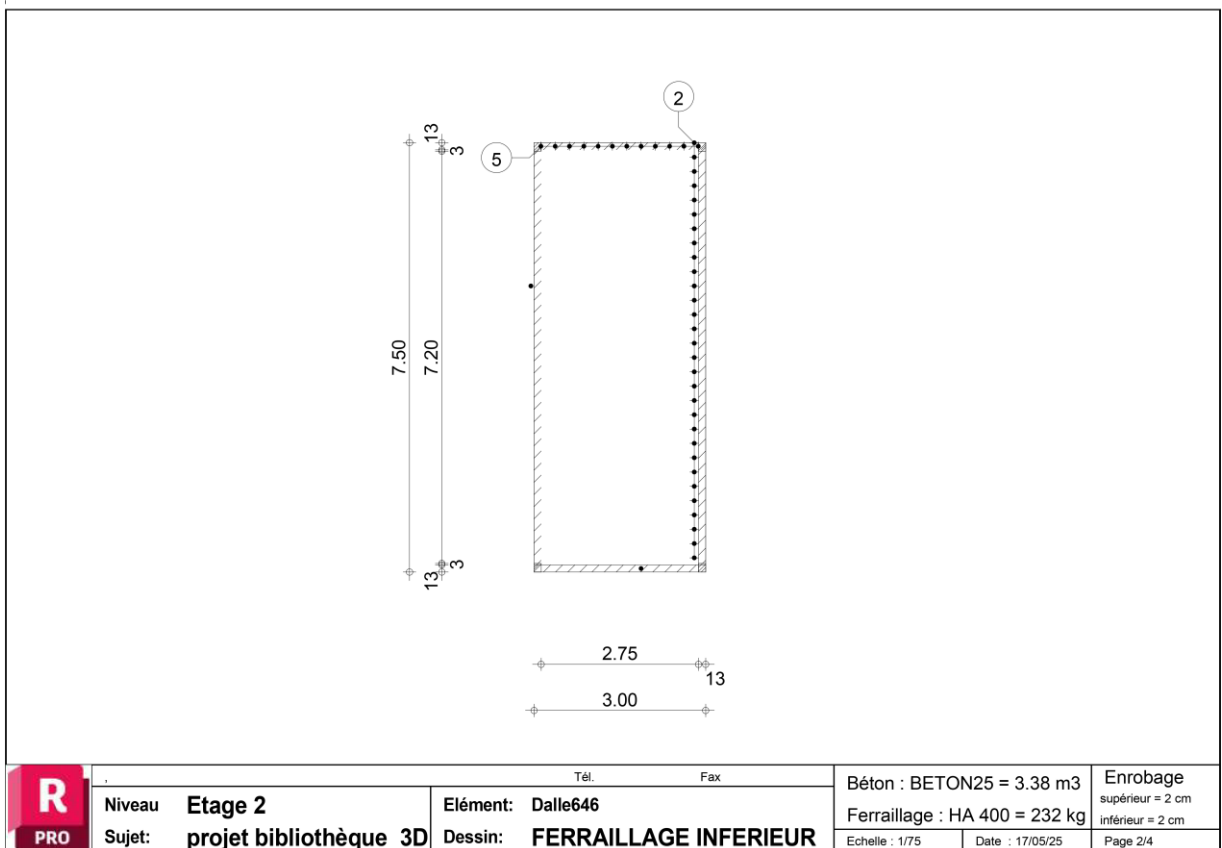


Figure 3-4 : Ferrailage inférieur de la dalle

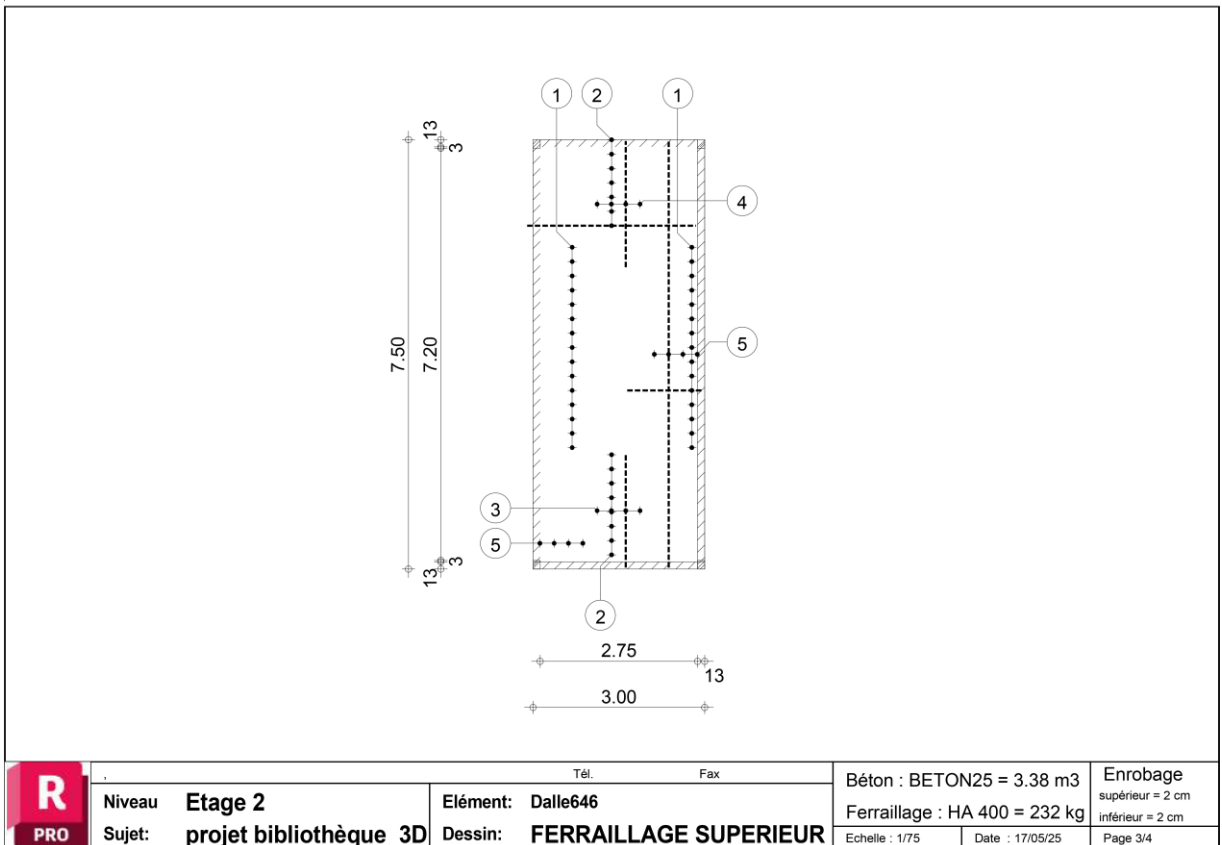


Figure 3-5 : Ferrailage supérieur de la dalle.

d) L'épure d'arrêt de barres

La figure (Figure 3-6) présente l'épure d'arrêt de la dalle.

Pos.	Armature	Code	Forme
①	30HA 10	l=1.55	00 <input type="text" value="1.33"/>
②	45HA 10	l=3.40	00 <input type="text" value="2.96"/>
③	4HA 10	l=2.21	00 <input type="text" value="1.99"/>
④	4HA 10	l=2.43	00 <input type="text" value="2.21"/>
⑤	20HA 10	l=7.90	00 <input type="text" value="7.46"/>

R PRO	Tél. Fax		Béton : BETON25 = 3.38 m3	Enrobage supérieur = 2 cm
	Niveau Etage 2	Elément: Dalle646	Ferrailage : HA 400 = 232 kg	inférieur = 2 cm
Sujet: projet bibliothèque 3D		Dessin: NOMENCLATURE	Date : 17/05/25	Page 4/4

Figure 3-6 : Epure d'arrêt de barres

3.3.2.2 La poutre

Après les analyses statiques de la structure avec le logiciel RSA, nous avons trouvé que la poutre 761 a le plus grand moment en travée $M_t = 83,56 \text{ kNm}$. Lors du dimensionnement de cette poutre, la section trouvée lors du pré dimensionnement a vérifié les conditions de résistance. La [Figure 3-7](#) présente la poutre la plus chargée de l'ouvrage.

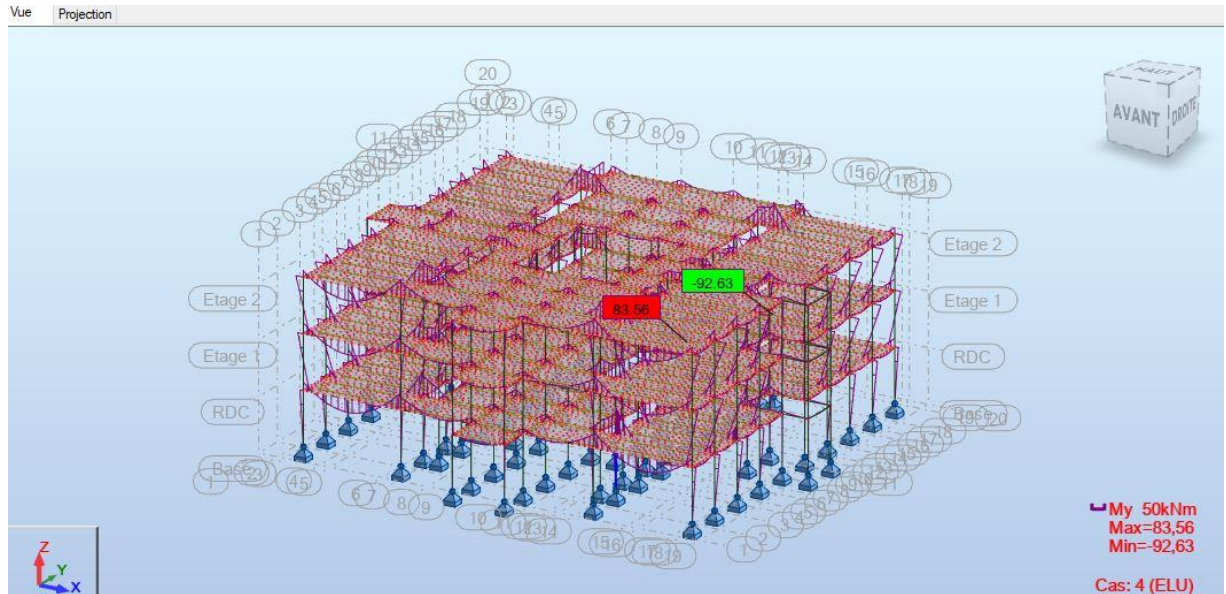


Figure 3-7 : La poutre la plus chargée de l'ouvrage.

a) Evaluation des sollicitations

Le tableau (3-3) présente les sollicitations en ELU de la poutre la plus chargée.

Tableau 3-4 : Sollicitations de la poutre la plus chargée

Désignation	Mtmax (KNm)	Mtmin (KNm)	Mg (KNm)	Md (KNm)	Vg (KN)	Vd (KN)
P1	83,56	-0,00	-33,48	-32,46	59,90	-62,79

La figure (3-8) représente le diagramme des sollicitations. La poutre est sollicitée en flexion simple donc nous aurons uniquement un moment fléchissant (M_{ru}) et un effort tranchant (V_{ru}).

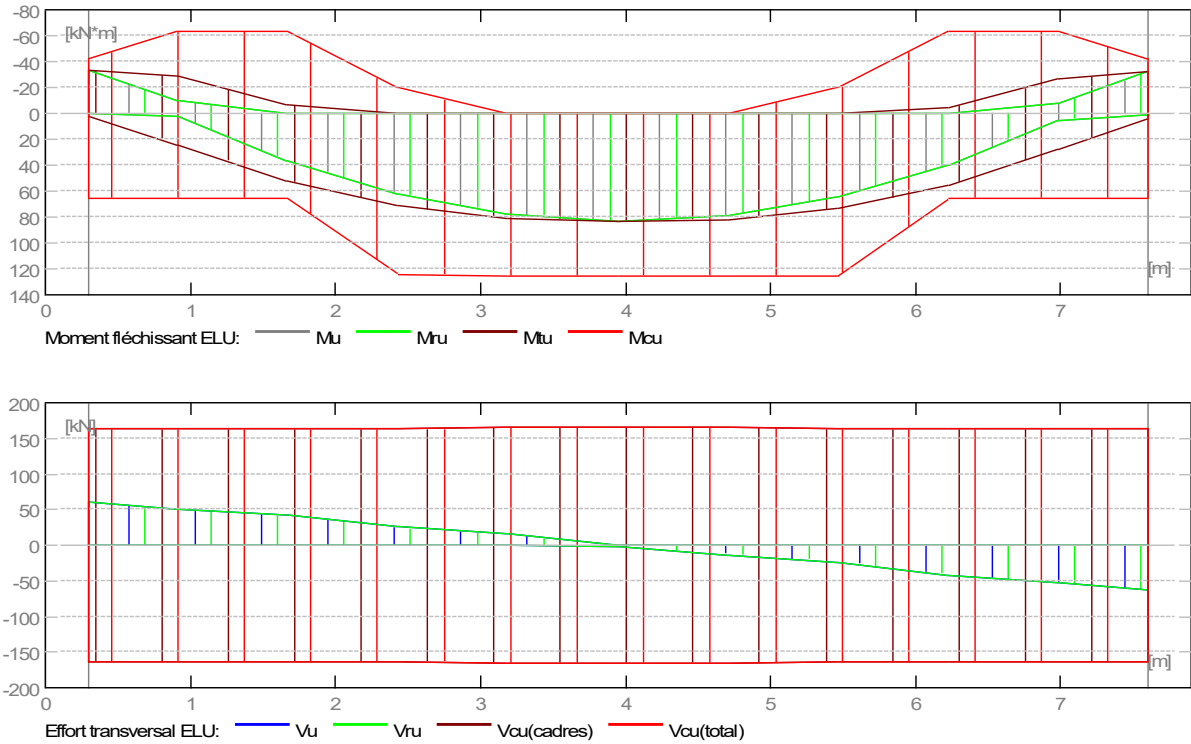


Figure 3-8 : Diagrammes de sollicitations de la poutre.

b) Calcul des aciers théoriques

Les sections d'aciers théoriques calculées à partir des sollicitations du tableau (3-3) sont reprises dans le [Tableau 3-5](#).

[Tableau 3-5](#) : Sections d'aciers théoriques.

Désignation	Travée (cm^2)		Appuis gauche (cm^2)		Appuis droit (cm^2)	
	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup
P1	4,43	0,00	0,09	1,74	0,22	1,69

La Figure 3-9 représente les sections théoriques d'aciers en fonction du moment et de l'effort tranchant.

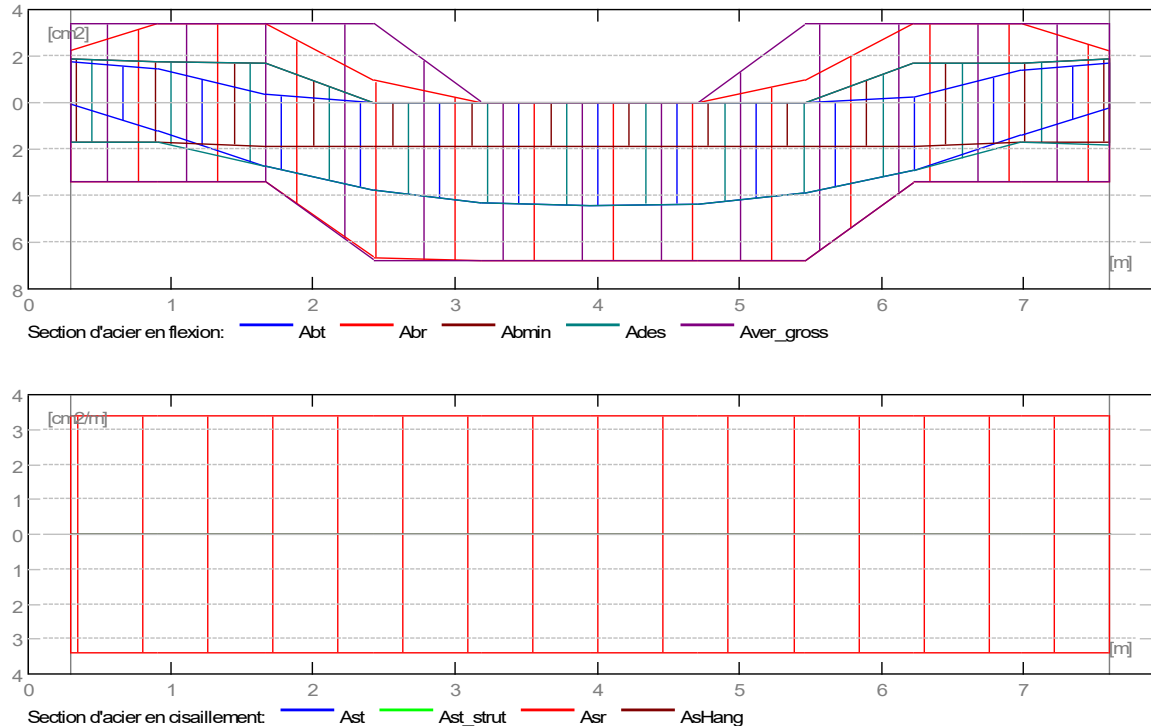


Figure 3-9 : Sections d'acier théorique dans la poutre

c) Vérification de la flèche

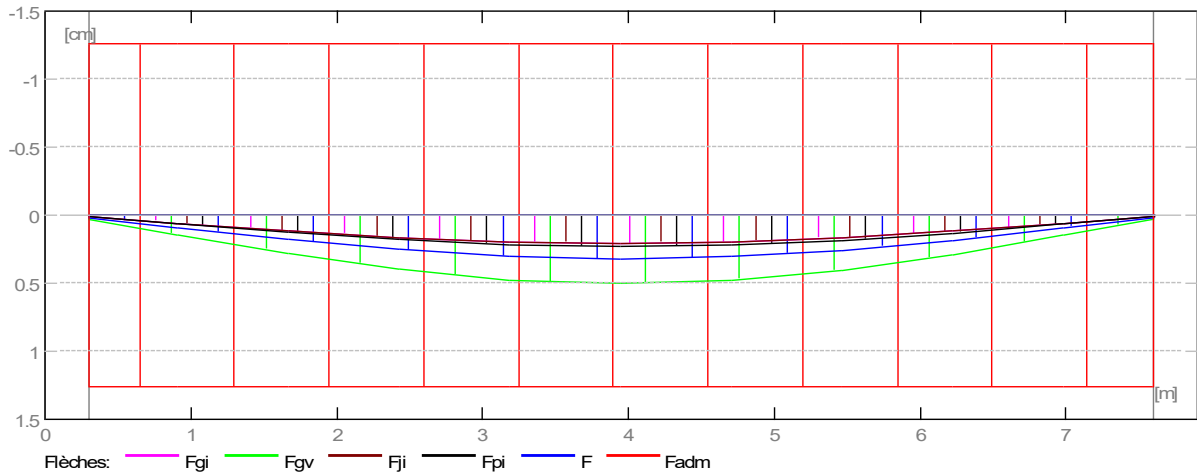
Le Tableau 3-6 : Valeurs de la flèche de la poutre reprend les valeurs de la flèche dans la poutre suivant certains chargements.

Travée	Fgi (cm)	Fgv (cm)	Fji (cm)	Fpi (cm)	ΔFt (cm)	Fadm(cm)
P1	0,2	0,5	0,2	0,2	0,3	1,3

Tableau 3-6 : Valeurs de la flèche de la poutre

Nous remarquons que la flèche totale due à la combinaison des charges est inférieure à la flèche admissible. Nous n'aurons donc pas de déformations excessives.

La [Figure 3-10](#) présente le diagramme des différentes flèches de la poutre.



[Figure 3-10](#) : Diagramme des flèches de la poutre.

- **Fgi** : La flèche due aux charges permanentes totales.
- **Fgv** : La flèche de longue durée due aux charges permanentes.
- **Fji** : La flèche due aux charges permanentes à la pose des cloisons.
- **Fpi** : La flèche due aux charges permanentes et d'exploitation.
- **ΔFt** : La part de la flèche totale comparable à la flèche admissible.
- **Fadm** : La flèche admissible.

d) Plan de ferrailage

Le ferrailage de la poutre, dont la travée va de 0,30 à 7,60m, est repris dans le [Tableau 3-7](#) : [Section d'armatures de ferrailage..](#)

[Tableau 3-7](#) : Section d'armatures de ferrailage.

Désignation	Aciers inférieurs	Aciers chapeaux	Aciers de montage	Armatures transversales	Espacements (cm)
P1	3 HA12	3 HA12	3 HA12	30 HA6	25
	3 HA12	3 HA12		30 HA6	25

La Figure 3-11 : Plan de ferrailage de la poutre présente le plan d'exécution de la poutre la plus sollicitée de l'ouvrage.

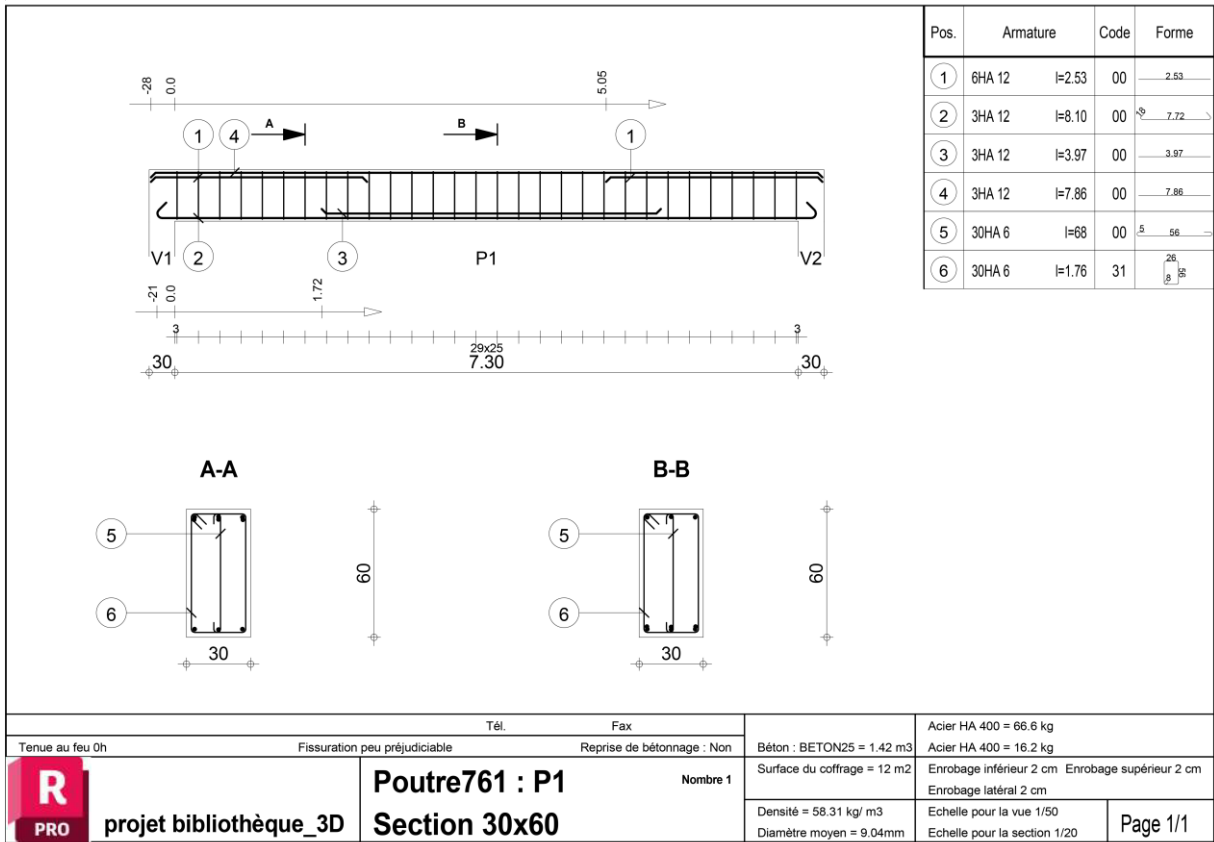


Figure 3-11 : Plan de ferrailage de la poutre

3.3.2.3 Le poteau

Après les analyses statiques de la structure avec le logiciel RSA, nous avons trouvé que le poteau 30 est le plus chargé de la structure. La charge sur ce poteau est : $N = 423,89$ KN et $N = 311,92$ KN en ELS. Lors du dimensionnement de ce poteau, la section trouvée lors du pré dimensionnement a vérifié les conditions de résistance. La Figure 3-12 : Le poteau le plus chargé de l'ouvrage.

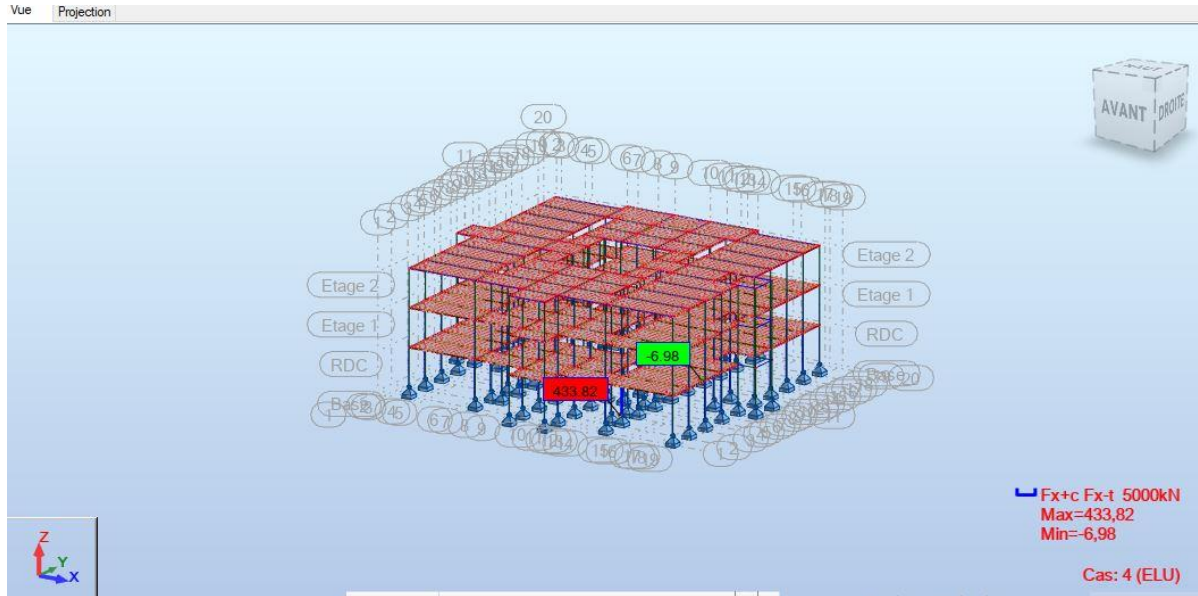


Figure 3-12 : Le poteau le plus chargé de l'ouvrage

a) Vérification de la résistance au flambement

Le [Tableau 3-8 : Analyse de l'élançement](#), présente les résultats de l'analyse de l'élançement.

[Tableau 3-8 : Analyse de l'élançement.](#)

Direction	K	L_u (m)	λ
Y = Z	0,70	4,00	32,33

Il n'y a pas de risque de flambement pour le poteau car l'élançement est inférieur à 50.

b) Evaluation du volume du béton

Le volume du béton pour ce poteau est de $0,29 \text{ m}^3$ pour une surface de coffrage de $3,84 \text{ m}^2$.

c) Calcul des armatures longitudinales

Le [Tableau 3-9](#) présente les armatures longitudinales obtenues.

[Tableau 3-9 : Armatures longitudinales du poteau](#)

Désignation	Section réelle (cm^2)	Barres	Longueur (m)
Armatures longitudinales	6,79	6HA12	3,98

d) Calcul des armatures transversales

Le [Tableau 3-10](#) présente les armatures transversales obtenues.

Tableau 3-10 : Les armatures transversales du poteau

Désignation	Barres	Espacement (cm)	Longueur (m)
Armatures transversales	21HA6	18	0,96
	21HA6	18	0,38

e) Plan de ferrailage

Le plan de ferrailage du poteau est présenté sur la [Figure 3-13 : Plan d'exécution du poteau le plus chargé.](#)

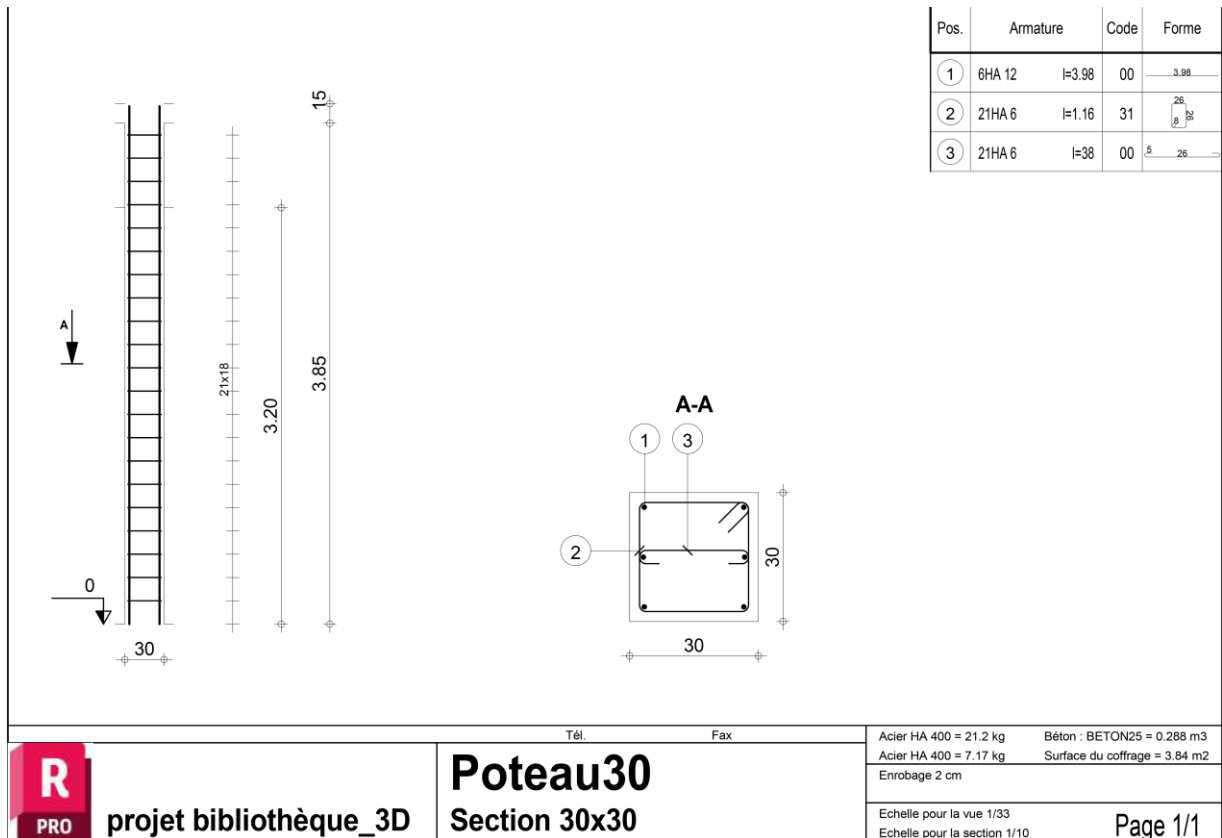


Figure 3-13 : Plan d'exécution du poteau le plus chargé.

3.3.2.4 La semelle

a) Evaluation du volume du béton

Après les analyses statiques de la structure avec le logiciel RSA, nous avons trouvé que la semelle 59 sous le poteau 30 était la plus chargée de la structure. Le volume du béton pour cette semelle est de $0,18 \text{ m}^3$ pour une surface de coffrage de $1,04 \text{ m}^2$.

b) Calcul des armatures

Le [Tableau 3-11 : Armatures de la semelle](#) présente les armatures obtenues pour la semelle.

Tableau 3-11 : Armatures de la semelle

Désignation	Section (cm^2/m)	Barres	Espacement (cm)	Longueur (m)
Aciers inférieurs (A_y)	5,13	6HA 10	12	1,04
Aciers inférieurs (A_x)	5,13	6HA 10	12	1,04

Pour le ferrailage de notre semelle, nous avons trouvé deux sections d'armatures égales dans les deux directions (X et Y) compte tenu des sections carrées de notre semelle et notre poteau en respectant la condition d'homothétie. Les valeurs que nous avons adoptées comme choix d'armement sont présentées dans le tableau (3-10). Avec 6HA12 pour les socles et 12HA10 pour la semelle, la figure (3-14) illustre le plan de ferrailage du poteau et de la semelle. Les cadres sont de 6 mm de diamètre, espacés de 12 cm.

c) Plan de ferrailage

La Figure 3-14 présente le plan d'exécution de la semelle pour le poteau le plus chargé

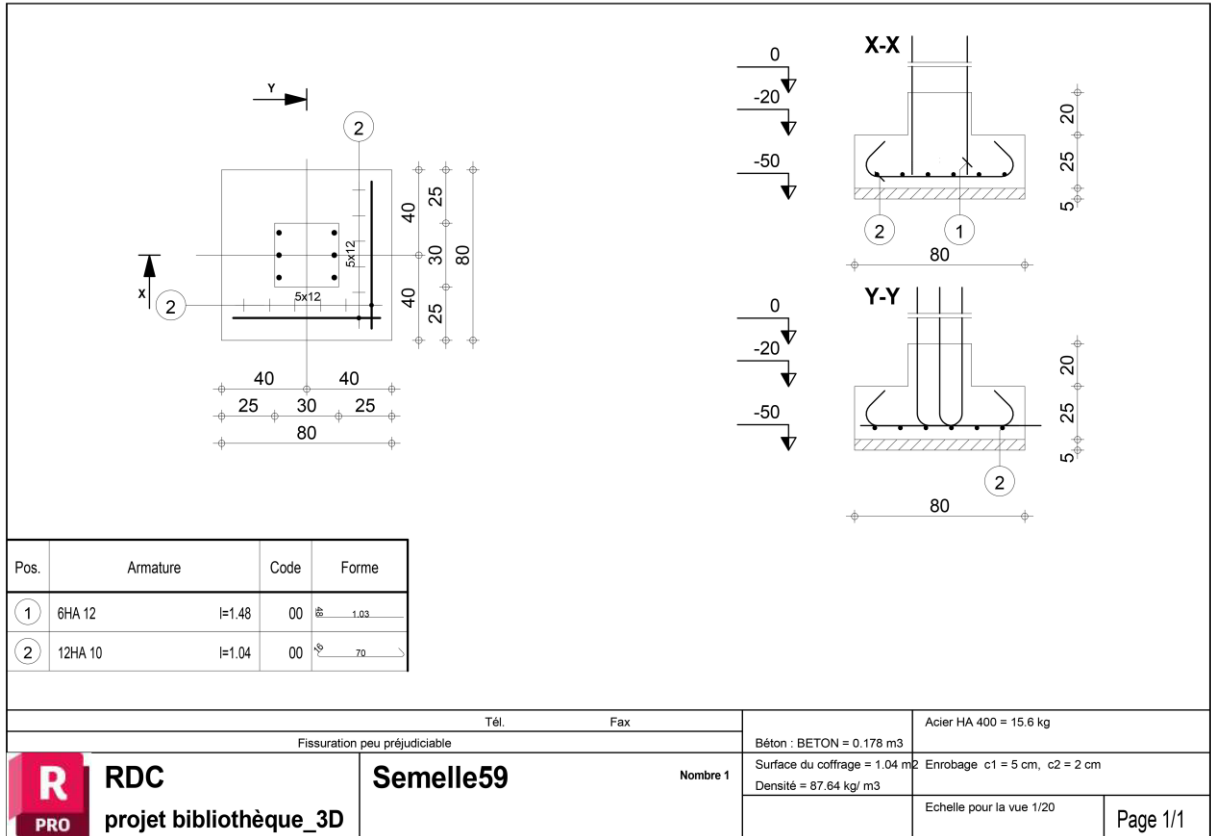


Figure 3-14 : Plan d'exécution de la semelle.

3.4 Le métré de la structure

Dans le cadre de notre projet sur la construction d'un bâtiment R+2 servants de bibliothèque universitaire, le métré quantitatif des éléments a été fait à l'aide d'un tableur Excel, qui nous a permis d'organiser les données par poste de travail et d'obtenir des résultats précis pour chaque élément de la structure. Le présent tableau est un devis estimatif de la bibliothèque.

Tableau 3-12 : Devis estimatif du projet

DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF DE LA CONSTRUCTION D BIBLIOTHEQUES MODERNES POUR LE COMPTE DE L'UNIVERSITE L PAYS DE GRAND LACS ULPGL GOMA.				
DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF OSSATURE				
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANT.	PU
0	Installation et repli Chantier	Fft	1	3 000,00 \$
Sous total				
A	TRAVAUX PRELIMINAIRES			
I	FOSSSES SEPTIQUES			
1	Creusage et construction des fosses septiques	Fft	1,00	8 500,00 \$
2	Construction des regards et installations des attentes	Fft	8,00	200,00 \$
3	Concassages des pierres aux assises des semelles	Pcs	113,00	50,00 \$
Sous total Fondation				
B	TRAVAUX OSSATURES DU BATIMENT			
I	FONDATION			
1	Semelles isolées sous poteaux B.A 400	m³	11,88	
1.1	Ciment 32,5N	Sac	95	9,50 \$
1.2	Hydrofuge	Kgs	95	5,00 \$
1.3	Sable lavé	m3	4,8	22,00 \$
1.4	Gravier 8/15	m3	9,5	35,00 \$
1.5	Eau	m3	2,4	1,00 \$
1.6	Planche de coffrage	pces	59	7,00 \$
1.7	Chevron d'étaieiment	pces	15	2,50 \$
1.8	Clous ordinaires	Kgs	83	1,50 \$

1.9	Barre de 12 Standards	tonne	1,19	1 100,00 \$
1.10	Fils à ligaturer	Kgs	23,76	1,50 \$
Sous total semelle				
2	Maçonnerie de fondation en moellons de 0,4mx0,4m	m³	23,49	
2.1	Moellon	m3	28,19	11,00 \$
2.2	Ciment	Sac	14,24	9,50 \$
2.3	Sables	m3	7,75	22,00 \$
2.4	Eau	m3	4,70	5,00 \$
Sous total Maçonnerie				
3	Longrine de liaison poteaux B.A 400	m³	5,87	
3.1	Ciment 32,5N	Sac	47	9,50 \$
3.2	Hydrofuge	Kgs	47	1,00 \$
3.3	Sable lavé	m3	2,3	22,00 \$
3.4	Gravier 8/15	m3	4,7	35,00 \$
3.5	Eau	m3	1,2	5,00 \$
3.6	Multiplex de coffrage	pces	12	18,00 \$
3.7	Chevron d'étaie	pces	3	2,50 \$
3.8	Clous ordinaires	Kgs	41	1,50 \$
3.9	Barre de 12 Standards	tonne	0,23	1 100,00 \$
3.10	Barre de 6 Standards	tonne	0,18	1 100,00 \$
3.11	Fils à ligaturer	Kgs	8	1,50 \$
3.12	Disque à couper	pces	0	5,00 \$
Sous total Longrine				
4	Pavement Béton	m³	43,68	
4.1	Ciment 32,5N	sac	218	9,50 \$
4.2	Hydrofuge	kgs	218	1,00 \$
4.3	Sable lavé	m3	17,5	22,00 \$
4.4	Gravier 8/15	m3	34,9	35,00 \$

4.5	Eau	m3	8,7	5,00 \$
Sous total Pavement				
Total Fondation				
II	ELEVATION OSSATURE RDC			
1	Poteaux B.A 400	m³	19,14	
1.1	Ciment 32,5N	sac	153	9,50 \$
1.2	Hydrofuge	kgs	153	1,00 \$
1.3	Sable lavé	m3	7,7	22,00 \$
1.4	Gravier 8/15	m3	15,3	35,00 \$
1.5	Eau	m3	3,8	5,00 \$
1.6	Multiplex de coffrage	pces	38	18,00 \$
1.7	Chevron d'étalement 5/5	pces	96	2,50 \$
1.8	Chevron de pieds droit 7/7	pces	96	5,00 \$
1.9	Clous ordinaires	kgs	134	1,50 \$
1.10	Barre de 12 Standards	tonne	1,9	1 100,00 \$
1.11	Barre de 6 Standards	tonne	0,57	1 100,00 \$
1.12	Fils à ligaturer	kgs	30	1,50 \$
1.13	Disque à couper	pces	2	5,00 \$
Sous total Poteaux				
2	Poutre B.A 400	m³	64,80	
2.1	Ciment 32,5N	sac	518	9,50 \$
2.2	Hydrofuge	kgs	518	1,00 \$
2.3	Sable lavé	m3	25,9	22,00 \$
2.4	Gravier 8/15	m3	51,8	35,00 \$
2.5	Eau	m3	13,0	5,00 \$
2.6	Multiplex de coffrage	pces	162	18,00 \$
2.7	Chevron d'étalement 5/5	pces	194	2,50 \$
2.8	Chevron de pieds droit 7/7	pces	972	5,00 \$
2.9	Clous ordinaires	kgs	454	1,50 \$

2.10	Barre de 12 Standards	tonne	6,48	1 100,00 \$
2.11	Barre de 6 Standards	tonne	1,94	1 100,00 \$
2.12	Fils à ligaturer	kgs	168	1,50 \$
2.13	Disque à couper	pces	8	5,00 \$
Sous total Poutre				
3	Dalle Béton B.A 400	m³	96,90	
3.1	Ciment 32,5N	sac	775	9,50 \$
3.2	Hydrofuge	kgs	775	1,00 \$
3.3	Sable lavé	m3	38,8	22,00 \$
3.4	Gravier 8/15	m3	77,5	35,00 \$
3.5	Eau	m3	19,4	5,00 \$
3.6	Multiplex de coffrage	pces	291	18,00 \$
3.7	Chevron d'étalement 5/5	pces	969	2,50 \$
3.8	Chevron de pieds droit 7/7	pces	2423	5,00 \$
3.9	Clous ordinaires	kgs	485	1,50 \$
3.10	Barre de 10 Standards	tonne	7,27	1 100,00 \$
3.11	Fils à ligaturer	kgs	145	1,50 \$
3.12	Disque à couper	pces	22	5,00 \$
Sous total Pavement				
4	Escaliers B.A 400	m³	2,90	
4.1	Ciment 32,5N	sac	23	9,50 \$
4.2	Hydrofuge	kgs	23	1,00 \$
4.3	Sable lavé	m3	1,2	22,00 \$
4.4	Gravier 8/15	m3	2,3	35,00 \$
4.5	Eau	m3	0,6	5,00 \$
4.6	Multiplex de coffrage	pces	5	18,00 \$
4.7	Chevron d'étalement	pces	13	2,50 \$
4.8	Clous ordinaires	kgs	20	1,50 \$
4.9	Barre de 12 Standards	tonne	0,19	1 100,00 \$

4.10	Fils à ligaturer	kgs	4	1,50 \$
4.11	Disque à couper	pces	1	5,00 \$
Sous total Voile				
5	Electricité	m³	600,00	
5.1	Tuyaux d'attentes plomberie et accessoires	fft	1	3 600,00 \$
5.2	PVC d'attentes plomberie et accessoires	fft	1	800,00 \$
Sous total plomberie et Electricité				
Total Elévation				
Total Général Elévation RDC				
III	ELEVATION OSSATURE R+1			
1	Poteaux B.A 400	m³	19,72	
1.1	Ciment 32,5N	sac	158	9,50 \$
1.2	Hydrofuge	kgs	158	1,00 \$
1.3	Sable lavé	m3	7,9	22,00 \$
1.4	Gravier 8/15	m3	15,8	35,00 \$
1.5	Eau	m3	3,9	5,00 \$
1.6	Multiplex de coffrage	pces	49	18,00 \$
1.7	Chevron d'étalement 5/5	pces	197	2,50 \$
1.8	Chevron de pieds droit 7/7	pces	690	5,00 \$
1.9	Clous ordinaires	kgs	138	1,50 \$
1.10	Barre de 12 Standards	tonne	1,97	1 100,00 \$
1.11	Barre de 6 Standards	tonne	0,59	1 100,00 \$
1.12	Fils à ligaturer	kgs	51	1,50 \$
1.13	Disque à couper	pces	3	5,00 \$
Sous total Poteaux				
2	Poutre B.A 400	m³	64,80	
2.1	Ciment 32,5N	sac	518	9,50 \$
2.2	Hydrofuge	kgs	518	1,00 \$
2.3	Sable lavé	m3	25,9	22,00 \$

2.4	Gravier 8/15	m3	51,8	35,00 \$
2.5	Eau	m3	13,0	5,00 \$
2.6	Multiplex de coffrage	pces	194	18,00 \$
2.7	Chevron d'étalement 5/5	pces	778	2,50 \$
2.8	Chevron de pieds droit 7/7	pces	1620	5,00 \$
2.9	Clous ordinaires	kgs	454	1,50 \$
2.10	Barre de 12 Standards	tonne	6,48	1 100,00 \$
2.11	Barre de 6 Standards	tonne	1,94	1 100,00 \$
2.12	Fils à ligaturer	kgs	168	1,50 \$
2.13	Disque à couper	pces	8	5,00 \$
Sous total Poutre				
3	Dalle Béton B.A 400	m³	124,80	
3.1	Ciment 32,5N	sac	998	9,50 \$
3.2	Hydrofuge	kgs	998	1,00 \$
3.3	Sable lavé	m3	49,9	22,00 \$
3.4	Gravier 8/15	m3	99,8	35,00 \$
3.5	Eau	m3	25,0	5,00 \$
3.6	Multiplex de coffrage	pces	187	18,00 \$
3.7	Chevron d'étalement 5/5	pces	749	2,50 \$
3.8	Chevron de pieds droit 7/7	pces	2496	5,00 \$
3.9	Clous ordinaires	kgs	874	1,50 \$
3.10	Barre de 10 Standards	tonne	9,36	1 100,00 \$
3.11	Fils à ligaturer	kgs	187	1,50 \$
3.12	Disque à couper	pces	28	5,00 \$
Sous total Pavement				
4	Escaliers B.A 400	m³	2,90	
4.1	Ciment 32,5N	sac	23	9,50 \$
4.2	Hydrofuge	kgs	23	1,00 \$
4.3	Sable lavé	m3	1,2	22,00 \$

4.4	Gravier 8/15	m3	2,3	35,00 \$
4.5	Eau	m3	0,6	5,00 \$
4.6	Multiplex de coffrage	pces	6	18,00 \$
4.7	Chevron d'étalement	pces	13	2,50 \$
4.8	Clous ordinaires	kgs	20	1,50 \$
4.9	Barre de 12 Standards	tonne	0,20	1 100,00 \$
4.10	Fils à ligaturer	kgs	4	1,50 \$
4.11	Disque à couper	pces	1	5,00 \$
Sous total Voile				
5	Plomberie et Electricité	m³	600,00	
5.1	Tuyaux d'attentes plomberie et accessoires	fft	1	3 600,00 \$
5.2	PVC d'attentes plomberie et accessoires	fft	1	600,00 \$
Sous total plomberie et Electricité				
Total général Elévation R+1				
III	ELEVATION OSSATURE R+2			
1	Poteaux B.A 400	m³	19,72	
1.1	Ciment 32,5N	sac	158	9,50 \$
1.2	Hydrofuge	kgs	158	1,00 \$
1.3	Sable lavé	m3	7,9	22,00 \$
1.4	Gravier 8/15	m3	15,8	35,00 \$
1.5	Eau	m3	3,9	5,00 \$
1.6	Multiplex de coffrage	pces	99	18,00 \$
1.7	Chevron d'étalement 5/5	pces	237	2,50 \$
1.8	Chevron de pieds droit 7/7	pces	1380	5,00 \$
1.9	Clous ordinaires	kgs	138	1,50 \$
1.10	Barre de 12 Standards	tonne	1,97	1 100,00 \$
1.11	Barre de 6 Standards	tonne	0,59	1 100,00 \$
1.12	Fils à ligaturer	kgs	51	1,50 \$
1.13	Disque à couper	pces	3	5,00 \$

Sous total Poteaux				
2	Poutre B.A 400	m³	64,80	
2.1	Ciment 32,5N	sac	518	9,50 \$
2.2	Hydrofuge	kgs	518	1,00 \$
2.3	Sable lavé	m3	25,9	22,00 \$
2.4	Gravier 8/15	m3	51,8	35,00 \$
2.5	Eau	m3	13,0	5,00 \$
2.6	Multiplex de coffrage	pces	292	18,00 \$
2.7	Chevron d'étalement 5/5	pces	778	2,50 \$
2.8	Chevron de pieds droit 7/7	pces	2268	5,00 \$
2.9	Clous ordinaires	kgs	454	1,50 \$
2.10	Barre de 12 Standards	tonne	6,48	1 100,00 \$
2.11	Barre de 6 Standards	tonne	1,30	1 100,00 \$
2.12	Fils à ligaturer	kgs	156	1,50 \$
2.13	Disque à couper	pces	8	5,00 \$
Sous total Poutre				
3	Dalle Béton B.A 400	m³	124,80	
3.1	Ciment 32,5N	sac	998	9,50 \$
3.2	Hydrofuge	kgs	998	1,00 \$
3.3	Sable lavé	m3	49,9	22,00 \$
3.4	Gravier 8/15	m3	99,8	35,00 \$
3.5	Eau	m3	25,0	5,00 \$
3.6	Multiplex de coffrage	pces	187	18,00 \$
3.7	Chevron d'étalement 5/5	pces	624	2,50 \$
3.8	Chevron de pieds droit 7/7	pces	3120	5,00 \$
3.9	Clous ordinaires	kgs	874	1,50 \$
3.10	Barre de 10 Standards	tonne	9,36	1 100,00 \$
3.11	Fils à ligaturer	kgs	187	1,50 \$
3.12	Disque à couper	pces	28	5,00 \$

Sous total Pavement				
4	Plomberie et Electricité	m³	600,00	
4.1	Tuyaux d'attentes plomberie et accessoires	fft	1	3 600,00 \$
4.2	PVC d'attentes plomberie et accessoires	fft	1	1 000,00 \$
	Sous total plomberie et Electricité			
	Total général Elévation R+2			
	TOTAL OSSATURE			
	Suivi de l'exécution			3 %
	Equipes Techniques			20 %
	TOTAL GENERAL OSSATURE			

DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF MACONNERIE DE REMPLISSAGE

N°	DESIGNATION	UNITE	QUANT.	PU
I	ELEVATION RDC			
1	Maçonnerie en bloc de 15x20x40cm	m³	88,40	
1.1	Bloc ciment de 15x20x40	pcs	7 514	0,75 \$
1.2	Ciment	sac	76,4	9,50 \$
1.3	Sable	m3	19,1	22,00 \$
1.4	Eau	m3	7,76	5,00 \$
1.5	Echafaudage	fft	1,00	2 500,00 \$
	Sous total Elévation RDC			
II	ELEVATION R+1			
2	Maçonnerie en bloc de 15x20x40cm	m³	24,48	
2.2	Bloc ciment de 15x20x40	pcs	2 081	0,75 \$
2.3	Ciment	sac	21,2	9,50 \$
2.4	Sable	m3	5,3	22,00 \$
2.5	Eau	m3	2,15	5,00 \$
2.6	Echafaudage	fft	1,00	2 000,00 \$
	Sous total Elévation R+1			

III	ELEVATION R+2			
2	Maçonnerie en bloc de 15x20x40cm	m³	46,90	
2.2	Bloc ciment de 15x20x40	pcs	3 987	0,75 \$
2.3	Ciment	sac	40,5	9,50 \$
2.4	Sable	m3	10,1	22,00 \$
2.5	Eau	m3	4,12	5,00 \$
2.6	Echafaudage	fft	1,00	2 000,00 \$
	Sous total Elévation R+2			
IV	ELEVATION MUR TOITURE			
3	Maçonnerie en bloc de 15x20x40cm	m³	36,00	
3.2	Bloc ciment de 15x20x40	pcs	3 060	0,75 \$
3.3	Ciment	sac	31,1	9,50 \$
3.4	Sable	m3	7,8	22,00 \$
3.5	Eau	m3	3,16	5,00 \$
3.6	Echafaudage	fft	1,00	2 000,00 \$
	Sous total Elévation R+3			
	TOTAL MACONNERIE DE REMPLISSAGE			
	Suivi de l'exécution			3 %
	Equipes Techniques			20 %
	TOTAL GENERAL MACONNERIE DE REMPLISSAGE			
DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF DE SECOND-ŒUVRE				
N°	DESIGNATION	UNITE	QUANT.	PU
I	ENDUIT ET PEINTURE RDC			
1	Enduit sur mur	m2	884,00	
1.1	Ciment	sac	109	9,50 \$
1.2	Sable	m2	16,55	22,00 \$
1.3	Eau	m3	3,32	5,00 \$

1.4	Ficelle	pcs	18	2,50 \$
1.5	Clous	kgs	7,07	1,50 \$
1.6	Tamis	m2	17,68	3,00 \$
1.7	Chiffon en matelas	pcs	3	20,00 \$
1.8	Echafaudage	fft	1,00	110,50 \$
	Sous total Enduit			
2	Peinture	m2	884,00	
2.1	Mastique	litre	294,67	3,00 \$
2.2	Peinture à eau	litre	88,40	2,00 \$
2.3	Peinture Lavable intérieure	litre	94,50	5,00 \$
2.4	Peinture Taff extérieure	litre	128	5,00 \$
2.5	Accessoires de peintures	fft	1,00	88,40 \$
	Sous total peinture			
3	Huisserie en bois et métallique			
3.1	Baie vitrée	m2	612,00	30,00 \$
3.4	Portes toilette	pcs	7,00	80,00 \$
3.5	Portes 140x280	pcs	2,00	270,00 \$
3.6	Portes 130x280	pcs	4,00	250,00 \$
3.7	Portes roulantes	pcs	6,00	650,00 \$
	Sous total huisserie			
4	Revêtement sol et plafonds	m2		
4.1	Pavement carreau	m2	832,00	25,00 \$
4.2	Pavement à terrassons	m2	832,00	25,00 \$
4.3	Plafonds à lambris en bois	m2	832,00	15,00 \$
	Sous total revêtement			
6	Installation d'appareils sanitaires	fft	1,00	7 000,00 \$
	Sous total électricité et appareils sanitaires			
	Total Second-œuvre RDC			
II	ENDUIT ET PEINTURE R+1	m²	1206	

1	Enduit sur mur	m2	244,80	
1.1	Ciment	sac	30	9,50 \$
1.2	Sable	m2	4,58	22,00 \$
1.3	Eau	m3	0,92	5,00 \$
1.4	Ficelle	pcs	5	2,50 \$
1.5	Clous	kgs	1,96	1,50 \$
1.6	Tamis	m2	4,90	3,00 \$
1.7	Chiffon en matelas	pcs	1	20,00 \$
1.8	Echafaudage	fft	1,00	30,60 \$
	Sous total Enduit			
2	Peinture	m2	244,80	
2.1	Mastique	litre	81,60	3,00 \$
2.2	Peinture à eau	litre	24,48	2,00 \$
2.3	Peinture Lavable intérieure	litre	14,60	5,00 \$
2.4	Peinture Taff extérieure	litre	128	5,00 \$
2.5	Accessoires de peintures	fft	1,00	24,48 \$
	Sous total peinture			
3	Huisserie en bois et métallique			
3.1	Baie vitrée	m2	918,00	30,00 \$
3.5	Portes 140x280	pcs	8,00	270,00 \$
3.7	Garde-corps escalier et R+1	ml	247,00	25,00 \$
	Sous total huisserie			
4	Revêtement sol et plafonds	m2	832,00	
4.1	Pavement carreau	m2	645,00	25,00 \$
4.3	Plafonds à lambris en bois	m2	645,00	15,00 \$
	Sous total revêtement			
5	Installation électrique	fft	1,00	3 328,00 \$
6	Installation d'appareils sanitaires	fft	1,00	100,00 \$
	Sous total électricité et appareils sanitaires			

	Total Second-œuvre R+1			
III	ENDUIT ET PEINTURE R+2	m ²		
1	Enduit sur mur	m2	469,20	
1.1	Ciment	sac	58	9,50 \$
1.2	Sable	m2	8,78	22,00 \$
1.3	Eau	m3	1,76	5,00 \$
1.4	Ficelle	pcs	9	2,50 \$
1.5	Clous	kgs	3,75	1,50 \$
1.6	Tamis	m2	9,38	3,00 \$
1.7	Chiffon en matelas	pcs	1	20,00 \$
1.8	Echafaudage	fft	1,00	58,65 \$
	Sous total Enduit			
2	Peinture	m2	469,20	
2.1	Mastique	litre	156,40	3,00 \$
2.2	Peinture à eau	litre	46,92	2,00 \$
2.3	Peinture Lavable intérieure	litre	42,65	5,00 \$
2.4	Peinture Taff extérieure	litre	128	5,00 \$
2.5	Accessoires de peintures	fft	1,00	46,92 \$
	Sous total peinture			
3	Huissierie en bois et métallique			
3.1	Baie vitrée	m2	816,00	30,00 \$
3.5	Portes coulissantes 140x280	pcs	4,00	270,00 \$
3.7	Garde-corps	ml	23,60	25,00 \$
	Sous total huissierie			
4	Revêtement sol et plafonds	m2	1 141,00	
4.1	Pavement carreau	m2	832,00	25,00 \$
4.3	Plafonds à lambris en bois	m2	832,00	15,00 \$
	Sous total revêtement			
5	Installation électrique	fft	1,00	4 564,00 \$

6	Installation d'appareils sanitaires	fft	1,00	9 750,00 \$
	Sous total électricité et appareils sanitaires			
	Total Second-œuvre R+2			
III	ENDUIT ET PEINTURE MUR TOITURE	m ²		
1	Enduit sur mur	m2	360,00	
1.1	Ciment	sac	44	9,50 \$
1.2	Sable	m2	6,74	22,00 \$
1.3	Eau	m3	1,35	5,00 \$
1.4	Ficelle	pcs	7	2,50 \$
1.5	Clous	kgs	2,88	1,50 \$
1.6	Tamis	m2	7,20	3,00 \$
1.7	Chiffon en matelas	pcs	1	20,00 \$
1.8	Echafaudage	fft	1,00	45,00 \$
	Sous total Enduit			
2	Peinture	m2	360,00	
2.1	Mastique	litre	120,00	3,00 \$
2.2	Peinture à eau	litre	36,00	2,00 \$
2.3	Peinture Lavable intérieure	litre	29,00	5,00 \$
2.4	Peinture Taff extérieure	litre	128	15,00 \$
2.5	Accessoires de peintures	fft	1,00	36,00 \$
	Sous total peinture			
4	Revêtement sol et plafonds	m2	832,00	
4.1	Pavement carreau	m2	832,00	25,00 \$
	Sous total revêtement			
5	Installation électrique	fft	1,00	3 328,00 \$
	Sous total électricité et appareils sanitaires			
	Total Second-œuvre R+3			
	Sous total revêtement			

2	Assainissement couleur et aménagement extérieur	m2	1 141,00	
1	Tank plastique de stockage d'eau et accessoires d'alimentation et construction d'égout d'évacuation	fft	1,00	5 000,00 \$
2	Gazonnage et plantation des fleurs	FFT	1,00	3 000,00 \$
	Sous total revêtement			
	Sous total Assainissement et Aménagement			
	TOTAL SEOCND-ŒUVRE			
	Suivi de l'exécution			3 %
	Equipes Techniques			20 %
	TOTAL GENERAL SECOND-ŒUVRE			
	Etudes complète du projet			1 %
TOTAL GENERALE				

3.5 Planning des travaux

Le [Tableau 3-13](#) présente les étapes de la construction.

Tableau 3-13 : Les étapes de la construction

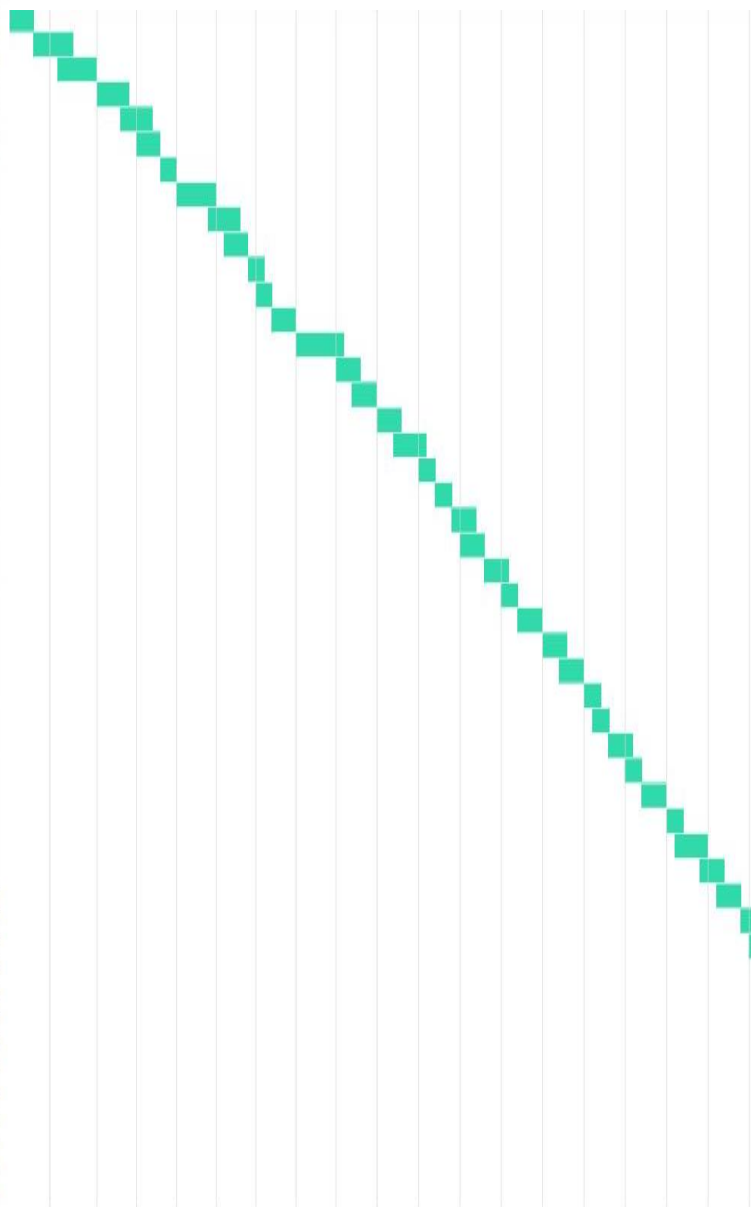
N°	Tâches	Début	Fin	Durée (jours)
1	Installation de chantier	01/09/2025	04/09/2025	3
2	Terrassement	04/09/2025	09/09/2025	5
3	Implantation	09/09/2025	13/09/2025	4
4	Fouille	13/09/2025	18/09/2025	5
5	Ferraillage des semelles et poteaux	18/09/2025	22/09/2025	4
6	Coffrage des semelles	22/09/2025	25/09/2025	3
7	Bétonnage des semelles	25/09/2025	27/09/2025	2
8	Construction des murs de remplissage	27/09/2025	03/10/2025	6
9	Ferraillage des longrines	03/10/2025	07/10/2025	4
10	Coffrage des longrines	07/10/2025	10/10/2025	3
11	Bétonnage des longrines	10/10/2025	12/10/2025	2
12	Remblayage	12/10/2025	15/10/2025	3
13	Plomberie sanitaires	15/10/2025	18/10/2025	3
14	Pavage et construction des escaliers	18/10/2025	25/10/2025	7
15	Coffrage des poteaux RDC	25/10/2025	29/10/2025	4
16	Bétonnage des poteaux RDC	29/10/2025	01/11/2025	3
17	Coffrage de la dalle étage 1	01/11/2025	05/11/2025	4
18	Ferraillage des poutres étage 1	05/11/2025	09/11/2025	4
19	Ferraillage du lit de dalle étage 1	09/11/2025	12/11/2025	3
20	Installation électrique dalle étage 1	12/11/2025	14/11/2025	2
21	Coffrage des arrêtes béton étage 1	14/11/2025	17/11/2025	3
22	Bétonnage de la dalle étage 1	17/11/2025	20/11/2025	3
23	Ferraillage des poteaux étage 1	20/11/2025	23/11/2025	3
24	Coffrage des poteaux étage 1	23/11/2025	26/11/2025	3
25	Bétonnage des poteaux étage 1	26/11/2025	29/11/2025	3
26	Coffrage de la dalle étage 2	29/11/2025	03/12/2025	4
27	Ferraillage des poutres étage 2	03/12/2025	06/12/2025	3
28	Ferraillage du lit de dalle étage 2	06/12/2025	09/12/2025	3
29	Installation électrique dalle étage 2	09/12/2025	11/12/2025	2
30	Coffrage des arrêtes béton étage 2	11/12/2025	14/12/2025	3
31	Bétonnage de la dalle étage 2	14/12/2025	17/12/2025	3
32	Coffrage des poteaux étage 2	17/12/2025	20/12/2025	3

33	Bétonnage des poteaux étage 2	20/12/2025	23/12/2025	3
34	Coffrage de la dalle toiture terrasse	23/12/2025	27/12/2025	4
35	Ferraillage des poutres toiture	27/12/2025	30/12/2025	3
36	Ferraillage du lit de dalle toiture	30/12/2025	02/01/2026	3
37	Installation électrique toiture	02/01/2026	04/01/2026	2
38	Coffrage des arrêtes béton toiture	04/01/2026	07/01/2026	3
39	Bétonnage de la dalle toiture	07/01/2026	10/01/2026	3
40	Élévation murs de remplissage RDC	10/01/2026	15/01/2026	5
41	Soudure et ajustage des portes et fenêtres	15/01/2026	19/01/2026	4
42	Installation électrique générale	19/01/2026	22/01/2026	3
43	Crépissage	22/01/2026	26/01/2026	4
44	Revêtement des murs en lambris bois	26/01/2026	29/01/2026	3
45	Carrelage	29/01/2026	02/02/2026	4
46	Peinture	02/02/2026	05/02/2026	3
47	Vitrage	05/02/2026	08/02/2026	3
48	Appareillage électricité et plomberie	08/02/2026	11/02/2026	3

Selon les ressources, certaines étapes pourraient légèrement être compressées (maçonnerie, finissage). Les longues étapes comme la maçonnerie doivent intégrer des marges si le chantier est en zone pluvieuse pour palier au blocage lié à la météo. La [Figure 3-15](#) présente le diagramme de Gantt pour la réalisation des travaux.

Le planning des travaux a été fait en considérant que l'exécution est peu mécanisée et les matériaux de construction sont disponibles.

TASK ID	TASK NAME	START DATE	WORK DAYS	END DATE
1	Installation de chantier	01-sept-25	3	03-sept-25
2	Terrassement	04-sept-25	5	10-sept-25
3	Implantation	09-sept-25	4	12-sept-25
4	Fouille	13-sept-25	5	18-sept-25
5	Ferraillage des semelles et poteaux	18-sept-25	4	23-sept-25
6	Coffrage des semelles	22-sept-25	3	24-sept-25
7	Bétonnage des semelles	25-sept-25	2	26-sept-25
8	Construction des murs de remplissage	27-sept-25	6	03-oct-25
9	Ferraillage des longrines	03-oct-25	4	08-oct-25
10	Coffrage des longrines	07-oct-25	3	09-oct-25
11	Bétonnage des longrines	10-oct-25	2	13-oct-25
12	Remblayage	12-oct-25	3	14-oct-25
13	Plomberie sanitaires	15-oct-25	3	17-oct-25
14	Pavage et construction des escaliers	18-oct-25	7	27-oct-25
15	Coffrage des poteaux RDC	25-oct-25	4	29-oct-25
16	Bétonnage des poteaux RDC	29-oct-25	3	31-oct-25
17	Coffrage de la dalle étage 1	01-nov-25	4	05-nov-25
18	Ferraillage des poutres étage 1	05-nov-25	4	10-nov-25
19	Ferraillage du lit de dalle étage 1	09-nov-25	3	11-nov-25
20	Installation électrique dalle étage 1	12-nov-25	2	13-nov-25
21	Coffrage des arrêtes béton étage 1	14-nov-25	3	18-nov-25
22	Bétonnage de la dalle étage 1	17-nov-25	3	19-nov-25
23	Ferraillage des poteaux étage 1	20-nov-25	3	24-nov-25
24	Coffrage des poteaux étage 1	23-nov-25	3	25-nov-25
25	Bétonnage des poteaux étage 1	26-nov-25	3	28-nov-25
26	Coffrage de la dalle étage 2	29-nov-25	4	03-déc-25
27	Ferraillage des poutres étage 2	03-déc-25	3	05-déc-25
28	Ferraillage du lit de dalle étage 2	06-déc-25	3	09-déc-25
29	Installation électrique dalle étage 2	09-déc-25	2	10-déc-25
30	Coffrage des arrêtes béton étage 2	11-déc-25	3	15-déc-25
31	Bétonnage de la dalle étage 2	14-déc-25	3	16-déc-25
32	Coffrage des poteaux étage 2	17-déc-25	3	19-déc-25
33	Bétonnage des poteaux étage 2	20-déc-25	3	23-déc-25
34	Coffrage de la dalle toiture terrasse	23-déc-25	4	26-déc-25
35	Ferraillage des poutres toiture	26-déc-25	3	30-déc-25
36	Ferraillage du lit de dalle toiture	30-déc-25	3	01-janv-26
37	Installation électrique toiture	02-janv-26	2	05-janv-26
38	Coffrage des arrêtes béton toiture	05-janv-26	3	07-janv-26
39	Bétonnage de la dalle toiture	07-janv-26	3	09-janv-26
40	Élévation murs de remplissage RDC	09-janv-26	5	15-janv-26
41	Soudure et ajustage des portes et fenêtres	15-janv-26	4	20-janv-26
42	Installation électrique générale	20-janv-26	3	22-janv-26
43	Crépissage	22-janv-26	4	27-janv-26
44	Revêtement des murs en lambris bois	27-janv-26	3	29-janv-26
45	Carrelage	29-janv-26	4	03-févr-26
46	Peinture	03-févr-26	3	05-févr-26
47	Vitrage	05-févr-26	3	09-févr-26
48	Appareillage électricité et plomberie	09-févr-26	3	11-févr-26



Conclusion générale

Le présent travail a traité de la conception et du dimensionnement d'un ouvrage R+2 à usage de bibliothèque universitaire à l'ULPGL Goma selon les règles architecturales et structurales.

La réalisation de ce travail nous a permis d'appliquer certaines connaissances acquises durant le cursus universitaire, mais aussi d'approfondir certaines notions. Ce travail a été bénéfique car il nous a permis de nous familiariser avec le matériau béton, qui est le matériau le plus répandu en génie civil mais aussi d'utiliser le logiciel de calcul Robot Structural Analysis. Cette approche répond à l'hypothèse selon laquelle une bonne conception spatiale améliore l'efficacité fonctionnelle et la productivité de l'établissement.

Sur le plan structurel, chaque élément a été soigneusement dimensionné pour assurer stabilité, sécurité et durabilité. Les semelles isolées présentent une section de 80×80 cm et une hauteur de 25 cm, avec des armatures réparties à raison de $5,13 \text{ cm}^2/\text{m}$ dans chaque direction. Les poteaux en béton armé ont une section de 30×30 cm, armés longitudinalement avec $6,79 \text{ cm}^2$ d'acier et des cadres de diamètre 6 mm espacés de 18 cm. La section des poutres est de 30×60 cm, avec une section d'acier de $4,43 \text{ cm}^2$ en travée. La dalle a une épaisseur de 15 cm, avec des armatures principales inférieures de $2,07 \text{ cm}^2/\text{m}$ espacées de 25 cm ; et des armatures de distribution inférieures de $1,53 \text{ cm}^2/\text{m}$ espacées de 25 cm.

En parallèle, une estimation détaillée du coût global a été réalisée, prenant en compte les matériaux et les quantités calculées, afin de permettre au maître d'ouvrage une planification budgétaire réaliste. De plus, un planning d'exécution a été établi à travers un diagramme de Gantt, intégrant les différentes étapes du chantier avec des durées adaptées aux contraintes techniques et logistiques du terrain. L'utilisation des lambris en bois dans ce projet a permis de concilier confort intérieur, esthétique et durabilité. Il serait pertinent d'encourager cette approche dans d'autres bâtiments universitaires à Goma afin de favoriser l'écoconstruction locale.

Au terme de cette étude, l'ensemble des hypothèses de départ a été confirmé.

A l'avenir, on pourra intégrer des solutions écologiques comme la récupération des eaux usées et l'utilisation de l'énergie solaire.

Bibliographie

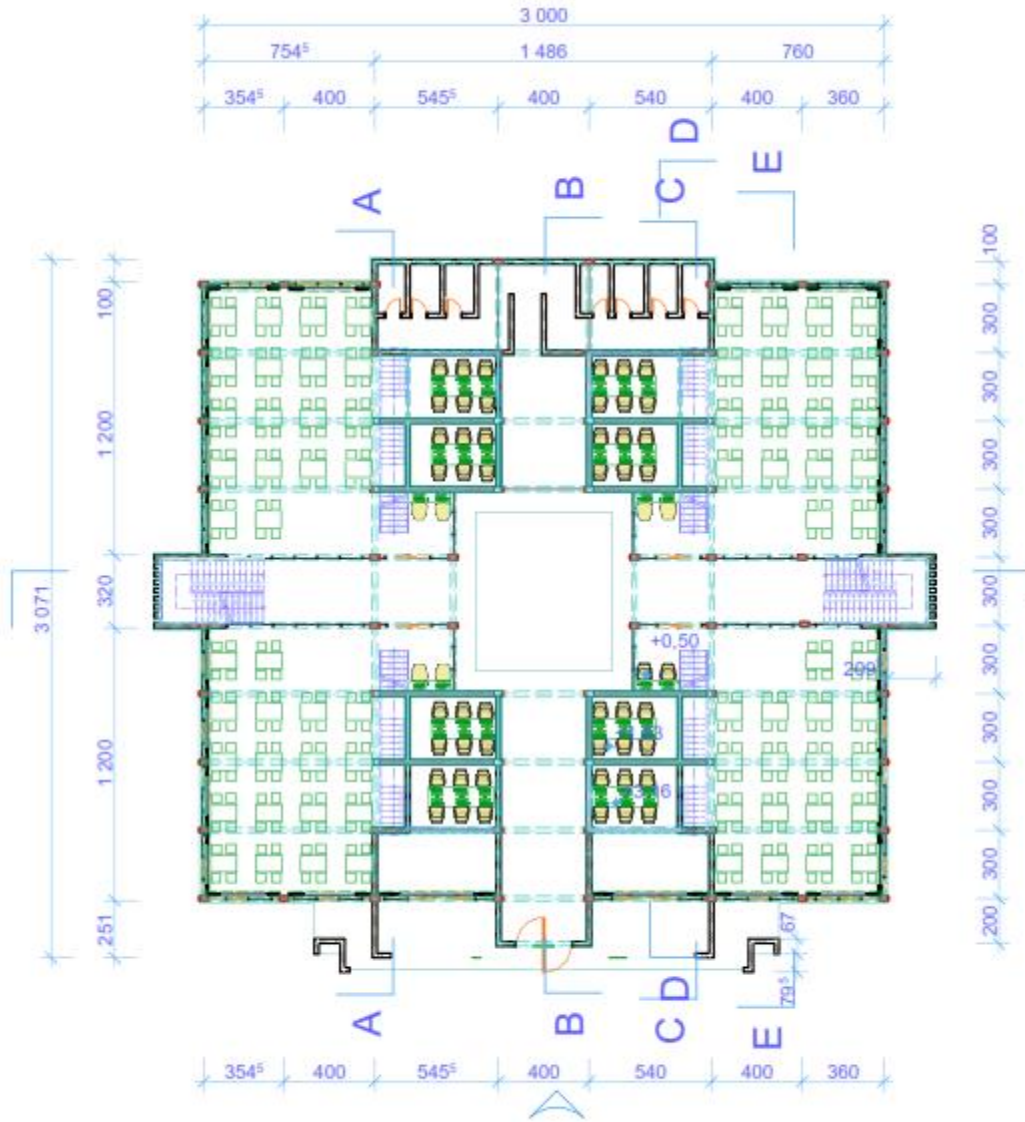
- [1] CultureCongo, *Projet Astria Learning en RD Congo : l'Université Pédagogique Nationale dotée d'une bibliothèque numérique*, 29 Mars 2023.
- [2] UNESCO, *Transformer les systèmes de connaissance pour l'avenir de l'Afrique*, 2023.
- [3] I. Ndaywel è Nziem, *Histoire générale du Congo. De Boeck.*, 1998.
- [4] R. & B. F. De Herdt, *Les missions et l'éducation au Congo belge.*, Institut Royal Colonial Belge, 1966.
- [5] P. Mukuka, *Evolution des bibliothèques universitaires au Zaïre*, UNAZA, 1984.
- [6] T. Luyeye, *Les bibliothèques numériques en RDC*, *Revue Africaine de Documentation*, 12(2), 45-59, 2016.
- [7] «<https://librarymap.ifla.org>,» [En ligne].
- [8] IFLA, *Guidelines for Library Building Projects. International Federation of Library Associations*, 2019.
- [9] L. L., WIKIPEDIA.
- [10] N. E., *Les éléments des projets de construction (13e édition)*. Dunod, 2015.
- [11] F. D. K. Ching, *Architecture: Form, Space, and Order*, Wiley, 2014.
- [12] E. & I. J. Allen, *Fundamentals of Building Construction: Materials and Methods.*, Wiley, 2019.
- [13] IUTenLine, *CAO. Revit*, www.GénieCivilPDF.com, www.GénieCivilPDF.com.
- [14] D. B. BACHIR, *Bâtiment (cours avec exercices corrigés)*, www.GénieCivilPDF.com.
- [15] H. R. J. LAMIRAULT, *Précis de calcul béton armé*, Paris: Dunod, 1989.
- [16] M. G. MUHIWA, *Cours de Physique et Technologie du béton*, Goma: Université Libre des Pays de Gands Lacs, 2023.
- [17] D. I. A. ALINABIWE, *Cours de Laboratoire des matériaux*, Goma: Université Libre des Pays de Grands Lacs, 2022.

- [18] H. Renaud, J. Lamirault, *BETON ARME*, Guide de calcul, Paris: FOUCHER, 1993.
- [19] M. P. e. D. Delpire, *Manuel de pré dimensionnement des éléments de structures des ossatures en acier, bois et béton armée*, 3 éd, Bruxelles: Université Libre de Bruxelles, Septembre 2013, p.1.
- [20] P. C. BISHWEKA, *Cours de construction en bois*, Goma: Université Libre des Pays de Grands Lacs, 2023.
- [21] P. Vannucci, *Structures de génie civil*, Paris: Université de Versailles, 2013-2014, pp.P22-23.
- [22] D. M. Rafik, *Cours d'ouvrages en béton*, Guelma: Université 8 mai 1945-Guelma, 2014.
- [23] B. L. V. T. Yves Benoit, *Eurocode 5*, Paris: EYROLLES, 2008.
- [24] P. Dr. Ing. Ally ALINABIWE, *Cours d'Initiation aux fondations*, Goma: Université Libre des Pays de Grands Lacs, 2023-2024.
- [25] J.-P. Mouglin, *BAEL 91 modifié 99*, Paris: EYROLLES, 2000.
- [26] P. T. Messaoud, *Cours de modélisation des structures*, M'sila: Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2021-2022.
- [27] I. P. K. Dr. Ing. AMBOKO M. Benjamin, *Cours de mesures et instrumentations*, Goma: Université Libre des Pays de Grands Lacs, 2022-2023.
- [28] D. A. C. G errard, *Gestion de projet-Diagramme de Gantt*, Nancy: Université de Lorraine, 2010.
- [29] D. I. A. ALINABIWE, *Cours d'initiation au béton armée*, Goma: Université Libre des Pays de Grands Lacs, 2023-2024.

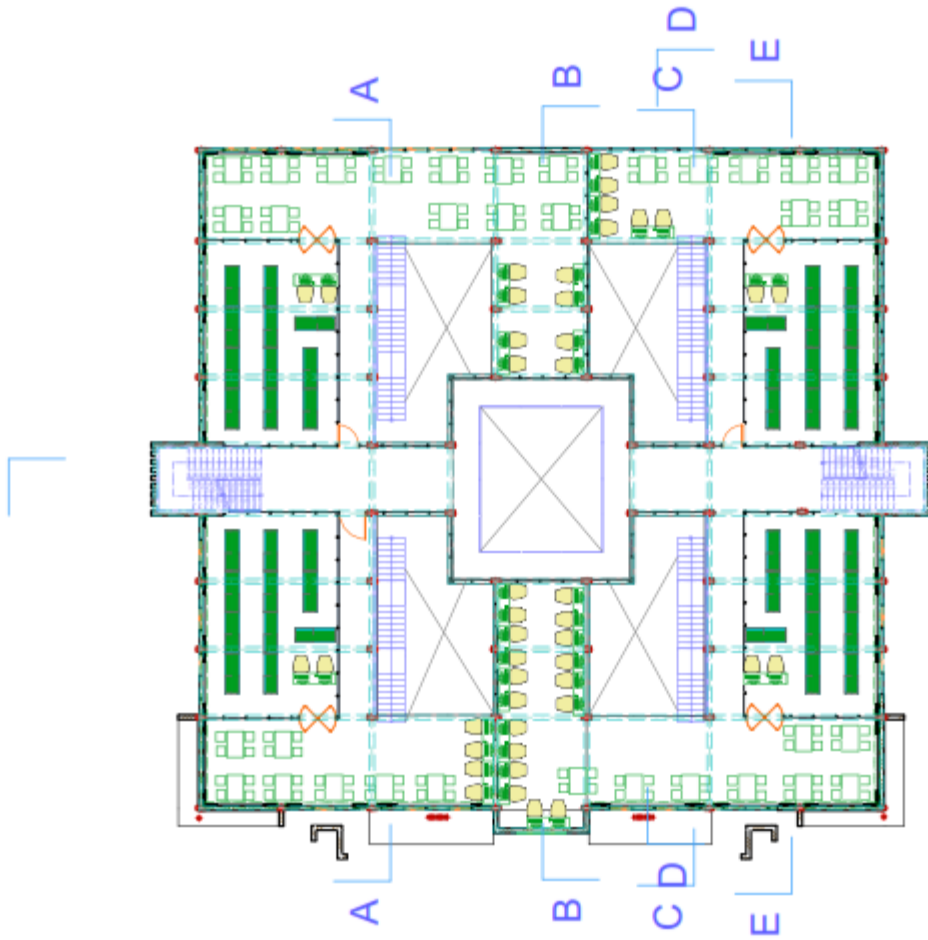
Annexes

Annexe 1 Plans aménagés

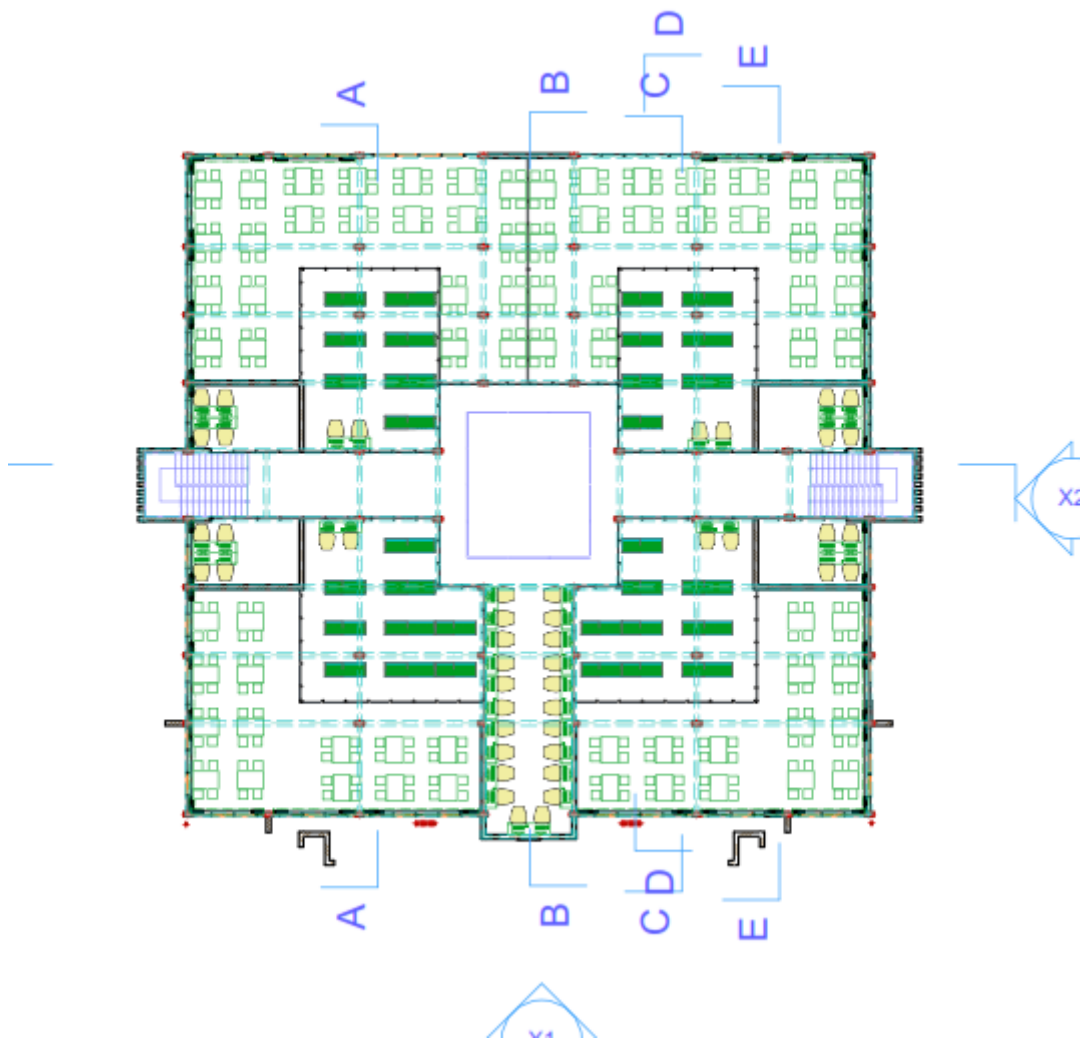
1. RDC



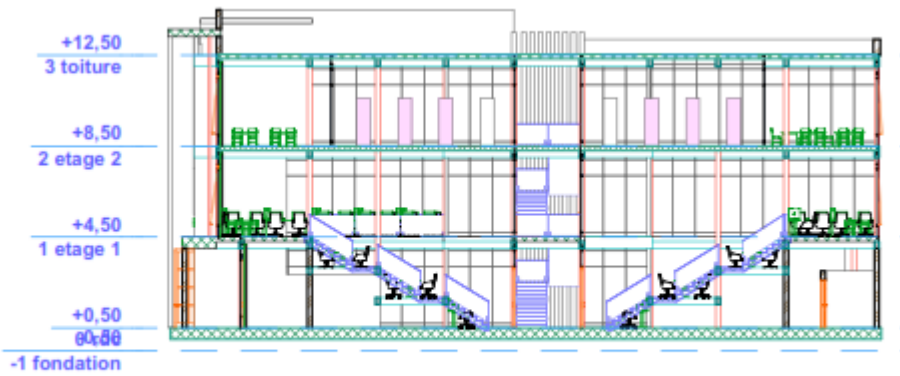
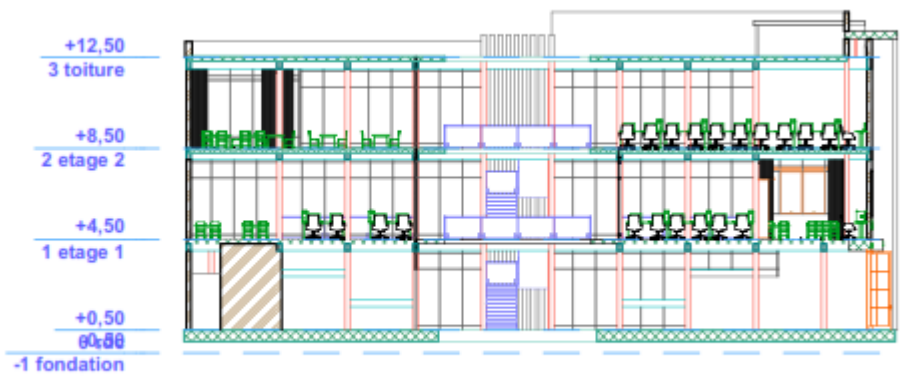
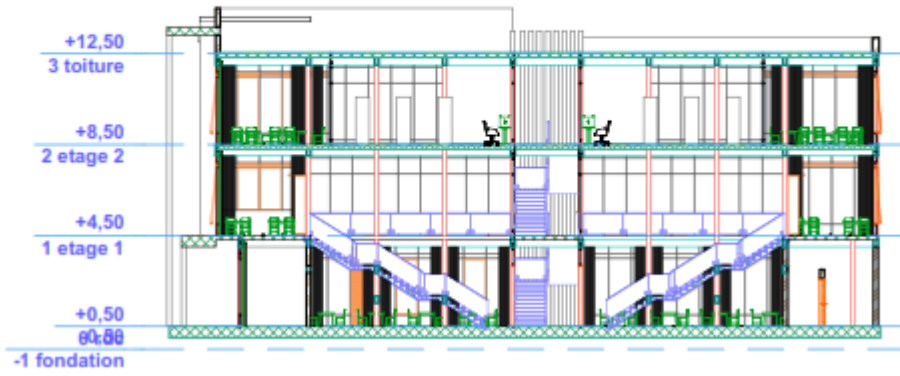
2. R+1

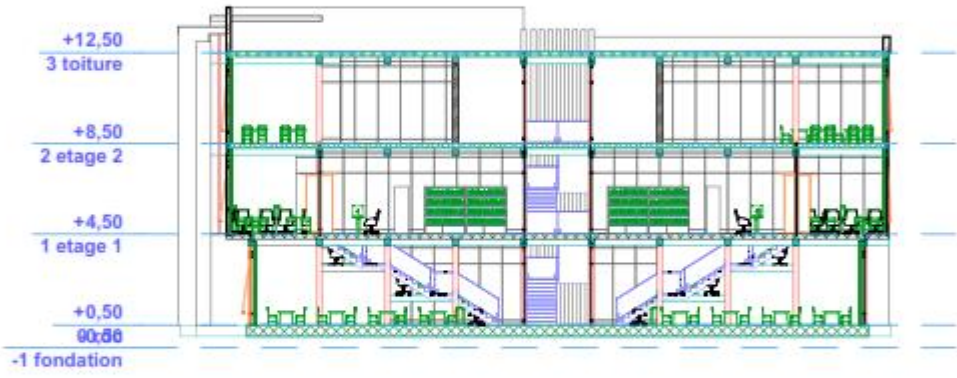


3. R+2

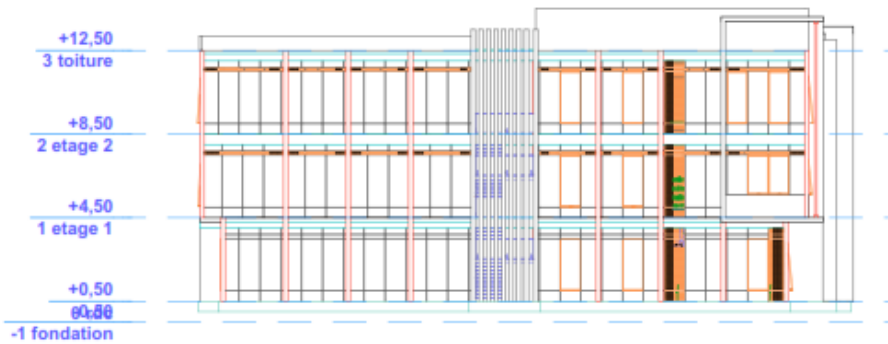
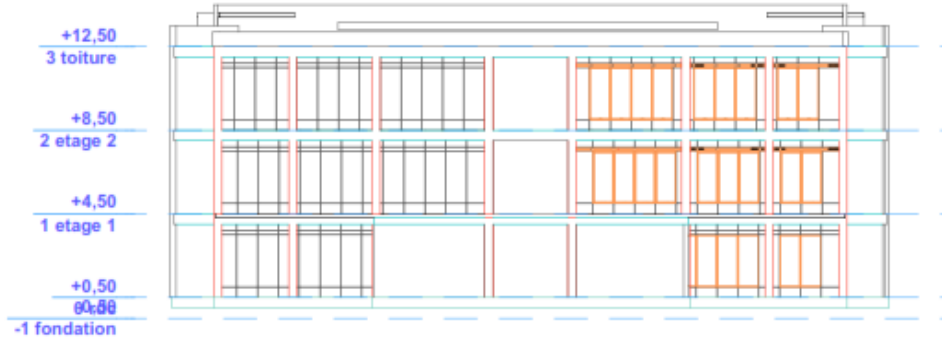
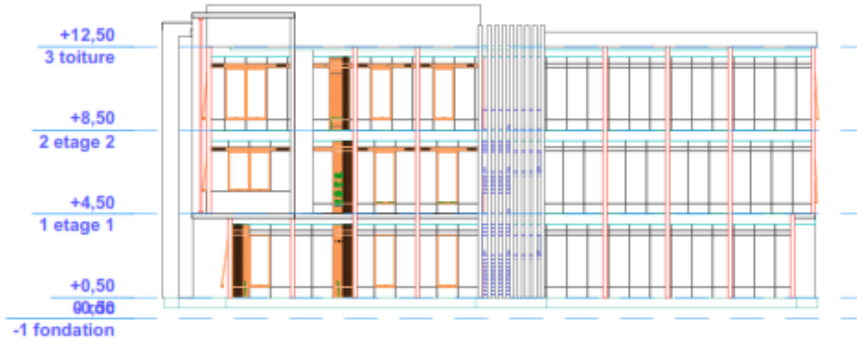
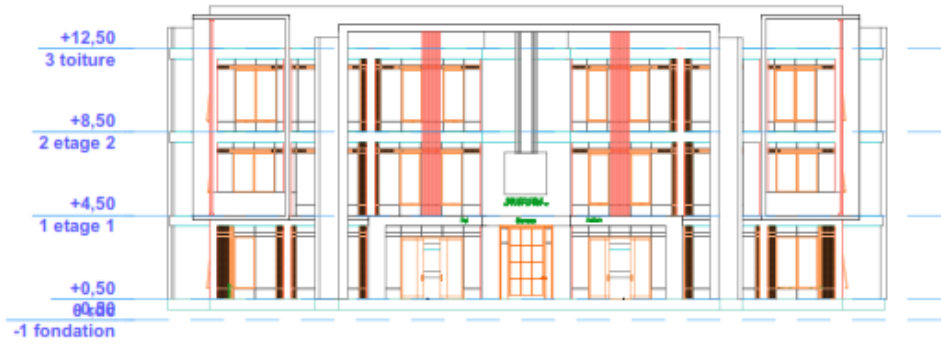


Annexe 2 Les coupes





Annexe 3 Les façades



Annexe 4 Les vues en 3D







