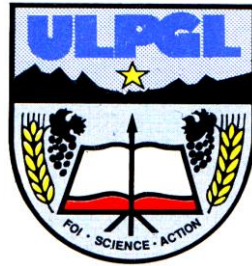


UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS

FACULTE DE SCIENCES DE L'INGENIEUR

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

**CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT
D'UN ABATTOIR MODERNE A KAHEMBE
DANS LA VILLE DE GOMA**

Par KISONIA TAYIVISA Guy

Travail présenté et défendu en vue de l'obtention
du Diplôme de Licence en Génie civil

Option : Génie Civil

Directeur : Dr. Ing. Ally ALINABIWE, PhD.

Encadreur : Ir SYAITSUTSWA

ANNÉE ACADÉMIQUE 2023 - 2024

Epigraphe

« Rien de grand dans le monde ne s'est accomplie sans passion »

Hegel

Dédicace

A ma famille.

KISONIA TAYIVISA Guy

Résumé

Ce mémoire présente une étude de la conception architecturale et du dimensionnement structurel d'un abattoir moderne implanté à Kahembe, dans la ville de Goma. Il vise à répondre aux nombreuses problématiques sanitaires, techniques et fonctionnelles que posent les abattoirs existants de la région, notamment ceux de Kahembe et de Kituku.

L'analyse des besoins fonctionnels a permis de définir les composantes essentielles d'un abattoir conforme aux normes modernes. Le projet est conçu de manière à garantir une séparation stricte entre les circuits propres et sales, et intégrant des espaces pour le personnel, des locaux techniques, des aires d'attente et d'abattage, des chambres froides ainsi que des zones dédiées au traitement des déchets. Sur le plan structurel, le bâtiment repose sur une ossature en béton armé, dimensionnée selon les prescriptions des règles BAEL 91 révisées en 1999. La charpente est réalisée en bois massif, conformément aux exigences de l'Eurocode 5. Tous les éléments porteurs en béton armé (semelles, poteaux, poutres, dalles) ont fait l'objet d'un prédimensionnement manuel, puis d'une modélisation numérique à l'aide du logiciel Robot Structural Analysis, en vue de valider les calculs et de produire les plans d'exécution. Un métré quantitatif détaillé a permis d'évaluer les volumes des matériaux à mobiliser (béton, acier, bois, enduits, peinture, etc.), tandis qu'une estimation financière a été réalisée pour chiffrer le coût global du projet. Un planning d'exécution sous forme de diagramme de Gantt a également été élaboré, intégrant les contraintes techniques liées au coffrage, au ferrailage, et à l'avancement de la maçonnerie. Ce travail met en évidence la faisabilité technique, économique et fonctionnelle du projet, tout en proposant une solution durable et conforme aux normes d'hygiène, de sécurité et de gestion environnementale, en vue d'améliorer les conditions d'abattage à Goma.

Mots clés : Abattoir, dalle, poutre, poteau, fondation

Abstract

This thesis presents a comprehensive study of the architectural design and structural analysis of a modern slaughterhouse located in Kahembe, in the city of Goma. It aims to address the numerous sanitary, technical, and functional issues associated with existing slaughterhouses in the region, particularly those in Kahembe and Kituku.

The functional needs assessment made it possible to define the essential components of a slaughterhouse that complies with modern standards. The project is designed to ensure a strict separation between clean and dirty circuits, while also incorporating designated areas for staff, technical rooms, waiting and slaughter zones, cold storage rooms, and waste treatment areas. Structurally, the building is supported by a reinforced concrete framework, dimensioned according to the BAEL 91 rules revised in 1999. The roof structure is made of solid timber, in accordance with Eurocode 5 requirements. All reinforced concrete elements (footings, columns, beams, and slabs) were first manually pre-dimensioned, then modeled using **Robot Structural Analysis** software for validation and the generation of execution plans. A detailed quantity survey was conducted to estimate the volumes of materials required (concrete, steel, timber, plaster, paint, etc.), and a financial estimation was carried out to determine the overall cost of the project. Additionally, a construction schedule in the form of a Gantt chart was developed, accounting for technical constraints such as formwork, reinforcement, and masonry progress. This work demonstrates the technical, economic, and functional feasibility of the project, while offering a sustainable solution that complies with modern hygiene, safety, and environmental management standards, aiming to improve slaughtering conditions in Goma.

Keywords: Slaughterhouse, slab, beam, column, foundation

Table des matières

Epigraphe.....	i
Dédicace	ii
Remerciements.....	Erreur ! Signet non défini.
Résumé	iii
Table des matières	v
Liste des abréviations	ix
Liste des tableaux.....	x
Liste des figures	xii
0. Introduction générale.....	1
0.1. Contexte.....	1
0.2. Identification du problème.....	2
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 Objectif du travail.....	4

0.6.1	L'objectif général.....	4
0.6.2	Les objectifs spécifiques.....	4
0.7	Méthodologie et délimitation du travail	4
0.8	Structure du mémoire	5
Chapitre 1 : Généralités.....		6
1.1	Généralités sur les abattoirs.....	6
1.1.1	Définition.....	6
1.1.2	Les différents types d'abattoirs.....	7
1.1.3	Fonctionnement d'un abattoir.....	8
1.1.4	Les produits obtenus dans les abattoirs	10
1.2	Généralités sur le béton	11
1.2.1	Résistance à la compression du béton	11
1.2.2	Module d'élasticité du béton.....	11
1.2.3	Module de Young (ou module d'élasticité).....	12
1.2.4	Limite d'élasticité.....	12
1.2.5	Classification des bétons	12
1.3	Conception architecturale.....	14
1.3.1	Les principes fonctionnels.....	14
1.3.2	Les principes esthétiques	15
1.3.3	Emplacement de l'ouvrage	15
1.3.4	Les matériaux utilisés	16

1.3.5	Notions d'Etats limites et vérification des sections.....	28
Chapitre 2 : Méthodologie.....		30
2.1	Le dimensionnement.....	30
2.1.1	Prédimensionnement	32
2.1.2	Actions sur le bâtiment.....	55
2.1.3	Présentation du logiciel Robot structural Analysis.....	57
2.2	Le métré du projet.....	59
2.3	Le planning de travaux	59
Chapitre 3 : Présentation et interprétation des résultats.....		61
3.1	Conception architecturale.....	61
3.1.1	Justification.....	61
3.1.2	Plan architectural	62
3.2	Dimensionnement.....	63
3.2.1	Prédimensionnement	63
3.2.2	Dimensionnement de la ferme avec l'Eurocode 5.....	66
3.2.3	Résultats du calcul dans Robot structural Analysis.....	70
3.3	Le métré de la structure	84
3.3.1	Métré de la toiture.....	84
3.3.2	Métré du béton de la dalle	85
3.3.3	Métré du béton de poutres	85
3.3.4	Métré du béton pour les poteaux	86

3.3.5	Métre de la maçonnerie en blocs	86
3.3.6	Métre du béton pour les semelles et les socles	87
3.3.7	Métre du ferrailage	88
3.3.8	Métre du coffrage	88
3.3.9	Métre de l'enduit	89
3.3.10	Métre de carreaux et de la peinture	89
3.3.11	Métre de la menuiserie (portes et de fenêtres).....	90
3.4	Planning des travaux.....	91
Conclusion générale		93
Bibliographie		94
Annexes		96

Liste des abréviations

A_{min}	: La section minimale des armatures longitudinales
A_t	: La section des armatures transversales
B. A	: Béton Armé
B_r	: La section réduite du béton
C	: Dosage en ciment
E	: Dosage en eau
GPa	: Gigapascal
kN	: Kilonewton
m	: Mètre
MPa	: Mégapascal
N_u	: L'effort normal ultime
ϕ_l	: Le diamètre des armatures longitudinales
ϕ_t	: Le diamètre des armatures transversales
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	13
Tableau 1-2 : Classification des béton selon la résistance	13
Tableau 2-1 : Caractéristiques des aciers.....	23
Tableau 2-2: Caractéristiques géométriques de l'abattoir.....	32
Tableau 2-3 : Valeurs limites pour les flèches verticales et horizontales	49
Tableau 2-4 : Prédimensionnement des semelles.....	54
Tableau 2-5: Poids volumique des matériaux	56
Tableau 3-1: Résultats du prédimensionnement.....	66
Tableau 3-2 : Vérification de la section de la panne en ELU.....	67
Tableau 3-3 : Vérification des déformations de la panne en ELS.	67
Tableau 3-4 : Vérification des sections en traction axiale et en compression.....	69
Tableau 3-5 : Sections de ferrailage de la dalle	70
Tableau 3-6: Sollicitations de la poutre la plus chargée	74
Tableau 3-7 : Sections d'aciers théoriques.	74
Tableau 3-8 : Les aciers pratiques de la poutre la plus chargée	75
Tableau 3-9 : Valeurs de flèches dans la poutre	76
Tableau 3-10 : Analyse de l'élancement.	81
Tableau 3-11 : Armatures longitudinales du poteau	81
Tableau 3-12 : Les armatures transversales du poteau	81

Tableau 3-13 : Armatures de la semelle	83
Tableau 3-14: Métré de la toiture.....	84
Tableau 3-15 : Métré du béton de la dalle.	85
Tableau 3-16 : Métré du béton de poutres	85
Tableau 3-17 : Métré du béton de poteaux.....	86
Tableau 3-18 : Métré ddu béton pour la maçonnerie en blocs.....	86
Tableau 3-19: Métré du béton pour les semelles et les socles.	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 3-20 : Métré du ferrailage	88
Tableau 3-21 : Métré du coffrage.	88
Tableau 3-22 : Métré de l'enduit.	89
Tableau 3-23 : Métré de carreaux et de la peinture.....	90
Tableau 3-24 : Métré de portes et fenêtres.....	90
Tableau 3-25 : Les étapes de la construction.	91

Liste des figures

Figure 2-1: Site d'emplacement de l'ouvrage	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2-2 : Eprouvettes et presse hydraulique	19
Figure 2-3: Contrainte-Déformation du béton	21
Figure 2-4: Diagramme Contrainte-Déformation de l'acier	24
Figure 2-5: Les parties du bois	26
Figure 2-6: Panneau de dalle	33
Figure 2-7: Section transversale d'une poutre	34
Figure 2-8 : Ferme triangulée	36
Figure 2-9 : Ferme à simple versant	36
Figure 2-10: Traction axiale	37
Figure 2-11 : Compression axiale	39
Figure 2-12 : Axes y et z de la section	41
Figure 2-13: Valeurs de coefficients.....	42
Figure 2-14: Décomposition de la charge.....	43
Figure 2-15: La flèche nette finale	47
Figure 2-16 : Perspective d'une semelle isolée	54
Figure 3-1: Vue en plan du bâtiment.....	62
Figure 3-2: Ferrailage inférieur de la dalle.....	71
Figure 3-3 : Ferrailage supérieur de la dalle.	Erreur ! Signet non défini.

Figure 3-4 : Epure d'arrêt de barres	72
Figure 3-5 : La poutre la plus chargée de l'ouvrage.....	73
Figure 3-6 : Diagrammes de sollicitations de la poutre.....	76
Figure 3-7 : Diagramme des flèches de la poutre.....	77
Figure 3-8 : Plan de ferrailage de la première travée	78
Figure 3-9 : Plan de ferrailage de la deuxième travée	79
Figure 3-10 : Plan d'exécution de la troisième travée	79
Figure 3-11 : Le poteau le plus chargé de l'ouvrager.....	80
Figure 3-12 : Plan d'exécution du poteau le plus chargé.....	82
Figure 3-13: Plan d'exécution de la semelle.....	84
Figure 3-14 : Diagramme de Gantt	92
Figure A-1 : Abattoir de KAHEMBE	96
Figure A-2 : Vue 3D de l'ouvrage	98

0. Introduction générale

0.1. Contexte

La conception et le dimensionnement d'un abattoir constituent des étapes fondamentales dans le développement de l'industrie agro-alimentaire moderne. Un abattoir bien conçu garantit non seulement le respect du bien-être animal, mais aussi la qualité sanitaire des produits carnés, la sécurité des travailleurs et la conformité aux normes environnementales et hygiéniques en vigueur. Dans un contexte de forte croissance démographique et d'urbanisation accélérée, la demande mondiale et régionale en viande ne cesse d'augmenter. Selon les données de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la production mondiale de viande est passée de 71 millions de tonnes en 1961 à plus de 364 millions de tonnes en 2023, soit une multiplication par cinq en un peu plus de six décennies. Cette progression traduit un besoin croissant d'installations d'abattage modernes, efficaces et respectueuses des normes techniques et sanitaires. Pour répondre à cette exigence, il devient impératif de concevoir des abattoirs qui soient à la fois fonctionnels, durables et adaptés aux réalités locales, tout en intégrant les standards internationaux en matière de santé publique, d'hygiène et de gestion environnementale [1].

La croissance continue de la consommation de viande implique des exigences strictes en matière de conditions d'abattage. Dans la ville de Goma, de nombreux animaux provenant de diverses régions, notamment du territoire de Masisi et du Rwanda, sont abattus quotidiennement. Cependant, ces opérations se déroulent souvent dans des conditions non conformes aux normes sanitaires et techniques requises. Malgré le rôle important que joue Goma dans l'approvisionnement en viande d'autres villes de la région, les infrastructures d'abattage existantes restent insuffisantes et inadaptées. La ville dispose principalement de deux abattoirs, situés respectivement à Kahembe et à Kituku, qui présentent d'importantes limites en termes de conception, d'équipement et de respect des principes d'hygiène, ce qui impacte directement la qualité des produits carnés distribués.

0.2. Identification du problème

Les abattoirs de Kahembe et de Kituku à Goma présentent plusieurs dysfonctionnements. À Kahembe, il n'y a pas de séparation entre les zones propres et les zones sales, aucun local de conservation des carcasses, et les espaces existants comme la salle de stabulation et d'abattage sont insuffisants. Des locaux essentiels comme la chambre froide, les sanitaires et la salle de traitement sont absents, rendant impossible la conservation des carcasses sur place. À Kituku, on observe l'absence de salle de stabulation, des chambres froides insuffisantes, le non-respect du principe de la marche en avant, ainsi qu'un défaut de séparation entre zones propres et zones sales. Ces insuffisances nuisent à l'hygiène, à la sécurité sanitaire et à la productivité des abattoirs.

0.3. Questions de recherche

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

- Quelle conception architecturale devant permettre la gestion des espaces (zones de réception, zone d'abattage, zone de traitement, zone de stockage, zone de nettoyage et désinfection) afin de gérer les flux (circulation des personnes et des animaux, l'aération et l'éclairage, la gestion des eaux pluviales et usées, etc.) pour améliorer la productivité de l'abattoir ?
- Comment assurer la stabilité de la structure en vue de répondre aux exigences spécifiques en termes de résistance, de sécurité et de durée ?
- Quel coût serait nécessaire pour l'abattoir conçue proposée pour la ville de Goma ?
- Quelle durée serait nécessaire pour planifier les travaux en vue de l'exécution de cette structure ?

0.4. Formulation des hypothèses

Les hypothèses prises en compte dans ce travail sont :

- Une conception architecturale conforme aux normes et recommandations des abattoirs, associée à une gestion rationnelle des flux, améliorerait la productivité et l'efficacité fonctionnelle de l'abattoir.
- Le choix de dimensions appropriées pour les éléments structuraux garantirait la stabilité, la sécurité et la durabilité de la structure, tout en assurant le confort des usagers et le bien-être animal ; en usant du bois massif résiné de classe C24.
- Une estimation préalable du coût global de la construction permettrait au maître d'ouvrage de planifier efficacement les ressources financières nécessaires à la réalisation du projet.
- Une planification rigoureuse des travaux permettrait de maîtriser les délais d'exécution et d'assurer une réalisation ordonnée et contrôlée de l'ouvrage.

0.5. Justification du choix du sujet et motivations

0.5.1 Motivation et intérêt pour le sujet

La conception et le dimensionnement d'un abattoir provient de la nécessité de disposer des infrastructures adéquates dans le domaine agro-alimentaire pouvant ainsi préserver la santé.

0.5.2 Pertinence scientifique du sujet

Ce travail intègre des connaissances en ingénierie, architecture et environnement pour créer des espaces agro-alimentaires sûrs, confortables et durables.

0.5.3 Pertinence sociale du sujet

Ce travail propose la bonne gestion des espaces, des flux pour assurer une production de qualité, éviter aux personnes et aux animaux de développer des maladies.

0.6 Objectif du travail

0.6.1 L'objectif général

L'objectif général de ce travail est de concevoir un bâtiment servant d'abattoir et de dimensionner ses éléments structuraux en béton armé et en bois qui devront durer dans le temps tout en assurant la sécurité et le confort des usagers ainsi que des animaux.

0.6.2 Les objectifs spécifiques

Au cours de ce travail, nous avons procédé comme suit :

- Concevoir un plan architectural conforme aux normes en matière d'abattage, intégrant une bonne organisation des espaces et une gestion efficace des flux.
- Dimensionner les éléments structuraux (en béton armé et en bois) de manière à garantir la stabilité, la sécurité et la durabilité de la structure
- Évaluer le coût global de la construction en tenant compte des matériaux, de la main-d'œuvre et des dimensions de l'ouvrage.
- Élaborer un planning des travaux en identifiant les différentes phases de réalisation et leurs durées respectives.

0.7 Méthodologie et délimitation du travail

Au cours de ce travail, nous avons procédé comme-suit :

- Réalisation du plan architectural à l'aide des normes de conception référencées dans le Neufert, en tenant compte de la logique de fonctionnement des abattoirs modernes (marche en avant, séparation des zones, etc.).
- Calculs et dimensionnement des éléments structuraux selon les normes BAEL 91 R99 et Eurocode 5, à l'aide du logiciel Robot Structural Analysis.
- Calcul du coût basé sur les quantités issues des plans et des prix unitaires du marché local, selon la méthode de métré et d'estimation des travaux.

- Élaboration d'un planning d'exécution des travaux sous forme de diagramme de Gantt, précisant les tâches, durées, ressources et ordonnancement.

Le présent travail se limite à la conception architecturale d'un abattoir, au dimensionnement de ses éléments structuraux en respectant la norme la norme BAEL 91 R 99 et Eurocode 5 ; l'évaluation du coût et du planning des travaux.

0.8 Structure du mémoire

En dehors de la conclusion générale, ce mémoire de fin d'études est structuré en trois chapitres principaux :

- **Le premier chapitre** présente une vue d'ensemble des structures utilisées comme abattoirs. Il aborde les différents types d'abattoirs, leur mode de fonctionnement, les équipements nécessaires ainsi que les produits issus du processus d'abattage. Ce chapitre pose les bases théoriques et contextuelles du projet.
- **Le deuxième chapitre**, consacré à la méthodologie, expose les différentes étapes de conception et de dimensionnement de l'ouvrage. Il comprend la présentation du plan architectural de l'abattoir, le choix des matériaux, la procédure de dimensionnement des éléments structuraux en béton armé (selon la norme BAEL 91 R99) et en bois (selon l'Eurocode 5), à l'aide du logiciel Robot Structural Analysis. Ce chapitre inclut également une brève explication de la méthode d'évaluation du coût de la construction et l'élaboration du planning d'exécution sous forme de diagramme de Gantt.
- **Le troisième chapitre** est dédié à la présentation et à l'analyse des résultats. Il détaille les dimensions et sections obtenues pour la charpente en bois ainsi que les armatures nécessaires pour les éléments en béton armé (dalles, poutres, colonnes, semelles). L'interprétation de ces résultats permet de vérifier la conformité de la structure aux exigences de stabilité, sécurité et fonctionnalité.

Chapitre 1: Généralités

1.1 Généralités sur les abattoirs

Les abattoirs existent depuis l'Antiquité, mais leur organisation et leur réglementation ont beaucoup évolué au fil du temps. Au XIXe siècle, avec la révolution industrielle, les premiers abattoirs modernes sont construits, notamment en France. Aujourd'hui, les abattoirs sont soumis à des réglementations strictes en termes d'hygiène et de bien-être animal. Peu importe sa beauté, doit pouvoir résister aux charges auxquelles il sera soumis [2].

D'où avant l'exécution d'un projet de construction d'un abattoir, il est important de faire son dimensionnement conformément aux normes de la construction.

1.1.1 Définition

Les abattoirs sont des établissements publics permettant de préparer les viandes, de traiter les éléments du 5ème quartier, de soumettre ces produits à l'inspection de salubrité et de déterminer leur qualité. Du point de vue importance, on peut se situer sous trois angles :

a) Importance économique

Il est question de rechercher à ce que la transformation de l'animal vivant en carcasse soit la plus économique possible ; ceci est possible par trois moyens :

- Diminuer le coût de l'abattage par l'équipement rationnel, l'utilisation maximum de cet équipement et surtout l'organisation du travail.
- Diminuer le plus possible les pertes de viande et abats par application des règles hygiéniques.
- Percevoir les taxes fiscales (taxe sur bétail et taxe d'exportation). On peut aussi signaler le contrôle et la régulation des marchés de la viande.

b) Importance sanitaire

Les vétérinaires inspecteurs jouent un double rôle de salubrité :

- Assurer la salubrité endogène des viandes en retirant de la consommation les viandes insalubres ;
- Assurer la salubrité exogène des viandes en imposant à l'abattage qui est une opération sale, des principes hygiéniques : il ne suffit pas d'abattre, il faut le faire suivant des règles hygiéniques.

c) Importance statistique

Elle permet d'avoir des statistiques précises sur le cheptel surtout sur certaines catégories et tranches d'âge du bétail [2].

1.1.2 Les différents types d'abattoirs

On distingue différents types d'abattoirs en fonction du mode de gestion et en fonction de la capacité.

a) En fonction du mode de gestion

❖ Les abattoirs publics

Ils sont construits à partir des fonds mis à la disposition par l'Etat ou par les municipalités ou quelques fois, par les bailleurs de fonds. D'une façon générale, la gestion est confiée à une personne ou à une société.

❖ Les abattoirs privés

Ce sont des abattoirs construits à partir de capitaux privés. Il y a donc un propriétaire ou des propriétaires qui s'organisent en coopérative ou en société et s'occupent de l'exploitation.

Les abattoirs doivent recevoir l'agrément de l'Etat (les services de l'Elevage et l'Inspection Sanitaire doivent être réalisés par les services vétérinaires officiels même si ces abattoirs sont privés).

b) En fonction de la capacité

On distingue trois sortes d'abattoirs :

- **Les abattoirs traditionnels** : Ce sont les petits abattoirs de brousses qu'on rencontre dans les villages. Lorsqu'il s'agit de gros villages, on parle de tueries. Ces abattoirs sont caractérisés également par le sous-équipement en matériels et en instruments.
- **Les abattoirs modernes** : Ces abattoirs sont construits pour l'approvisionnement des villes moyennes de 20 000 à 100000 habitants qui sont caractérisés par des abattages réguliers, permanents et constants. L'équipement y est suffisant de même que le matériel.
- **Les abattoirs industriels** : Ils sont situés dans l'orbite des grandes villes (les capitales) et les alimentent. Ils alimentent également les marchés d'exportation, leur capacité peut aller de 30000 à 50000 tonnes de viande par an. Donc cela correspond en moyenne à 100 à 250 tonnes/jour environ 600 bovins par jour. Ces abattoirs industriels sont dotés d'équipements ultramodernes c'est-à dire que la mécanisation est très poussée à tous les stades des opérations. On note la présence de chambre froide et de chambre de congélation. Le service vétérinaire y est permanent et le personnel s'y trouve en grand nombre. Ces abattoirs fonctionnent comme des usines et doivent donc être rentables [2].

1.1.3 Fonctionnement d'un abattoir

D'une manière générale, le fonctionnement d'un abattoir comprend les étapes énumérées ci-dessous :

1. **Le déchargement** : A l'abattoir, les animaux sont déchargés de la bétailière dans le calme, avec des rampes. Tout en garantissant leur propre sécurité, les opérateurs d'abattoir doivent éviter aux animaux tous stress, blessures ou douleurs ;
2. **Réception / contrôle** : Lors de la réception des animaux, le bouvier contrôle la traçabilité grâce aux boucles d'identification, en lien avec leur passeport individuel ou document de circulation ;
3. **Le soin des animaux** : Les animaux sont installés ensuite dans la bouverie, qui est équipée d'abreuvoirs et aménagée pour faciliter leur circulation puis leur repos. L'état de santé des animaux est vérifié par les inspecteurs vétérinaires de l'état ;
4. **L'amenée** : Lors de l'amenée des groupes d'animaux vers le poste d'abattage, tout est mis en œuvre pour éviter leur stress avec notamment la présence de sols antidérapants ou de dispositifs anti-recul pour éviter les bousculades ;
5. **Contention / étourdissement** : La contention des animaux est réalisée grâce à des équipements adaptés pour permettre leur immobilisation. L'étourdissement est effectué à l'aide d'un pistolet d'abattage. L'animal étourdi et inconscient tombe : c'est ce que l'on appelle l'affalage ;
6. **La saignée** : Après étourdissement, les animaux sont suspendus et vidés de leurs sangs. Ce qui est indispensable pour assurer la qualité sanitaire de la viande ;
7. **La dépouille** : Une fois l'animal mort, le cuir est séparé de la carcasse c'est ce que l'on appelle la dépouille ;
8. **Retrait de la tête** : La plupart des parties retirées sont traitées et valorisées comme la tête ;
9. **L'éviscération** : L'abdomen de l'animal et les organes internes sont retirés. Cela inclut également un contrôle de vétérinaire des organes pour détecter toute maladie ou anomalie ;
10. **La fente** : Les carcasses sont ensuite fendues en 2 pour des contraintes commerciales et pour en faciliter l'inspection sanitaire. Tout au long de la chaîne de production, la traçabilité et l'hygiène sont assurées en continu ;
11. **Inspection post-mortem** : Les services vétérinaires de l'état contrôlent ensuite la conformité sanitaire de la carcasse pour sa commercialisation ;

12. Classement / Marquage : Les carcasses sont préparées pour être pesées et classées par photographie ;

13. Réfrigération des carcasses : Placées dans un local frigorifique, les carcasses reposent alors au minimum 24h pour refroidir à cœur et maturer selon une durée variable ;

1.1.4 Les produits obtenus dans les abattoirs

a) La carcasse

C'est le corps entier d'un animal de boucherie après saignée, dépouillement, éviscération et ablation des extrémités des membres au niveau des carpes et des tarse, de la tête, de la queue et des mamelles, sauf chez le porc qui peut être présenté non-dépouillé et les pieds postérieurs et antérieurs non sectionnés. C'est le produit principal de l'abattoir, comprenant des morceaux de viande destinés à la consommation humaine, le steak, les saucisses, etc. Son poids est estimé à 40 à 50% de la masse totale qui varie entre 50 et 80 kg pour les ovins et 300 à 600 kg pour les bovins. On considère que l'ovin vivant mesure 0,8 mètre de hauteur ; 1,25 m de long et 0,5 m de large. Pour le bovin on a une hauteur de 1,6 m, une longueur de 2,2 m et une largeur de 0,9 m [3].

b) Les sous-produits comestibles

Il s'agit de tous les éléments obtenus à partir d'un animal de boucherie en dehors de la carcasse qui est divisée en demi-carcasse par une fente médiane et en 4 quartiers par une fente transversale au niveau de l'abdomen :

- Abats blancs (estomac, intestin et pieds) et abats rouges (foie, rein, cœur, poumon, cervelle, rate etc.) ;
- Les issues : Le cuir (produit obtenu par la transformation de la peau des animaux pour la fabrication des sacs, chaussures etc.), le suif (graisse utilisée comme produit cosmétique), glandes, sang ;
- Le contenu de l'appareil digestif.

c) Les os et autres produits dérivé

Les os, les cornes, les sabots, peuvent être transformés en aliments pour animaux.

1.2 Généralités sur le béton

Le béton armé est un matériau composite constitué de béton et de barres d'acier alliant les propriétés mécaniques complémentaires de ces matériaux. Il est utilisé comme matériau de construction, en particulier pour le bâtiment et le génie civil. Le béton est un matériau hétérogène qui résiste bien à la compression et moins bien à la traction. L'acier, quant à lui, est un matériau résistant à la fois à la traction et à la compression. La composition des deux matériaux permet au béton armé d'être à la fois résistant à la compression ainsi qu'à la traction.

Pour calculer la résistance d'un élément en béton armé, il est nécessaire de connaître les propriétés mécaniques de chaque matériau. Les propriétés du béton sont principalement déterminées par la composition du béton, notamment le type de ciment, la granulométrie des granulats et la quantité d'eau [4].

Voici quelques exemples de propriétés mécaniques du béton et de l'acier :

1.2.1 Résistance à la compression du béton

La résistance à la compression est la capacité du béton à supporter des forces de compression sans se fissurer ou se rompre. Elle est mesurée en mégapascals (MPa) et correspond généralement à la résistance du béton après 28 jours de durcissement.

Le béton est principalement conçu pour résister à la compression, et c'est l'une de ses principales propriétés. La résistance à la compression dépend de la qualité du ciment, de la quantité d'eau ajoutée, du type de granulats, ainsi que du processus de durcissement. Un béton de bonne qualité peut atteindre une résistance à la compression de 20 MPa à 60 MPa, voire plus dans des applications spécialisées (béton haute résistance).

1.2.2 Module d'élasticité du béton

Il mesure la rigidité du béton, c'est-à-dire sa capacité à se déformer sous une contrainte appliquée, dans la limite de l'élasticité.

1.2.3 Module de Young (ou module d'élasticité)

C'est la mesure de la rigidité de l'acier. Le module de Young mesure la rigidité d'un matériau, c'est-à-dire sa résistance à la déformation élastique sous l'action d'une contrainte. Il est exprimé en MPa ou GPa. Un acier avec un module de Young élevé sera plus rigide et moins susceptible de se déformer sous l'action d'une charge. Le module de Young des aciers se situe généralement autour de 200 GPa [5].

1.2.4 Limite d'élasticité

La limite d'élasticité est la contrainte maximale qu'un acier peut supporter sans subir de déformation permanente (plastique). Elle est aussi exprimée en MPa. Au-delà de cette limite, l'acier commence à se déformer de manière permanente.

En plus de ces propriétés mécaniques, il est également important de tenir compte des conditions de service dans lesquelles l'élément en béton armé sera utilisé. Ces conditions peuvent affecter la résistance de l'élément [5].

1.2.5 Classification des bétons

Les bétons peuvent être classés 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 béton selon la masse volumique [6]

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 classifier 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) [6].

Tableau 1-2 : Classification des béton selon la résistance [6]

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.

Dans ce chapitre, nous présentons premièrement les principes architecturaux qui nous ont guidé 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.

1.3 Conception architecturale

La phase de conception architecturale dans tout projet de construction est cruciale, car c'est pendant cette phase que les exigences du maître d'ouvrage et les idées du maître d'œuvre se rencontrent pour faire naître le projet.

1.3.1 Les principes fonctionnels

En architecture, le fonctionnalisme est un principe selon lequel la forme d'un bâtiment doit être entièrement l'expression de sa destination. 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. Cette proposition signifie que si tous les aspects fonctionnels sont respectés, la beauté architecturale en coulera naturellement. Les différents principes fonctionnels qui nous ont guidés dans l'élaboration des plans sont les suivants :

a) Notion de proportion :

La taille des pièces composant un ouvrage doit être proportionnelle aux usagers, aux meubles ou outils qu'ils vont contenir. Le concepteur devra savoir quelle place est nécessaire à l'homme entre ses meubles, dans la cuisine, dans la salle à manger, dans les bibliothèques, etc., pour disposer convenablement les objets qui doivent être à portée de sa main, sans gaspiller l'espace. Il devra connaître l'emplacement des meubles qui permettent à l'homme d'accomplir commodément ses fonctions dans le ménage, dans les affaires, à l'usine, ou encore de se reposer. Sur base de cette notion on a pu établir la hauteur sous-linteau à 3,1 mètres 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 intitulé : **Les éléments de projet de construction** [3].

b) L'étude du schéma fonctionnel

Avant d'aborder la conception, l'architecte doit disposer d'un programme préalable proposé par le maître d'ouvrage (client). Il devra en étudier tous les détails en analysant les fonctions qui se déroulent dans les espaces proposés, il devra le compléter car il est le seul à pouvoir justifier tout espace projeté. Il devra par la suite devoir vérifier toutes les surfaces proposées selon le processus : fonction, aménagement, encombrement, périodicité d'utilisation, nombre d'utilisateurs [7].

1.3.2 Les principes esthétiques

L'aspect de notre abattoir est basé sur l'architecture moderne dont les concepts et les formes ne sont pas évidents à définir. Nous citons par ici deux des plusieurs traits de l'architecture moderne.

- **La luminosité** : les formes simples et les matières riches des intérieurs modernes ne prennent réellement vie que sous une lumière douce et abondante. Aussi, l'architecture moderne favorise la lumière naturelle à l'aide de parois vitrées nombreuses mais aussi, la nuit venue, à l'aide d'éclairages savamment intégrés au mur pour mettre en valeur les espaces et les volumes.
- **Simplicité des formes** : Les formes géométriques simples et l'absence d'ornements superflus sont privilégiées [7].

1.3.3 Emplacement de l'ouvrage

Notre ouvrage est situé en République démocratique du Congo, dans la ville de Goma. Les coordonnées de l'emplacement sont 1°40'S 237,14''S ; 29°14'33,76''E à 1527 m.

La figure 2-1 présente le site d'implantation de l'ouvrage en vue de dessus.



Figure 1-1: Site d'emplacement de l'ouvrage

1.3.4 Les matériaux utilisés

a) Le béton

Le béton est un matériau composite qui est obtenu en mélangeant plusieurs matériaux : les granulats, le ciment, l'eau et éventuellement les adjuvants. Ces matériaux sont mélangés en proportions précises pour former un ensemble homogène qui possède des propriétés mécaniques et physiques spécifiques. Les granulats sont des matériaux inertes qui constituent le squelette du béton. Ils sont généralement constitués de sable et de gravier, mais aussi d'autres matériaux peuvent être utilisés, tels que des bétons de démolition des bâtiments, scories d'aciérie ou des particules de verre recyclé en lieu et place du sable et du gravier. Les granulats sont les matériaux qui confèrent au béton sa résistance et sa durabilité. Le ciment est un liant hydraulique qui

permet de lier les granulats ensemble. Il est fabriqué à partir de calcaire et d'argile calcinée à haute température pour produire du clinker, qui est ensuite réduit en poudre. Le ciment est responsable de la cohésion du béton et de sa résistance à la compression. Les adjuvants sont des substances ajoutées au béton pour améliorer certaines de ses propriétés. Ils peuvent être utilisés pour augmenter la résistance, la durabilité, l'ouvrabilité, etc.

Le béton est un matériau qui possède une résistance à la compression élevée et une résistance à la traction très faible. Cette propriété est due grandement à la nature des granulats qui entrent dans sa composition. Pour augmenter la résistance à la traction du béton, on utilise les barres d'acier qui, une fois combinées au béton donnent le béton armé. L'armature en acier, qui est placée dans le béton, supporte les efforts de traction auxquels le béton a du mal à résister. Le béton possède des propriétés à l'état frais et l'état durci mais il se caractérise essentiellement par sa résistance, sa maniabilité (ouvrabilité), son imperméabilité et sa durabilité. La maniabilité du béton est sa capacité à être coulé et compacté. La maniabilité du béton est mesurée par sa consistance.

La consistance d'un béton s'obtient par l'essai au cône d'Abrams, plus la consistance est élevée, plus le béton est fluide. L'imperméabilité du béton est sa capacité à résister au passage de l'eau. L'imperméabilité du béton est importante pour les structures exposées à l'eau, telles que les ponts et les barrages. La durabilité du béton est sa capacité à résister à la corrosion, aux intempéries et aux autres facteurs de dégradation. La durabilité du béton est améliorée par l'utilisation de ciments à haute résistance et de granulats durables [4].

❖ **Composition du béton**

La composition du béton consiste à déterminer les proportions optimales de chacun de ses constituants en vue de produire un matériau qui aura les propriétés appropriées à l'utilisation qu'on veut faire et qui coûtera le moins cher possible. Il existe de nombreuses méthodes pour la formulation du béton, qui sont des techniques utilisées pour déterminer les proportions des différents matériaux qui entrent dans la composition du béton. Les méthodes de formulation du béton les plus courants sont :

- **La méthode de Dreux-Gorisse** : qui est une méthode empirique basée sur l'expérience, les essais et l'ajustement des proportions en fonction de la compacité ; Elle tient compte de la granularité des matériaux
- **La méthode de Bolomey** : qui est une méthode semi-empirique. Elle est plus précise que la méthode de Dreux-Gorisse, mais elle est complexe.

Le but de la formulation du béton est de déterminer les quantités de différents matériaux qui vont entrer dans la composition du béton, en fonction de la résistance moyenne en compression désirée. Les formulations de béton sont approximatives. Il est donc nécessaire d'ajuster les quantités théoriques par des contrôles de maniabilité et de masse volumique du béton frais et de résistance du béton durci.

L'influence de la méthode et du temps de vibration du béton frais sur la résistance du béton durci est aussi un paramètre important dans la formulation. La vibration du béton frais est utilisée pour améliorer la compacité du béton et, par conséquent, sa résistance. La durée de vibration du béton frais doit être suffisante pour éliminer les vides d'air, mais pas trop longue pour ne pas endommager les granulats [4].

❖ **Résistance à la compression**

La résistance à la compression est l'une des propriétés prépondérantes du béton durci. C'est la capacité de celui-ci à supporter les charges qui tendent à réduire sa taille par compression. Elle se mesure sur des éprouvettes normalisées à 28 jours. La résistance à la compression est influencée par une multitude de facteurs à savoir, le rapport C/E, la nature des granulats, le type de ciment, les conditions de durcissement, etc.

Les bétons courants ont une résistance à la compression comprise entre 20 et 40 MPa pour un rapport E/C de l'ordre de 0.5. Les bétons spéciaux à l'instar des bétons à Haute performance présentent des résistances supérieures à 40 MPa. La résistance à la compression peut s'évaluer à partir des essais normalisés qui peuvent être destructifs (au laboratoire sur des éprouvettes) ou

non destructifs (pratiqués in situ). Elle est déterminée par un essai de compression normalisé (NF P 18-406, Décembre 1981). Après surfacage de l'éprouvette de 16X32, celle-ci est placée entre les plateaux d'une presse à béton. L'effort de compression est appliqué progressivement à une vitesse de $10 \pm 4 \text{ KN}$ par seconde. L'image ci-dessous présente des éprouvettes et une presse hydraulique [6].



Figure 1-2 : Éprouvettes et presse hydraulique [6]

La résistance caractéristique du béton en compression est donnée par la relation (2-1) :

$$f_{c28} = \frac{P}{S} \quad (2-1)$$

Avec :

P : La charge de rupture en kN ;

S : La section orthogonale de l'éprouvette en mm^2 ;

f_{c28} : La résistance à la compression.

Par contre la résistance caractéristique du béton en traction est très mauvaise. Elle est de l'ordre de 8 à 10 fois plus petite que la résistance caractéristique en compression. Elle est donnée par la relation (2-2).

$$f_{tj} = 0,6 + 0,06.f_{c28} \quad (2-2)$$

❖ Diagramme Contraintes-Déformations

Dans les matériaux élastiques (ou les matériaux qui se comportent de manière élastique jusqu'à un certain niveau de contrainte), une relation existe entre les contraintes et les déformations ; C'est la relation (2-3).

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} \quad (2-3)$$

Avec :

l : La longueur initiale de la pièce.

Δl : La déformation.

On distingue deux modules de déformation longitudinale du béton : le module de Young instantané E_{ij} et différé E_{vj} .

▪ Le module de déformation longitudinale instantané

Il est utilisé pour le calcul sous charges d'une durée d'application inférieure à 24h. Il est obtenu à partir de la relation (2-4) :

$$E_{ij} = 11000 \sqrt[3]{f_{cj}} \quad (2-4)$$

▪ Le module de déformation longitudinale différé

Il est utilisé pour le calcul sous charges de longue durée (cas courant), le module de déformation longitudinale différé permet de calculer la déformation finale du béton (prenant en compte le fluage du béton). Il est donné par la relation (2-5).

$$E_{vj} = \frac{E_{ij}}{3} \quad (2-5)$$

Le fluage du béton est l'augmentation continue de la déformation sous une charge constante ;
La figure ci-dessous présente la courbe Contrainte-déformations du béton.

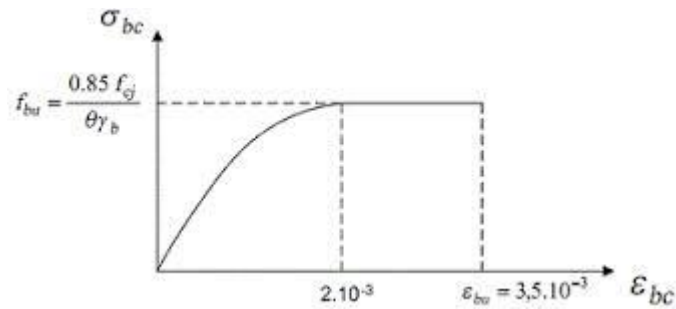


Figure 1-3: Contrainte-Déformation du béton [8].

La contrainte ultime du béton est donnée par la relation (2-6).

$$\sigma_{bu} = \frac{0,85 \cdot f_{cj}}{\theta \cdot \gamma_b} \quad (2-6)$$

Avec :

$$\theta = \begin{cases} 1 & \text{si } t > 24 \text{ h} \\ 0,9 & \text{si } 1 \text{ h} \leq t \leq 24 \text{ h} \\ 0,85 & \text{si } t < 1 \text{ h} \end{cases} \text{ En fonction de la durée (t) d'application des combinaisons d'action}$$

γ_b : Le coefficient de sécurité qui prend les valeurs suivantes :

- 1,5 : Cas général
- 1,15 : Cas accidentel

Le diagramme parabole-rectangle est un diagramme théorique qui représente la zone plastique du béton comme étant linéaire, c'est la partie horizontale. La partie inclinée ou en parabole correspond à la phase élastique du béton, où le béton commence à se déformer progressivement.

La rupture du béton se produit lorsque la contrainte de compression atteint la résistance à la compression du béton [9].

❖ **L'ouvrabilité**

L'ouvrabilité caractérise l'aptitude d'un béton frais à remplir les coffrages, et à enrober convenablement les armatures. Elle doit être donc telle, que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité. L'ouvrabilité est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais. Dans le cas de bétons classiques, elle est principalement influencée par la nature et le dosage du liant, la forme des granulats et la granulométrie et le dosage en eau. Celle-ci se détermine généralement par l'essai au cône d'Abrams, essai qui consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais. Le rôle de l'eau est prépondérant pour l'ouvrabilité du béton frais et sur les propriétés du béton durci. L'eau donne au béton sa maniabilité, d'une part par son action lubrifiante sur les différents grains, d'autre part par la cohésion due à la pâte provoquée par l'association des grains fins (ciment et fines) avec elle [4].

❖ **La durabilité**

La durabilité du béton caractérise sa capacité à conserver les fonctions d'usage pour lesquelles il a été conçu (fonctionnement structurel, sécurité, confort des usagers) et à maintenir son niveau de fiabilité et son aspect esthétique dans ses conditions d'environnement, avec des frais de maintenance et d'entretien aussi réduits que possible (sous réserve de la mise en œuvre d'une maintenance préventive programmée). La durabilité est le paramètre important à considérer pour optimiser la résistance des bétons aux influences externes tels que les intempéries, l'agressivité des sols, l'atmosphère chimiquement agressives, etc.

La seule durabilité intrinsèque du béton ne suffit plus à garantir la durée de service de l'ouvrage. Un béton performant ayant en principe un dosage correct en ciment et une bonne compacité,

peut effectivement garantir une certaine durabilité du matériau béton. La durabilité est appréhendée en considérant un ensemble de propriétés dont l'ouvrabilité, la résistance mécanique à 28 jours, la porosité, etc [4].

a) L'acier

L'acier est un alliage de fer et de carbone en faible pourcentage, son rôle dans le BA est d'absorber les efforts de traction, de cisaillement et de torsion. Les différents aciers utilisés dans le béton armé se distinguent par leur forme, leur composition, leur mode d'élaboration, ainsi que leurs propriétés mécaniques. Du point de vue constructif, on distingue :

- Les barres d'armatures ;
- Les treillis soudés (panneaux formes de barres orthogonales) ;
- Les câbles de précontrainte (câbles gainés : fils, torons, etc.)

Le module d'élasticité longitudinal de l'acier est pris égale à : $E_s = 200\,000$ MPa. Les principales caractéristiques mécaniques des aciers sont : la limite d'élasticité, la résistance à la traction et la rupture à l'allongement. Le tableau (2-1) donne les caractéristiques mécaniques des différents types d'armatures.

Tableau 1-3 : Caractéristiques des aciers [10]

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

La limite d'élasticité est la contrainte maximale que l'acier peut supporter sans subir de déformation permanente ; L'allongement à la rupture est la différence entre la longueur initiale de la barre et la longueur de la barre au moment de la rupture.

❖ Diagramme Contrainte-Déformation

La figure 2-4 présente les contraintes en ordonnée et les déformations en abscisses.

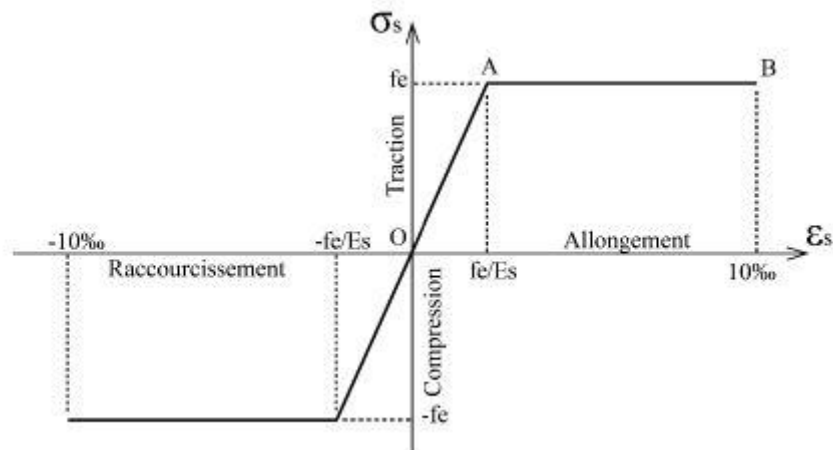


Figure 1-4: Diagramme Contrainte-Déformation de l'acier [11].

La phase élastique de l'acier correspond au segment de droite OA en traction. Dans cette phase, la relation entre les contraintes et les déformations est linéaire. Les contraintes sont proportionnelles aux déformations, et l'acier retrouve sa forme initiale lorsque la contrainte est enlevée.

La phase plastique correspond quant à elle au segment de droite AB en traction. La relation entre les contraintes et les déformations n'est plus linéaire. Les déformations continuent à croître, même lorsque la contrainte est constante. L'acier ne retrouve pas sa forme initiale lorsque la contrainte est supprimée.

c) Avantages et inconvénients du béton armé [9]

❖ Les avantages

Parmi les avantages du béton armé, on peut citer :

- Le béton est le moins coûteux des matériaux résistant à la compression et susceptible d'être associé à d'autres éléments (Intérêt économique).
- La souplesse d'utilisation, il répond à toutes les formes désirées par le constructeur.
- L'économie d'entretien : Les constructions en béton nécessitent moins d'entretiens par rapport à celles en acier ou en bois.
- Une bonne résistance au feu.
- La durabilité : Le béton armé résiste bien l'action de l'eau.

❖ Les inconvénients

Le béton armé présente quelques inconvénients dont :

- Le poids : Les ouvrages en béton armé sont plus lourds que les autres modes de construction.
- L'exécution : La préparation du coffrage et le ferrailage qui demandent beaucoup de temps et de main d'œuvre.

d) Le bois

Le bois est un matériau de construction généralement naturel, il est composite car il contient :

- La cellulose (50%) ;
- L'hémi-cellulose (25%) ;
- Lignine (25%).

De l'extérieur vers l'intérieur d'un arbre, on trouve les composantes ci-dessous :

- L'écorce : qui joue le rôle de protection vis-à-vis de l'extérieur ;
- Le liber : qui sert au transport de la sève nourricière ;
- Le cambium : qui est la couche de croissance ;
- L'aubier : qui sert au transport de la sève brute ;

- Le bois de cœur ou duramen, inactif et se durcit au cours du temps.

La figure (2-5) présente les parties du bois

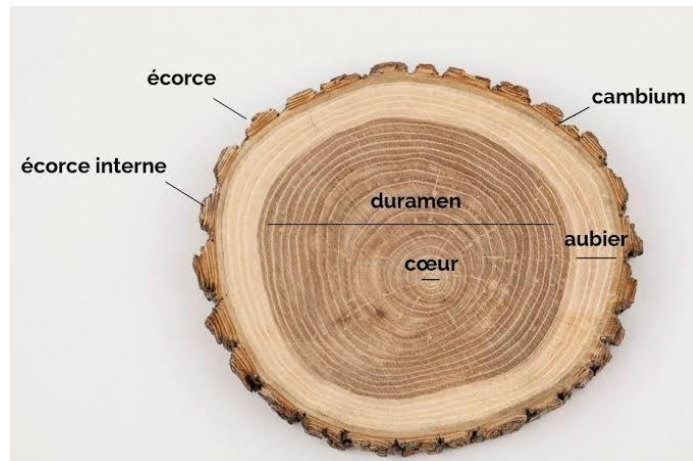


Figure 1-5: Les parties du bois

On classifie le bois selon les propriétés :

- Les résineux : (bonnes propriétés dans le sens longitudinal) ;
- Les feuillus : (bonnes propriétés dans le sens transversal).

❖ Quelques avantages du bois

Pour les avantages ci-dessous, on peut utiliser le matériau bois en construction :

- Ressource naturelle et renouvelable ;
- Rapidité dans l'exécution ;
- Construction à sec ;
- Légèreté.

❖ Quelques inconvénients

Le bois présente quelques inconvénients dont :

- Le bois résiste mal au cisaillement ;
- Le bois présente un caractère hygroscopique élevé ;
- Le bois présente un bon comportement acoustique, ce qui provoque du bruit dans les locaux.

❖ Propriétés physiques

Le bois présente quelques propriétés physiques :

- **La masse volumique :** La masse volumique et la densité qui lui est associée sont les critères les plus importants dans la caractérisation physique du matériau bois. On distingue :
 - La masse volumique spécifique ou encore masse volumique des parois cellulaires notée φ_c . Elle est particulièrement constante quel que soit l'essence considéré. $\varphi_c = 1530 \text{ kg/m}^3$.
 - La masse volumique du bois à l'état humide φ_w obtenue par la relation (2-7).

$$\varphi_w = \frac{M_w}{V_w} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (2-7)$$

- **L'hygroscopie :** C'est la teneur en eau ou le taux hygroscopique ou encore le taux d'humidité W (ou H) est défini par la relation (2-8).

$$W = H = \frac{(M_w - M_o) \cdot 100}{M_o} \text{ (en \%)} \quad (2-8)$$

Avec :

M_w et M_o : sont respectivement la masse à l'état humide et la masse sèche.

❖ Propriétés mécaniques

Ces propriétés sont :

1. **La résistance à la compression** : La résistance à la compression est très différente suivant qu'il s'agit de compression parallèle ou perpendiculaire.

La formule de Hankinson permet de calculer la résistance ultime pour un angle α quelconque

fait entre l'effort et les fibres. On écrit : $f_{\alpha} = \frac{f_0 f_{90}}{f_0 \sin^2 \alpha + f_{90} \cos^2 \alpha}$

2. **La résistance à la traction** : En pratique, il est difficile de tirer parti de la pleine résistance en traction à cause des défauts locaux et des difficultés d'assemblage [12].

1.3.5 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 [12].

La relation (2-9) présente la combinaison considérée en ELS.

$$P = G + Q + W \quad (2-9)$$

La relation (2-10) présente la combinaison considérée en ELU.

$$P = 1,35 * G + 1,5 * Q + \Psi * W \quad (2-10)$$

Avec :

G : La charge permanente ;

Q : La charge d'exploitation ;

W : La charge du vent.

Chapitre 2: Méthodologie

Dans ce chapitre, nous présentons premièrement, nous présentons les principes du dimensionnement de la structure adoptée et les actions à considérer. Deuxièmement, nous présenteront le coût d'exécution de l'ouvrage et enfin, le planning des travaux.

2.1 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, fermes, poutres et colonnes (ossature) des bâtiments étudiés. L'étape de prédimensionnement précède celle du dimensionnement, et fournit les dimensions de bases sur lesquelles s'appuie l'ingénieur dans un projet [8]. 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.

a) 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 :

❖ 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.

❖ 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 [5].

b) Modèle du bâtiment

La structure considérée pour notre bâtiment est une structure porteuse, en plain-pied à usage d'abattoir dont une partie est en béton armé et l'autre est en bois. Le béton et le bois sont des matériaux accessibles dans notre région. Les murs de ce bâtiment sont considérés comme non-porteurs donc ils n'assument que le rôle de remplissage et de subdivision des pièces. Le cumul des charges portées par les poteaux constitue le chargement de la fondation.

c) Caractéristiques géométriques de la structure

Les caractéristiques géométriques du bâtiment sont détaillées dans le tableau (2-2).

	Dimensions en élévation		Dimensions en élévation	
	Locaux de traitement	Hauteur du RDC	3,5	Longueur totale
Hauteur totale		7,8	Largeur totale	12,4
Etable	Hauteur du RDC	3,5	Longueur totale	21,6
	Hauteur totale	6,8	Largeur totale	18,2
Locaux administratifs et sanitaires	Hauteur du RDC	3,5	Longueur totale	30,5
	Hauteur totale	5,9	Largeur totale	7,6

Tableau 2-1: Caractéristiques géométriques de l'abattoir.

2.1.1 Prédimensionnement

Le prédimensionnement 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 prédimensionnement 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.

a) 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 et sera utilisé pour la guérite.

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 (2-6) présente un panneau de dalle.

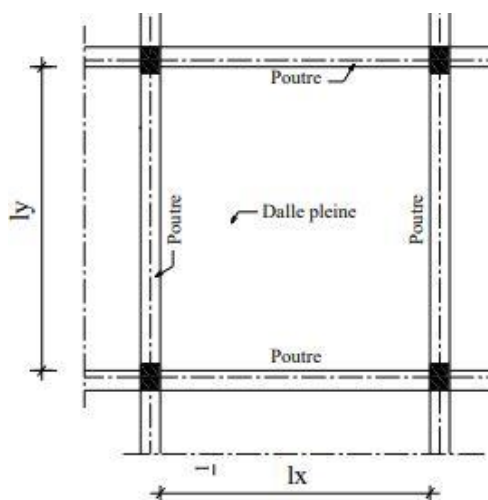


Figure 2-1: Panneau de dalle [13]

Le coefficient de portance α est donné par la relation (2-11)

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y} \leq 1 \quad (2-11)$$

Il est différent selon que la dalle est unidirectionnelle ou bidirectionnelle. Les relations (2-12) et (2-13) présentent ses intervalles d'appartenance dans les deux cas.

- $\alpha \leq 0,4$ **Pour une dalle unidirectionnelle** (2-12)

Dans ce cas, le calcul est assimilé à une poutre de largeur unitaire et de hauteur h_o

- $0,4 \leq \alpha \leq 1$ **Pour une dalle bidirectionnelle** (2-13)

L'épaisseur (ou hauteur) d'une dalle bidirectionnelle est déterminée par la relation (2-14).

$$h \geq \begin{cases} \frac{l_x}{30} & \text{Pour un panneau de dalle isolé} \\ \frac{l_x}{40} & \text{Pour un panneau de dalle continu} \end{cases} \quad (2-14)$$

b) 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 (2-7) présente la section d'une poutre.

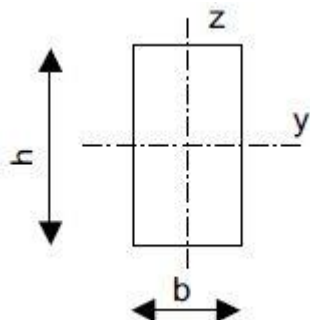


Figure 2-2: Section transversale d'une poutre [14]

Le prédimensionnement des sections de poutres est fait selon BAEL91 modifié 99 ; ainsi les dimensions de la section doivent satisfaire aux conditions reprises par les relations (2-15) et (2-16) :

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

$$\frac{2h}{5} \leq b \leq \frac{h}{2} \quad (2-16)$$

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 (2-17).

$$\left\{ \begin{array}{l} b \geq 20 \text{ cm} \\ h \geq 30 \text{ cm} \\ \frac{h}{b} \leq 4 \end{array} \right. \quad (2-17)$$

c) La ferme

Les fermes sont les poutres constituées le plus souvent, par un système triangulé dont la membrure supérieure appelée arbalétrier, est située sous la surface extérieure du comble. Les extrémités de cette membrure sont reliées à la membrure inférieure, appelée entrain, par les goussets de retombée.

Les deux membrures sont réunies par un système à treillis comprenant montants (fiches) et diagonales (contre-fiches). Les fermes prennent appuis, sur des poteaux, des poutres ou soit sur des murs. Dans ce présent travail, les fermes sont en bois et sont destinées à supporter la couverture et les charges du vent. Elles prennent appuis sur des poutres. Nous avons des fermes triangulées et des fermes à simple versant comme présenté sur les figures ci-dessous. Les éléments de la ferme sont considérés comme articulés aux nœuds.

Dans ce présent travail, les fermes sont en bois et sont destinées à supporter la couverture et les charges du vent ; Elles prennent appuis sur des poutres ; nous allons dimensionner les éléments de la ferme la plus chargée.

Nous avons des fermes triangulées et des fermes à simple versant comme présenté sur les figures (2-8) et (2-9).

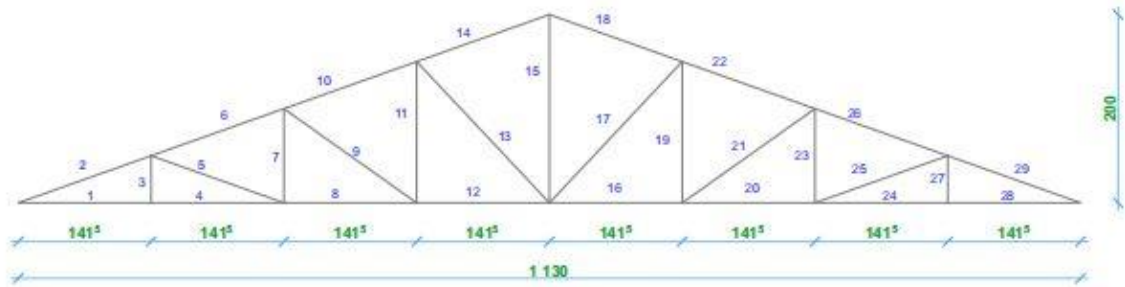


Figure 2-3 : Ferme triangulée

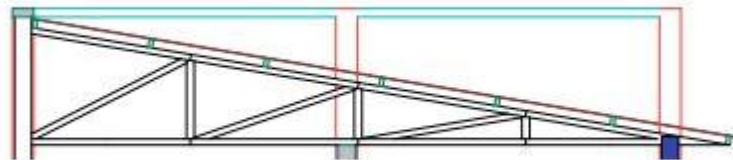


Figure 2-4 : Ferme à simple versant

Pour les éléments de charpente, la vérification de sections se fait en traction axiale, en compression simple et en flexion déviée

❖ La traction axiale

La traction axiale est une sollicitation fréquemment rencontrée dans les entrants, éléments de contreventement, membrure inférieure de poutre composite, etc. Elle provient d'une force qui étire un élément dans la direction de son axe principal. La figure (2-10) présente une pièce sollicitée en traction axiale.



Figure 2-5: Traction axiale [14]

La contrainte de traction axiale induite par la charge (la combinaison d'action à l'état limite ultime.) doit rester inférieure ou égale à la résistance en traction axiale calculée. Le taux de travail est le rapport de la contrainte induite sur la résistance calculée.

Il doit être inférieur ou égal à 1. Le taux de travail permet d'identifier très rapidement les points sensibles d'un bâtiment lorsque ce taux est proche de 1. La vérification de la section se fait par la relation (2-18) :

$$\text{Taux de travail} = \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (2-18)$$

Avec :

$\sigma_{t,0,d}$: La contrainte de traction axiale induite par la combinaison d'actions des états limites ultimes en MPa ;

$f_{t,0,d}$: La contrainte de résistance en traction axiale en MPa ;

La contrainte de traction axiale est donnée par la relation (2-19).

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} \quad (2-19)$$

Avec :

N : L'effort de traction en Newton ;

A : L'aire de la pièce en mm².

La résistance de calcul en traction est donnée par la relation (2-20)

$$f_{t,0,d} = f_{t,0,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} k_h \quad (2-20)$$

Avec :

$f_{t,0,d}$: Contrainte de résistance en traction axiale en MPa ;

$f_{t,0,k}$: Contrainte caractéristique de résistance en traction axiale en MPa ;

k_{mod} : Coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service ;

γ_M : coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau ;

k_h : coefficient de hauteur.

Pour la traction, le coefficient de hauteur k_h s'applique aux sections rectangulaires pour des essences de masse volumique inférieure à 700 kg/m³. Il dépend de la plus grande dimension de la section transversale. Il majore les résistances pour les dimensions inférieures à 150 mm pour le bois massif et 600 mm pour le bois lamellé-collé. Le risque de défauts cachés dans la structure du bois est moins important pour les petites sections que pour les grandes sections [14].

Le coefficient de hauteur pour du bois massif est calculé par la relation (2-21) :

$$\begin{cases} \text{Si } h \geq 150 \text{ mm}, & k_h = 1 \\ \text{Si } h \leq 150 \text{ mm}, & k_h = \min \left(1, 3 ; \left(\frac{150}{h} \right)^{0,2} \right) \end{cases} \quad (2-21)$$

Avec :

h : La plus grande dimension de la section de la pièce en mm.

❖ Compression axiale avec risque de flambement

Les éléments sollicités en compression axiale sont généralement des poteaux, des montants de maison à ossature bois, des éléments de contreventement, etc. la compression axiale dans une barre est provoquée par deux forces de même direction et de sens opposé qui raccourcissent les fibres. Il est nécessaire d'analyser le risque de flambage dans les deux directions de la section (y et z) et de considérer le cas le plus défavorable. La figure (2-11) présente une pièce sollicitée en compression axiale.

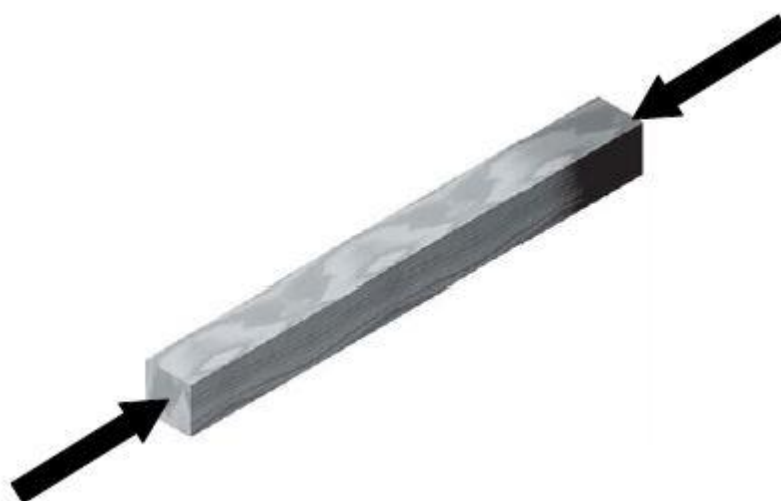


Figure 2-6 : Compression axiale [14].

La contrainte de compression axiale induite par la charge doit rester inférieure ou égale à la résistance de compression axiale calculée. S'il y a un risque de flambement, la résistance de compression sera diminuée par le coefficient $k_{c,z}$ ou $k_{c,y}$. La vérification de la section se fait par la relation (2-22).

$$\text{Taux de travail} = \frac{\sigma_{t,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{t,0,d}} \leq 1 \quad (2-22)$$

Avec :

$\sigma_{t,0,d}$: La contrainte de compression axiale induite par la combinaison d'action des états limites ultimes en MPa. Elle est donnée par la relation (2-23).

$k_{c,y}$ ou $k_{c,z}$: égal à 1 s'il n'y a pas de risque de flambement, sinon au coefficient de flambement le plus défavorable, selon l'axe y ou z. Il est calculé par la relation (2-25).

La contrainte de compression axiale induite par la combinaison d'action des états limites ultimes est donnée par la relation (2-23).

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N}{A} \quad (2-23)$$

Avec :

N : effort de compression en Newton ;

A : L'aire de la pièce en mm² ;

$\sigma_{t,0,d}$: La résistance de compression axiale calculée en MPa ;

Le coefficient $k_{c,y}$ ou $k_{c,z}$ est calculé par la relation (2-24).

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (2-24)$$

Le coefficient k est donné par la relation (2-25).

$$k_y = 0,5 [1 + \beta_c (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] \quad (2-25)$$

Avec :

β_c qui est égale à 0.2 pour le bois massif et 0,1 pour le bois lamellé-collé ; le coefficient $k_{c,z}$ se calcule sur le même principe, mais par rapport à l'axe z.

λ_{rel} : Prise en compte du flambage d'une pièce rectangulaire avec la même longueur de flambement dans les deux directions de la section (y et z) ; Il y a risque de flambage si l'élanement relatif $\lambda_{rel\ max} > 0,3$.

La contrainte de calcul en compression axiale est donnée par la relation (2-24).

$$f_{c,0,d} = f_{c,0,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \quad (2-26)$$

Avec :

$f_{c,0,d}$: La contrainte de calcul en compression axiale en MPa

$f_{c,0,k}$: contrainte caractéristique de résistance en compression axiale en MPa.

k_{mod} : coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée et de la classe de service.

γ_M : coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau.

Le flambement correspond à l'instabilité d'une pièce soumise à la compression axiale ; Il y a risque de déplacement selon l'élanement minimum de la pièce. Une pièce rectangulaire présente deux directions principales d'inertie suivant les axes y et z. Sur le schéma ci-dessous, l'axe z est dans la même direction que la hauteur. Le risque de flambement sera plus important autour de cet axe, il correspond à l'axe de rotation si le poteau flambe (pour des liaisons identiques selon les axes y et z) [14]. La figure (2-12) représente les axes de la section d'une pièce sollicitée en compression.

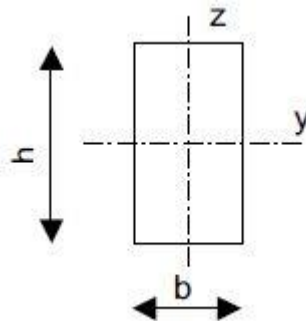


Figure 2-7 : Axes y et z de la section [14]

L'élanement relatif est calculé selon un sens donné par la relation (2-27).

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} \quad (2-27)$$

Avec :

$\lambda_{rel,z}$: L'élancement relatif suivant l'axe z.

λ_z : L'élancement mécanique suivant l'axe z.

$f_{c,0,k}$: La contrainte caractéristique de résistance en compression axiale en MPa.

$E_{0,05}$: module axial au 5e pourcentile en MPa.

La longueur de flambement est fonction de la longueur initiale de la pièce et des liaisons à ses extrémités ; Elle est donnée par la relation (2-28) :

$$L_f = \mu \cdot L_0 \quad (2-28)$$

Le coefficient μ est repris sur la figure (2-13).

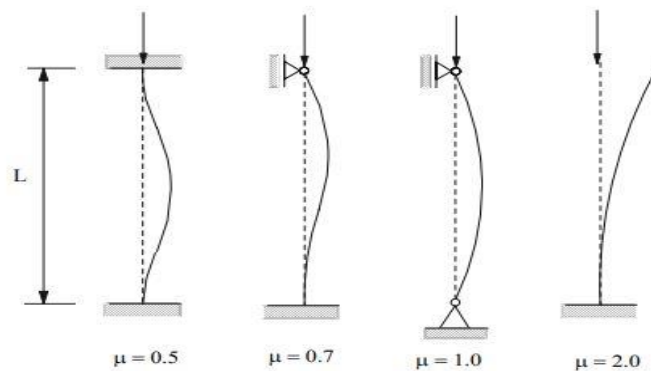


Figure 2-8: Valeurs de coefficients [14]

L'élancement mécanique suivant les deux axes (y et z) est calculé par la relation (2-29)

$$\lambda = \frac{L_f}{i} \quad (2-29)$$

Le rayon de giration est donné par la relation (2-30)

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2-30)$$

Le moment d'inertie est calculé suivant les deux directions suivant la relation (2-31).

$$I = \frac{b h^3}{12} \quad (2-31)$$

Avec :

i : Le rayon de giration de la section de l'élément sollicité en compression.

I : Le moment d'inertie de la section.

❖ La flexion déviée

La flexion déviée est le résultat de l'action des forces extérieures agissant suivant un plan différent de ceux des axes principaux de la poutre ; Elle correspond à l'existence simultanée de deux moments de flexions. Par exemple une panne d'une toiture inclinée soumise à une charge verticale. La charge inclinée par rapport à la section se décompose en une charge projetée sur l'axe z et une charge projetée sur l'axe y. Les contraintes de flexion induites s'additionnent car elles sont normales à la coupe, c'est-à-dire sur l'axe x [14]. La figure (2-14) présente une poutre sollicitée en flexion déviée.

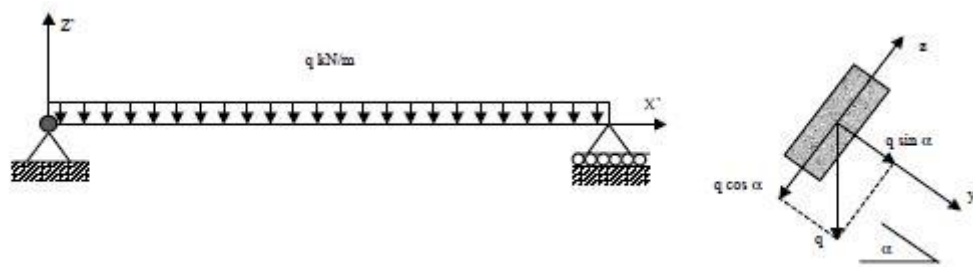


Figure 2-9: Décomposition de la charge [14]

La justification des poutres doit être réalisée sur le critère de résistance, l'effet des actions ne doit pas entraîner des contraintes supérieures à la résistance de calcul de la poutre et sur le critère déformation, la flèche de la poutre ne doit pas dépasser une valeur limite.

➤ **Vérification des contraintes**

Les deux contraintes de flexion sont induites par la charge calculée aux ELU, la somme de ces deux rapports doit rester inférieure à 1. Pour les deux axes, la contrainte de flexion induite est divisée par la contrainte de résistance de flexion ; Un coefficient k_m diminue le ratio le plus petit. Ce coefficient traduit la possibilité de redistribution des contraintes maximales situées sur l'arête tendue.

La vérification des contraintes en flexion déviée se fait par la relation (2-32).

$$\text{Taux de travail} = \text{Max} \left[\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} ; k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \right] \leq 1 \quad (2-32)$$

Avec :

$\sigma_{m,z,d}$: La contrainte de flexion en MPa, correspondant à une déformation dans le plan xy donc aux efforts projetés sur y et une rotation autour de l'axe z.

$f_{m,z,d}$: La résistance de flexion calculée en MPa de l'axe z.

$\sigma_{m,y,d}$: La contrainte de flexion en MPa, correspondant à une déformation dans le plan xz, donc aux efforts projetés sur z et une rotation autour de l'axe y.

$f_{m,y,d}$: résistance de flexion calculée en MPa de l'axe y.

k_m : coefficient de redistribution des contraintes maximales valant 0,7 pour une section rectangulaire.

La contrainte $\sigma_{m,y,d}$ induite par la charge projetée sur l'axe z ; est donnée par la relation (2-33).

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{f,y}}{\frac{I_{G,y}}{V}} \quad (2-33)$$

Avec :

$M_{f,y}$: Le moment de flexion.

$\frac{I_{G,y}}{V}$: Le module d'inertie, qui est égale à $\frac{bh^2}{6}$ pour une section rectangulaire (hauteur sur l'axe z).

Pour une poutre sur deux appuis avec une charge uniformément répartie ; le moment de flexion est donné par la relation (2-34).

$$M_{f,y} = \frac{q_z \cdot L^2}{8} \quad (2-34)$$

Avec :

q_z : charge linéique de poutre en N/mm sur l'axe z ;

L : distance entre appuis en mm.

La contrainte induite par la charge projetée sur l'axe y est donnée par la relation (2-35).

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{f,z}}{\frac{I_{G,z}}{V}} \quad (2-35)$$

Avec :

$M_{f,z}$: moment de flexion.

$\frac{I_{G,z}}{V}$: module d'inertie, qui est égale à $\frac{bh^2}{6}$ pour une section rectangulaire (base sur l'axe y).

Le moment de flexion pour une poutre sur deux appuis avec une charge uniformément répartie est donné par la relation (2-36).

$$M_{f,z} = \frac{q_y \cdot L^2}{8} \quad (2-36)$$

Avec :

q_y : charge linéique de poutre en N/mm sur l'axe y ;

L : distance entre appuis en mm.

La résistance de calcul en flexion est donnée par la relation (2-37)

$$f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = f_{m,k} \frac{k_{mod}}{\gamma_M} k_{sys} \cdot k_h \quad (2-37)$$

Avec :

$f_{m,k}$: résistance caractéristique en flexion en MPa.

k_{mod} : coefficient modificatif en fonction de la charge de plus courte durée (la charge de neige) et de la classe de service.

γ_M : coefficient partiel qui tient compte de la dispersion du matériau.

k_{sys} : le coefficient d'effet système est égal à 1,1. Il apparaît lorsque plusieurs éléments porteurs de même nature et de même fonction sont sollicités par un même type de chargement uniformément réparti.

k_h : coefficient de hauteur qui est égal à 1 lorsque la hauteur de la poutre est supérieure à 150 mm.

➤ Vérification des déformations

La deuxième vérification concerne la déformation. L'état limite de service est respecté lorsque les déformations restent inférieures aux valeurs admises. Il faut vérifier que la flèche provoquée par les actions appliquées à la structure reste inférieure ou égale à la flèche limite en se servant des relations (2-38), (2-39) et (2-40).

$$\frac{W_{inst}(Q)}{W_{verticale\ ou\ horizontale\ limite}} \leq 1 \quad (2-38)$$

$$\frac{W_{net,fin}}{W_{verticale\ ou\ horizontale\ limite\ net\ finale}} \leq 1 \quad (2-39)$$

$$\frac{W_{fin}}{W_{verticale\ ou\ horizontale\ limite\ finale}} \leq 1 \quad (2-40)$$

Avec :

$W_{inst}(Q)$: La flèche instantanée provoquée par l'ensemble des charges variables au moment de leur application.

$W_{net,fin}$: La flèche nette finale (totale) mesurée sous les appuis.

La flèche totale est déterminée par la relation (2-41) :

$$W_{net,fin} = W_{inst} + W_{creep} - W_c \quad (2-41)$$

Avec :

W_{inst} : flèche instantanée, provoquée par l'ensemble des charges sans tenir compte de l'influence de la durée de la charge et de l'humidité du bois sur la flèche.

W_{creep} : flèche différée provoquée par la durée de la charge et l'humidité du bois.

W_c : contre-flèche fabriquée.

La figure (2-15) illustre la flèche nette finale d'une pièce en bois.

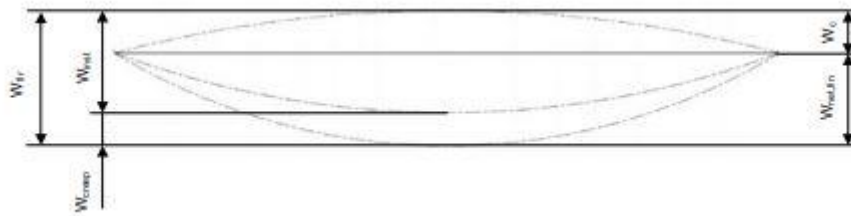


Figure 2-10: La flèche nette finale [14]

La flèche finale est donnée par la relation (2-42).

$$W_{fin} = W_{inst} + W_{creep} \quad (2-42)$$

Avec :

W_{fin} : La flèche finale.

W_{inst} : La flèche instantanée.

W_{creep} : La flèche différée.

Lorsque la contreflèche est nulle, la vérification de la flèche nette finale $W_{net,fin}$ est prépondérante devant la vérification de la flèche finale. La flèche instantanée est calculée avec la combinaison ELS (INST(Q)). L'action permanente (poids de la structure par exemple) n'est pas prise en compte et l'action variable de base (charge d'exploitation par exemple) n'est pas pondérée.

La flèche instantanée est donnée par la relation (2-43).

$$W_{inst}(Q) = \frac{5q_{inst(Q)} \cdot L^4}{384E_{0,mean} \cdot I} \quad (2-43)$$

Avec :

W : La flèche en mm.

$q_{inst(Q)}$: Charge linéique en N/mm provoquée par les actions variables.

L : Distance entre appuis en mm.

$E_{0,mean}$: Module moyen axial en MPa.

I : Moment quadratique en mm^4

La flèche différée est calculée avec la combinaison ELS (DIFF) et elle est donnée par la relation (2-44).

$$q_{diff} = k_{def}(G + \psi Q) \quad (2-44)$$

Avec :

k_{def} : Le coefficient de fluage qui est fonction du bois utilisé

ψ : Le coefficient de simultanéité

En flexion déviée, cette vérification se fait selon les deux sens de décomposition de la charge (x et y). La flèche totale est donnée par la relation (2-45) :

$$W_{Total} = \sqrt{W_z^2 + W_y^2} \quad (2-45)$$

Avec W_z et W_y , les flèches obtenues dans les deux directions.

La flèche provoquée par l'effort tranchant est négligée. Elle représente pour les applications courantes 2 à 5 % de la flèche totale. Il est préférable de la calculer lorsque le taux de travail dépasse 0,95 ou si les charges sont importantes et la distance entre appuis courte (linteau reprenant une descente de charge d'une panne faîtière par exemple) [14].

Le tableau (2-3) présente les valeurs de flèches limites.

Tableau 2-2 : Valeurs limites pour les flèches verticales et horizontales [14].

	Bâtiments courants			Bâtiments agricoles et similaires		
	$W_{inst}(Q)$	$W_{net,fin}(Q)$	W_{fin}	$W_{inst}(Q)$	$W_{net,fin}(Q)$	W_{fin}
Chevron	—	$\frac{L}{150}$	$\frac{L}{150}$	—	$\frac{L}{150}$	$\frac{L}{150}$
Eléments structuraux	$\frac{L}{300}$	$\frac{L}{200}$	$\frac{L}{125}$	$\frac{L}{200}$	$\frac{L}{150}$	$\frac{L}{100}$

d) 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 (2-46) jusqu'à la relation (2-49).

- $Min(b_1, h_1) \geq 25 \text{ cm}$ En zones de sismicité I et II (2-46)

- $Min (b_1, h_1) \geq 30 \text{ cm}$ En zones de sismicité III (2-47)

- $Min (b_1, h_1) \geq \frac{h_e}{20}$ (2-48)

- $\frac{1}{4} < \frac{b_1}{h_1} < 4$ (2-49)

Avec :

h_e : la hauteur comptée entre les faces supérieures et inférieures de deux planchers consécutifs.

Pour le prédimensionnement des poteaux on suppose que ces derniers sont soumis à une compression centrée. Le prédimensionnement se fait pour le poteau le plus chargé et la section obtenue sera généralisée pour les autres poteaux du même niveau.

❖ Le coffrage

La contrainte du poteau doit être inférieure à la contrainte du béton comme illustré par la relation (2-50). La section est donnée par la relation (2-51).

$$\frac{N}{S} \leq \sigma_b \quad (2-50)$$

$$\frac{N}{\sigma_b} \leq S \quad (2-51)$$

Avec :

N : La charge axiale sur le poteau

S : La surface du poteau

❖ Vérification du poteau au flambement

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 (2-52).

$$L_f = K \cdot L_o \quad (2-52)$$

Avec :

L_0 : 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_0 » 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.

Pour un poteau d'élanement « λ » la section rectangulaire de dimension « $b \cdot h$ » est vérifiée par les relations (2-53), (2-54) et (2-55).

$$\lambda = \frac{L_0}{i} \leq 50 \quad (2-53)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2-54)$$

$$I = \frac{b h^3}{12} \quad (2-55)$$

Avec :

$$h \leq b.$$

A : 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.

❖ Calcul des armatures longitudinales

L'effort normal ultime agissant « Nu » sur un poteau est donné dans l'expression suivante :

$$N_u \leq \alpha \left[\frac{Br \cdot f_{c28}}{0,9 \gamma_b} + \frac{A \cdot Fe}{\gamma_s} \right] \quad (2-56)$$

Avec :

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

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

$\gamma_b = 1,5$;

$\gamma_s = 1,15$;

f_{c28} : La résistance du béton à la compression à 28 jours d'âge ;

Fe : La limite d'élasticité de l'acier

α : Le coefficient de correction, il varie selon l'élançement mécanique « λ » ; Ses valeurs sont définies par obtenues par les relations (2-57) et (2-58).

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35} \right)^2} \quad \text{Pour } \lambda \leq 50 \quad (2-57)$$

$$\alpha = 0,6 \left(\frac{50}{\lambda} \right)^2 \quad \text{Pour } 50 \leq \lambda \leq 70 \quad (2-58)$$

Avec :

λ : L'élançement mécanique du poteau.

La section d'armatures longitudinales est donnée par la relation (2-59)

$$A \geq \frac{\gamma_s}{Fe} \left[\frac{N_u}{\alpha} - \frac{Br \cdot f_{c28}}{0,9 \gamma_b} \right] \quad (2-59)$$

Avec :

$$A_{min} \leq A \leq A_{max}$$

Les sections minimales et maximales des armatures sont données respectivement par les relations (2-60) et (2-61).

$$A_{min} = \max \left[\frac{4cm * Perimètre}{100}; \frac{0,2.B}{100} \right] \quad (2-60)$$

$$A_{max} = \frac{5.B}{100} \quad (2-61)$$

Avec :

B : La section du poteau

❖ Calcul des armatures transversales

Le diamètre des armatures transversales est donné par la relation (2-62)

$$\frac{\emptyset L_{max}}{3} \leq \emptyset_t \quad (2-62)$$

Avec :

$\emptyset L_{max}$: Le diamètre maximale des armatures longitudinales

L'espacement des cadres est donné par la relation (2-63).

$$S_t \leq \min[15\emptyset ; 40 \text{ cm} ; (a + 10 \text{ cm})] \quad (2-63)$$

Avec :

a : Le petit côté de la section du poteau

e) 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 (2-16) présente une semelle isolée.

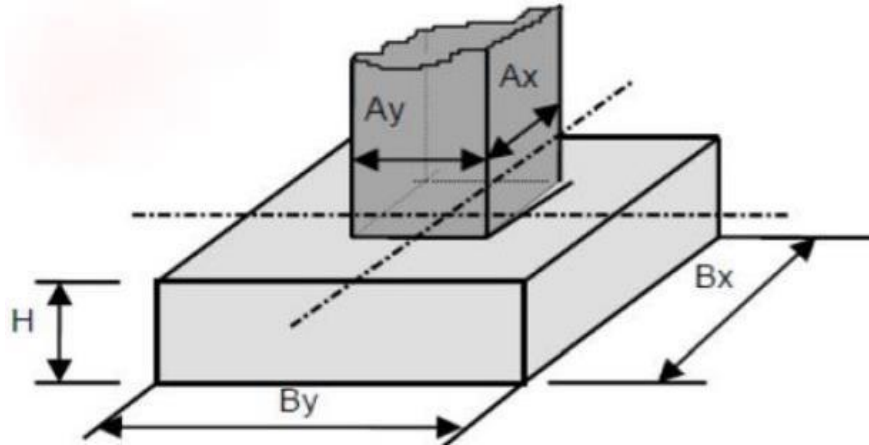


Figure 2-11 : Perspective d'une semelle isolée [15]

Nu est l'effort ultime que reprend la fondation, il est obtenu à partir de la descente des charges. Le prédimensionnement des semelles isolées se fait en respectant les conditions du tableau (2-4).

Tableau 2-3 : Prédimensionnement des semelles [15]

Homothétie	$\frac{B_x}{B_y} = \frac{A_x}{A_y}$	(2-64)
Rigidité	$\frac{B_x - A_x}{4} + 5 \text{ cm} \leq H$	(2-65)
Contrainte	$\frac{N_u}{S} \leq \bar{\sigma}_{sol} \Rightarrow S = \frac{N_u}{\bar{\sigma}_{sol}}$	(2-66)

f) Le volume de la chambre froide

Le volume de la chambre froide dépend du nombre d'animaux abattus par jour ainsi que du temps de séjour des carcasses dans la chambre froide. Le volume est trouvé par la formule (2-67).

$$V = N_{carcasses} \cdot V_{unitaire} \cdot \text{Marge de circulation} \quad (2-67)$$

Avec :

$N_{carcasses}$: Le nombre de carcasses

$V_{unitaire}$: Le volume unitaire (0,2 à 0,3 m³ par ovin et 2 à 2,5 m³ par bovin)

Marge de circulation : Estimée à 1,3 [16].

g) Le nombre d'animaux abattus journalièrement

Le traitement journalier trouvé sur terrain est de 10 et 70 respectivement pour les bovins et les ovins. La production est projetée dans l'avenir pour une durée de vingt ans avec un taux de croissance annuel de 3%. Elle est donnée par la relation (2-68).

$$P = \frac{P_o * (1 + \alpha)^\beta}{303} \quad (2-68)$$

Avec :

P : Le nombre d'animaux traités journalièrement après vingt ans.

P_o : Le nombre initial d'animaux traités annuellement

α : Le taux de croissance annuel

β : Le nombre d'année

2.1.2 Actions sur le bâtiment

Les actions sont un ensemble de forces appliquées à la structure. Les charges qui seront appliquées à notre bâtiment, en plain-pied à usage d'abattoir 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, celui des équipements fixes, les efforts (poids, poussées, pressions) dus à

des terres ou liquides dont les niveaux varient peu, les efforts dus aux déformations imposées en permanence à la construction.

Les charges d'exploitation (Q) sont constituées par le poids des équipements, des animaux, des utilisateurs et les actions du vent, elles ont comme valeurs :

- 5 kN/m^2 : Pour la circulation intérieure d'un bâtiment public.
- 4 kN/m^2 : Pour l'escalier [11].
- $0,75 \text{ kN/m}^2$: Pour un plancher inaccessible, sauf pour entretien [11].
- $0,4 \text{ kN/m}$: Pour la chaîne de convoyeur et ses accessoires.
- $3,5 \text{ kN}$: Pour une carcasse de vache [3].

Pour les toitures de catégorie H (Toitures inaccessibles sauf pour entretien et réparations courants) l'Eurocode 5 prévoit les valeurs ci-dessous :

- $0,8 \text{ kN/m}^2$: Pour les toitures de pente inférieure à 15 % recevant une étanchéité et
- 0 kN/m^2 : Pour les autres toitures.

Le tableau ci-dessous (2-5) donne les poids les poids volumiques et/ou surfaciques des différents matériaux utilisés [11] :

Matériaux	Epaisseurs (cm)	Poids volumique (kN / m ³)	Poids Surfacique (kN/ m ²)
Blocs creux (15x20x40)	15	9	
Enduit de ciment	5	18	
Carrelage + Mortier de pose	1		0,2
Bois massif		4,2 (C24)	
Tôles en acier	0,5		0,0543
Béton armé	20	25	

Tableau 2-4: Poids volumique des matériaux [11] [14]

Le feu, les chocs de véhicules, le risque d'explosions, la remontée exceptionnelle de la nappe phréatique sont des exemples d'actions accidentelles nommées A. Enfin, le risque de tremblement de terre est pris en compte par les actions sismiques nommées A_E.

L'action du vent influence aussi les charges d'exploitation en une composante dynamique. Pour des nombreuses structures, l'effet dynamique peut être négligé, une étude détaillée sera requise dans les structures élancées et flexibles. Selon la norme NV65, l'effet du vent est calculé par la relation (2-69).

$$q_v = 2,5 \frac{h + 18}{h + 60} q_{10} \quad (2-69)$$

Avec :

q_{10} : La pression dynamique de base ; Sa valeur est de 90 daN /m² (Valeur minimale) ou 157,5 daN /m² (Valeur extrême).

h : La hauteur au-dessus du sol

Le calcul de la pression due aux vents qui s'exercent sur un ouvrage est fonction de l'exposition de l'ouvrage, de la direction du vent et de la géométrie de l'ouvrage.

2.1.3 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 [17].

Le dimensionnement des éléments en bois a été fait à la main. Après, les sollicitations, le ferrailage, 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 utilisés 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 suivant : BAEL 91 mod. 99
- Dispositions sismiques : non
- Poutres préfabriquées : non
- Enrobage : Aciers inférieurs $c = 2,0$ (cm)
: latéral $c_1 = 2,0$ (cm)
: supérieur $c_2 = 2,0$ (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 : 0,80 (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 25,0 x 25,0 (cm)
- Epaisseur de la dalle = 0,20 (m)

- Sous dalle = 3,30 (m)
- Sous poutre = 3,10 (m)
- Enrobage = 2,0 (cm)
- Calculs suivant : BAEL 91 mod. 99
- Dispositions sismiques : non
- Poteau préfabriqué : non
- Tenue au feu : forfaitaire
- Prédimensionnement : non
- Prise en compte de l'élanement : oui
- Compression : simple
- Cadres arrêtés : sous plancher
- Plus de 50% des charges appliquées: : après 90 jours

2.2 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 charpentes en bois, les éléments structuraux en béton, la maçonnerie et la peinture [18].

2.3 Le planning de travaux

Le diagramme de GANTT (ou chronogramme) 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 ».

Tracer un diagramme de GANTT consiste à représenter, dans un tableau, les tâches en ordonnée et les unités de temps en abscisse (jours, semaines, mois, années). Sur chaque tâche, une barre horizontale est tracée dont la longueur précise sa durée. Sa position précise sa date de début, et

sa date de fin. Les tâches peuvent se succéder ou être en parallèle (on parle de chevauchement). La représentation graphique permet une bonne visualisation de l'ensemble [19].

Chapitre 3: Présentation et interprétation des résultats

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.

3.1 Conception architecturale

3.1.1 Justification

Le nombre d'animaux abattus journalièrement est calculé en utilisant la relation (2-68).

➤ Pour les ovins :

$$P = \frac{21210 * (1 + 0,03)^{20}}{303} = 126,42$$

Nous considérons 127 bêtes.

➤ Pour les bovins :

$$P = \frac{3030 * (1 + 0,03)^{20}}{303} = 18,06$$

Nous considérons 19 bêtes.

Le volume de la chambre froide est donné par la relation (2-67).

$$V = [(127 * 0,25) + (19 * 2,3)] * 1,3$$

$$V = 98,08 \text{ m}^3$$

Nous avons trois chambres froides dont les surfaces sont respectivement : 10,8 m², 10,6 m² et 10 m² pour une hauteur sous dalle de 3,35 m pour un volume de 106 m³

La structure est constituée de trois blocs dont deux salles de stabulation ; les salles de traitements et la partie administrative. La hauteur sous-plafond de la structure est de 3,3 m sauf pour les salles d’abattage et de traitement où nous avons une hauteur de 6,8 m. Le plan de l’ouvrage a été réalisé à partir du logiciel DAO ArchiCAD 24 et est présenté ci-dessous sur la figure 3-1 ; les vues 3D de l’ouvrage seront présentées en annexe.

3.1.2 Plan architectural

Le plan architectural de l’ouvrage est présenté sur la figure (3-1).

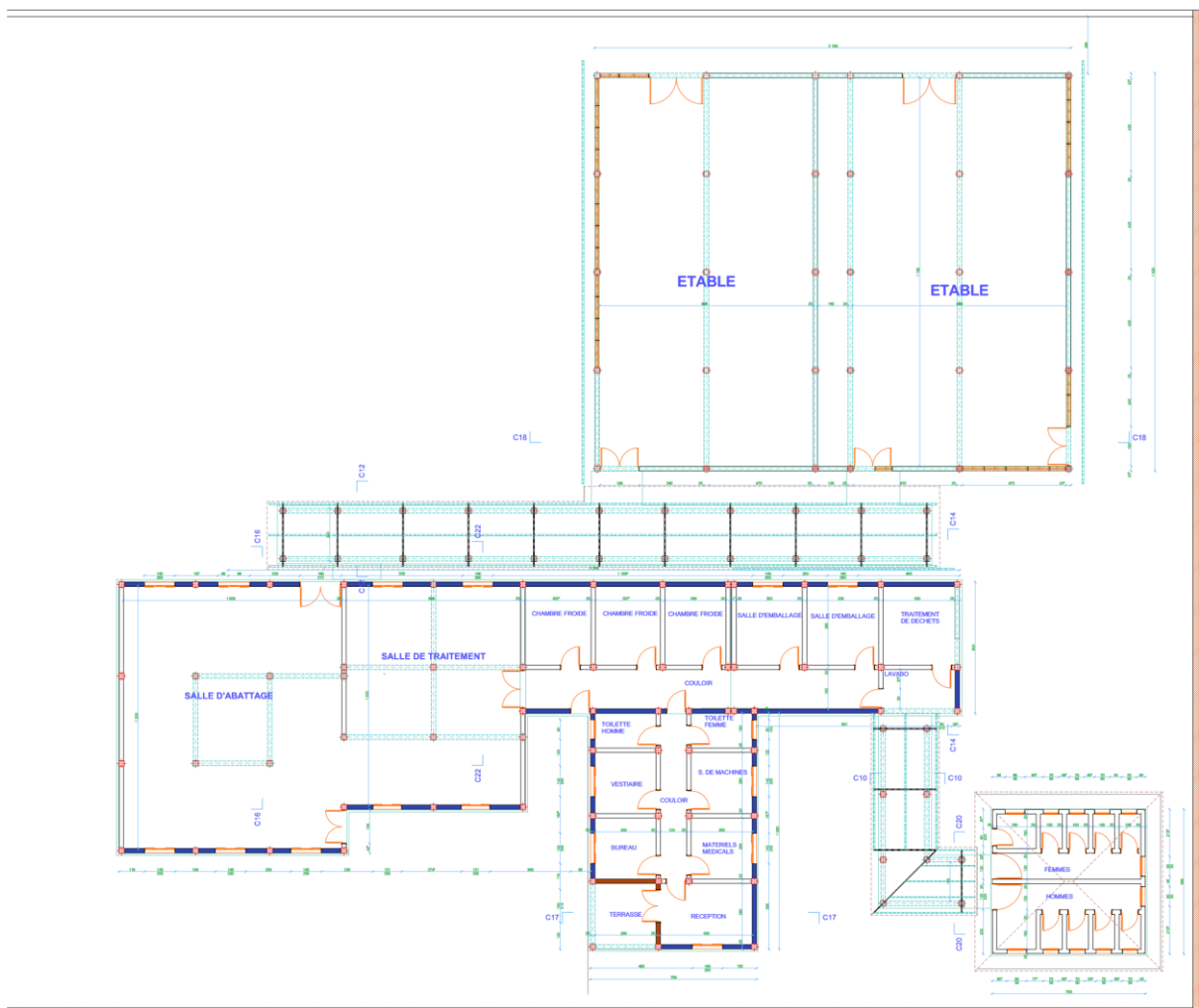


Figure 3-1: Vue en plan du bâtiment

3.2 Dimensionnement

3.2.1 Prédimensionnement

a) La dalle

Le coefficient de portance est donné par la relation (2-11) :

$$\alpha = \frac{3,6}{3,9} = 0,92$$

On en déduit que la dalle est bidirectionnelle car $0,4 \leq \alpha \leq 1$

L'épaisseur de la dalle est donnée par la relation (2-13) :

$$h \geq \frac{3,6}{30} \Rightarrow h \geq 0,12 \text{ m}$$

On considère une hauteur de 20 cm pour faciliter l'ancrage des chaînes de convoyeur.

b) La poutre

Le prédimensionnement des sections de poutres est fait selon BAEL91 modifié 99 ; ainsi les dimensions de la section doivent satisfaire aux conditions reprises par les relations (2-15) et (2-16) :

$$\frac{4,75}{15} \leq h \leq \frac{4,75}{10} \Rightarrow 0,31 \leq h \leq 0,47$$

On considère une hauteur de 40 cm.

$$\frac{2 \times 0,4}{5} \leq b \leq \frac{0,4}{2} \Rightarrow 0,16 \leq b \leq 0,2$$

On considère une base de 20 cm.

c) La colonne

La colonne la plus chargée supporte une surface des charges dues à une dalle dont la surface d'influence est de $14,35 \text{ m}^2$; Les côtés ont comme valeurs $3,5 \text{ m}$ et $4,1 \text{ m}$; un poteau de $3,5 \text{ m}$ de hauteur et $0,25 \text{ m}$ de côté.

La longueur totale des retombées est de 15,2 m pour une hauteur de 0,20 m. Le poids de la chaîne de convoyeur est de 0,4 kN/m ; celui de la carcasse de vache est de 3,5 kN. Cette surface peut recevoir 5 carcasses pour un poids total de 17,5 kN et 1,64 kN pour la chaîne. On multiplie le poids des carcasses par un 1,3 pour tenir compte des mouvements des carcasses. Le poids du carrelage (et du mortier de pose) est de 0,2 kN/m²

Les charges permanentes sont :

$$G_{colonnes} = \gamma_b \cdot V$$

$$G_{colonnes} = 25 * 2 * (0,25 * 0,25 * 3,5) = 10,9375 \text{ kN}$$

$$G_{dalle} = \gamma_b \cdot e \cdot S_{influence}$$

$$G_{dalle} = 25 * 0,20 * 14,35 = 71,75 \text{ kN}$$

$$G_{retombée} = \gamma_b \cdot V$$

$$G_{retombée} = 25 * 15,2 * 0,20 = 76 \text{ kN}$$

$$G_{carrelage} = q \cdot S_{influence}$$

$$G_{carrelage} = 0,2 * 14,35 = 2,87 \text{ kN}$$

La charge permanente totale est :

$$G_{totale} = G_{colonnes} + G_{dalle} + G_{retombée} + G_{carrelage}$$

$$G_{totale} = 10,9375 + 71,75 + 76 + 2,87 + 1,64 = 163,1975 \text{ kN}$$

La charge d'exploitation est :

$$Q = (0,75 * S_{influence}) + (1,3 * 17,5)$$

$$Q = (0,75 * 14,35) + (1,3 * 17,5) = 33,51 \text{ kN}$$

La charge totale est :

$$N = G + Q$$

$$N = 162,62 + 33,51 = 196,13 \text{ kN}$$

La charge ultime est :

$$N_u = (1,35 * G) + (1,5 * Q)$$

$$N_u = (1,35 * 162,62) + (1,5 * 33,51)$$

$$N_u = 269,802 \text{ kN}$$

La section du poteau est donnée par la relation (2-48)

$$b \cdot h \geq \frac{269802}{\frac{25 * 0,85}{1,5}} \Rightarrow b \cdot h \geq 19044,84 \text{ mm}^2$$

$$b = h \geq \sqrt{19044,84} \Rightarrow h = b \geq 138,00 \text{ mm}$$

D'où la colonne aura comme côté : $h = 25 \text{ cm}$

Le moment d'inertie de la section est donné par la relation (2-52)

$$I = \frac{25 * 25^3}{12} = 32552,083 \text{ cm}^4$$

Le rayon de giration est donné par la relation (2-51)

$$i = \sqrt{\frac{32552,083}{25 * 25}} = 7,21 \text{ cm}$$

L'élançement est donné par la relation (2-50)

$$\lambda = \frac{0,7 * 350}{7,21} = 33,98$$

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

d) La fondation

Le poids du socle de poteau est obtenu en multipliant le poids volumique du béton par le volume du socle.

$$P = \gamma_b \cdot S \cdot V$$

$$P = 25000 * 0,25 * 0,25 * 1,6 = 2500 \text{ N}$$

La condition d'équilibre est donnée par la relation (2-66), elle permet de trouver la surface minimale de la semelle ; avec la capacité portante de 1,8 MPa pour le sol de Goma [15].

On obtient les côtés de la semelle en utilisant la relation d'homothétie (2-64)

Les résultats du prédimensionnement sont repris dans le tableau (3-1).

Tableau 3-1: Résultats du prédimensionnement.

Désignation	Section	
	Base (cm)	Hauteur (cm)
Poteau	25	25
Poutre	20	40
Panne	5	10
Entrain, arbalétrier, fiches, contre-fiche et poinçon	5	15
Dalle	-	20
Semelle	40	15

Les éléments structuraux en béton armé ont été prédimensionnés à la main selon les prescriptions de la norme BAEL 91 R 99 ; quant aux éléments en bois, nous nous sommes référés aux sections normalisées de pièces en bois. Leurs valeurs ont servi comme base pour le dimensionnement.

3.2.2 Dimensionnement de la ferme avec l’Eurocode 5

a) La panne

Le tableau (3-2) présente la contrainte de calcul en flexion suivant les deux directions de la section, la résistance de calcul de la panne en flexion, le taux de travail et l’observation après la vérification de la section.

Tableau 3-2 : Vérification de la section de la panne en ELU

Contraintes (MPa)		Résistance de calcul ($f_{m,y,d} = f_{m,z,d}$)	Taux de travail (%)	Observation
$\sigma_{m,z,d}$	0,705	13,15	85	Nous pouvons adopter la section
$\sigma_{m,y,d}$	11,29			

La contrainte $\sigma_{m,z,d}$ est de loin inférieure à $\sigma_{m,y,d}$ à cause de la faible l'inclinaison de la toiture et la direction du vent prise perpendiculaire au versant. Comme nous avons un taux de travail inférieur à 95% alors nous ne tiendrons pas compte de la flèche due à l'effort tranchant.

Le tableau (3-3) donne les flèches obtenues, les flèches limites et l'observation après vérification.

Tableau 3-3 : Vérification des déformations de la panne en ELS.

Flèches obtenues (mm)		Flèches limites (mm)	Vérification	Observation
W_{inst}	8,12	12,5	0,64	Vérifiée
W_{fin}	10,99	16,66	0,65	Vérifiée

Les flèches dues aux combinaisons de charges n'ont pas atteint les valeurs limites, ce qui indique qu'une déformation excessive n'est pas à craindre pour les pannes.

b) La fiche, la contre-fiche, l'entrain et l'arbalétrier

Le tableau (3-4) présente les efforts obtenus dans la ferme.

Tableau 3-4 : Les efforts dans les barres de la ferme

Numéros	Efforts (N)	Observations
1	-5159,54	Compression

2	4929,47	Traction
3	0	
4	-5159,54	Compression
5	-5455,4	Compression
6	9281,72	Traction
7	1820,15	Traction
8	-10302,3	Compression
9	6496,85	Traction
10	13816,47	Traction
11	-3753,32	Compression
12	-3805,45	Compression
13	-14,43	Compression
14	12,66	Traction
15	1313,2	Traction
16	5032,51	Traction
17	-1789,97	Compression
18	293,66	Traction
19	635,2	Traction

20	5667,7	Traction
21	-872,79	Compression
22	1006,13	Traction
23	408,06	Traction
24	6820,65	Traction
25	-1223,04	Compression
26	-712,31	Compression
27	482,17	Traction
28	6820,65	Traction
29	-1935,35	Compression

Le tableau (3-4) présente les contraintes de calcul en traction axiale et en compression ; les résistances de calcul ainsi que les observations après vérification de sections. Nous allons considérer le plus grand effort de traction de 13816,47 N dans la barre numéro 10 et 5455,4 N pour la compression dans la barre numéro 5.

Tableau 3-5 : Vérification des sections en traction axiale et en compression

Contrainte		Résistance	Taux de travail(%)	Observation
$\sigma_{t,0,d}$	1,8	6,4	28	On adopte la section
$\sigma_{c,0,d}$	0,72	9,6	44	On adopte la section

Les taux de travail en compression comme en traction sont inférieurs à 50% ; Les section sont quand même maintenues pour nous permettre de compenser l'environnement agressif (humidité issue de la respiration des animaux, des urines et du nettoyage) de notre étable et les sollicitations non-prévues (On peut heurter les éléments structuraux lors du fonctionnement).

3.2.3 Résultats du calcul dans Robot structural Analysis

a) La dalle

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

❖ Evaluation du volume du béton du volume

Pour le plus grand panneau de dalle dont le volume du béton est de $43,1 m^3$.

❖ Calcul des armatures dans les deux sens

Le tableau (3-5) donne les sections d'aciers théoriques ainsi que les espacements entre barres.

Tableau 3-6 : Sections de ferrailage de la dalle

Désignation		Section (cm^2/m)	Espacement(cm)
Armature inférieure	Selon x	2,02	24
	Selon y	2,02	24
Armature supérieure	Selon x	6,26	12
	Selon y	4,18	12

Sur l'étendue de la dalle, les sections d'armature en travée sont supérieures à celles obtenues aux appuis sauf pour celles reprises dans le tableau (3-5) ; Le ferrailage s'est fait avec un lit inférieur comprenant des barres de 10 mm de diamètre espacés de 24 cm.

❖ Plan de ferrailage

Les figures (3-2) et (3-3) présentent le plan de ferrailage de la dalle.

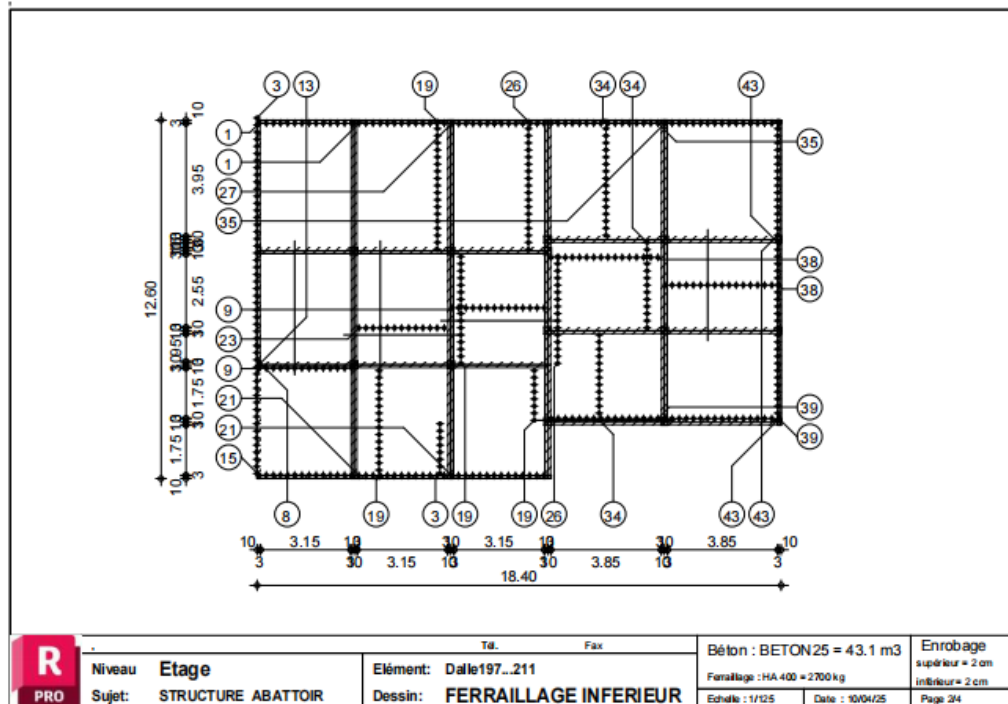


Figure 3-2: Ferrailage inférieur de la dalle

❖ L'épure d'arrêt de barres

La figure (3-4) présente les barres obtenues pour la dalle.

Pos.	Armature	Code	Forme	Pos.	Armature	Code	Forme	Pos.	Armature	Code	Forme
1	37HA 10	I#5.15	00	19	99HA 10	I#4.11	00	37	9HA 10	I#6.24	00
2	17HA 10	I#1.47	00	20	9HA 10	I#10.39	00	38	33HA10	I#3.91	00
3	27HA 10	I#3.95	00	21	27HA 10	I#4.55	00	39	33HA10	I#3.75	00
4	16HA 10	I#1.40	00	22	10HA 10	I#6.70	00	40	9HA 10	I#1.35	00
5	8HA10	I#2.39	00	23	13HA 10	I#4.71	00	41	14HA10	I#1.17	00
6	20HA 10	I#7.35	00	24	17HA 10	I#4.11	00	42	9HA 10	I#6.38	00
7	8HA10	I#2.29	00	25	8HA 10	I#1.44	00	43	43HA10	I#4.65	00
8	16HA 10	I#3.75	00	26	79HA 10	I#4.11	00	44	9HA 10	I#1.39	00
9	28HA 10	I#4.71	00	27	14HA 10	I#5.15	00				
10	16HA 10	I#3.88	00	28	24HA 10	I#9.15	00				
11	12HA 10	I#6.71	00	29	8HA 10	I#7.84	00				
12	13HA 10	I#8.55	00	30	9HA 10	I#1.55	00				
13	28HA 10	I#3.95	00	31	18HA 10	I#4.55	00				
14	53HA 10	I#1.55	00	32	27HA 10	I#8.75	00				
15	14HA 10	I#4.55	00	33	34HA 10	I#1.00	00				
16	4HA10	I#1.40	00	34	43HA 10	I#4.80	00				
17	12HA 10	I#1.55	00	35	33HA 10	I#4.75	00				
18	18HA 10	I#6.67	00	36	29HA 10	I#1.53	00				

R PRO	Niveau Etage	Tel. _____ Fax _____	Béton : BETON25 = 43.1 m3	Enrbage supérieur = 2 cm
	Sujet: STRUCTURE ABATTOIR	Elément: Dalle197...211	Ferraillage : HA 400 = 2700 kg	inférieur = 2 cm
	Dessin: NOMENCLATURE		Date : 10/04/25	Page 4/4

Figure 3-3 : Epure d'arrêt de barres

b) La poutre

Après les analyses statiques de la structure avec le logiciel RSA, nous avons trouvé que la poutre 164 a le plus grand moment en travée $M_t = 41,21 \text{ kNm}$. Lors du dimensionnement de cette poutre, la section trouvée lors du prédimensionnement a vérifié les conditions de résistance. La figure (3-5) présente la poutre la plus chargée de l'ouvrage.

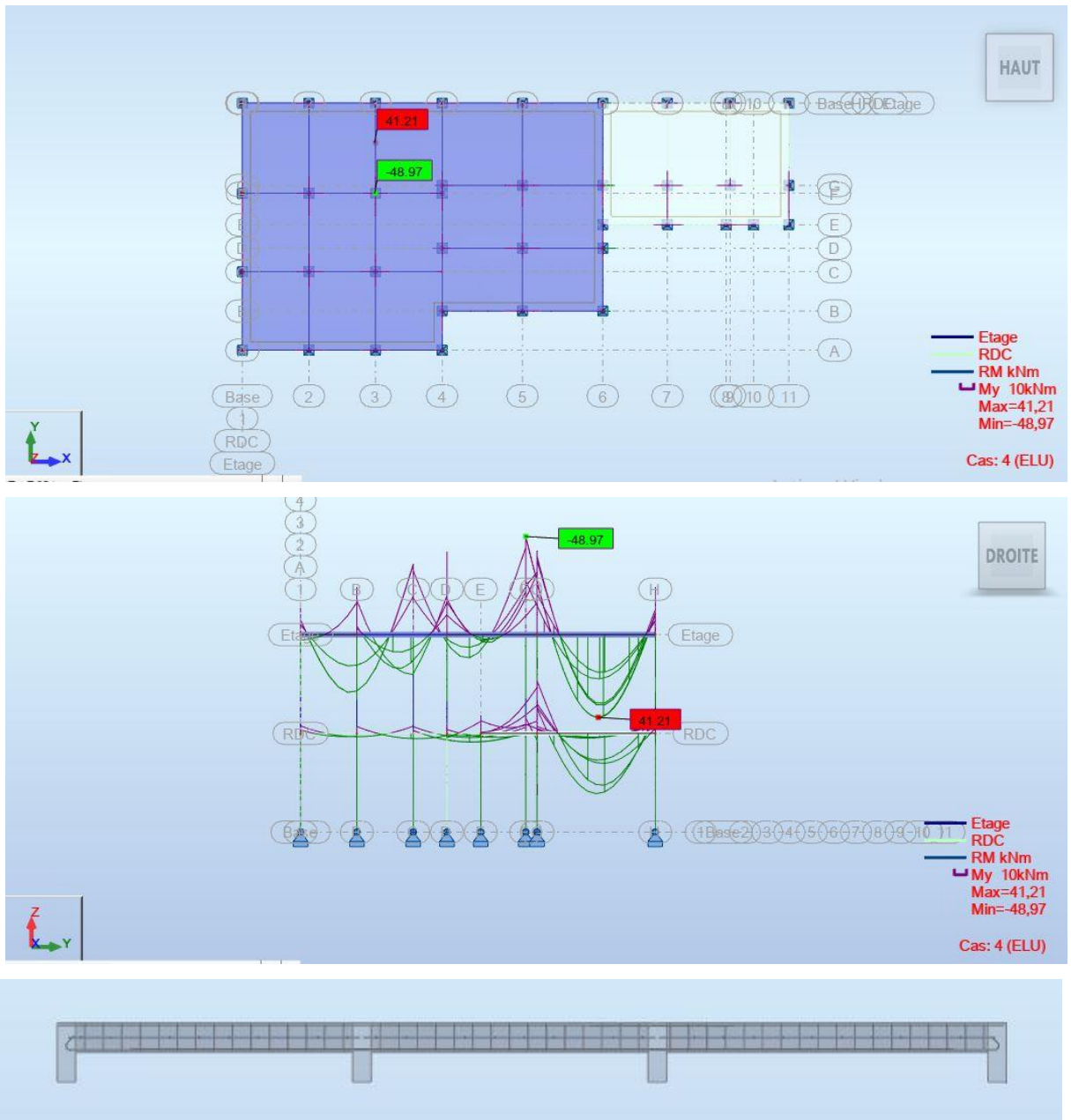


Figure 3-4 : La poutre la plus chargée de l'ouvrage.

❖ Evaluation des sollicitations

Le tableau (3-6) présente les sollicitations de la poutre la plus chargée.

Désignation	Mtmax	Mtmin	Mg	Md	Vg	Vd
P1	31	31	6,84	-23,52	31,13	-44,83
P2	18	18,09	-21,62	-31,07	35,1	-40,87
P3	41,21	-0,00	-48,97	8,34	55,94	-38,93

Tableau 3-7: Sollicitations de la poutre la plus chargée

C'est au niveau de la troisième travée de la poutre qu'on trouve le plus grand moment en travée (Mtmax) qui sera repris par les aciers inférieurs et les aciers de peau. A son appui gauche se trouve le plus grand moment d'appuis (Mg) qui sera repris par les aciers supérieurs renforcés par les armatures chapeaux. L'effort tranchant le plus élevé (Vg) sera repris par les armatures transversales.

❖ Calcul des aciers théoriques

Les sections d'aciers théoriques sont données dans le tableau (3-7).

Désignation	Travée (cm^2)		Appuis gauche (cm^2)		Appuis droit (cm^2)	
	Inf	Sup	Inf	Sup	Inf	Sup
P1	2,59	0	0,53	0,4	0,46	1,94
P2	1,48	0,00	0,01	1,78	0,59	2,6
P3	3,73	0,00	0,00	2,93	0,65	0,56

Tableau 3-8 : Sections d'aciers théoriques.

Les sections d'aciers théoriques ont été calculées en fonction des sollicitations reprises dans le tableau (3-6) ; Elles constituent la base du calcul des aciers pratiques repris sans le tableau (3-8).

❖ Evaluation du volume du béton

Le volume du béton pour ce poteau est de $1,03 \text{ m}^3$ pour une surface de coffrage de $12,81 \text{ m}^2$.

❖ Calcul des aciers pratiques

Le tableau (3-8) présente les armatures obtenues pour la poutre la plus chargée.

Désignation	Aciers inférieurs	Aciers supérieurs	Aciers chapeaux	Armatures transversales	Espacements (cm)
P1	4HA12	2HA12	2HA12	15HA6 10HA6	25 40
P2	4HA12	2HA12	2HA12	15HA6 10HA6	25 40
P3	4HA12	2HA12	2HA12	18HA6 10HA6	25 40

Tableau 3-9 : Les aciers pratiques de la poutre la plus chargée

La poutre est ferrillée de 8HA12 en travée et aux appuis. Les aciers de peau se retrouvent seulement en travée tandis que les aciers chapeaux sont seulement situés aux appuis. Les armatures transversales sont espacées de 40 cm pour les aciers de montage et de 25 cm pour les armatures principales.

La figure (3-6) représente les diagrammes de sollicitations et la section réelle d'aciers

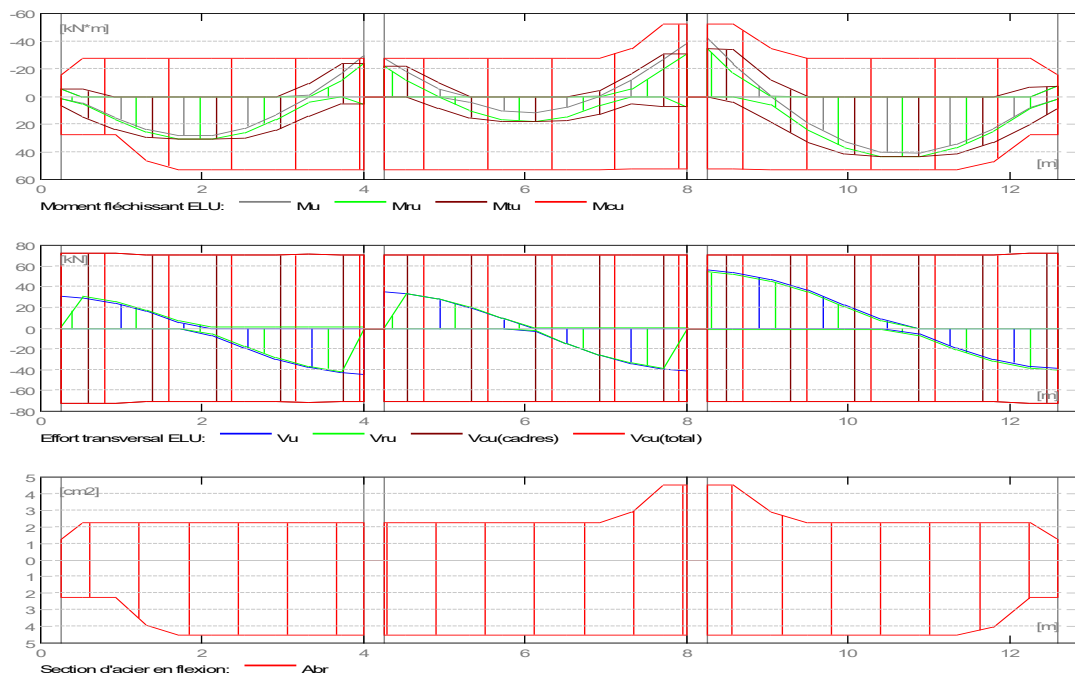


Figure 3-5 : Diagrammes de sollicitations de la poutre.

❖ Vérification de la flèche

Le tableau (3-9) 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	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,8
P2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8
P3	0,2	0,4	0,2	0,2	0,3	0,9

Tableau 3-10 : Valeurs de flèches dans la poutre

Dans les trois travées 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 (3-7) présente le diagramme des différentes flèches de la poutre.

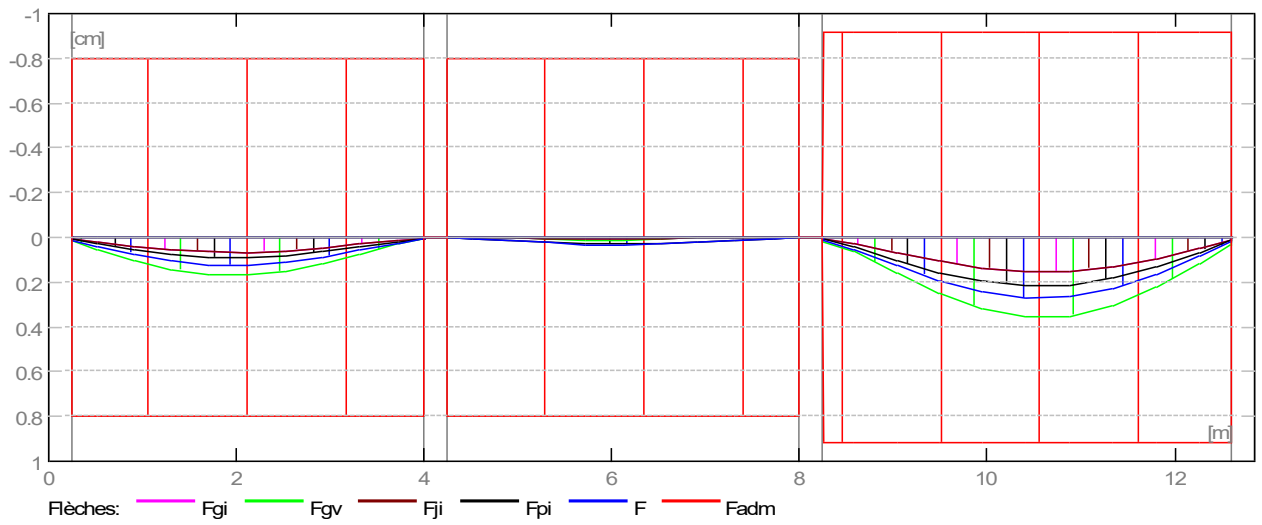


Figure 3-6 : Diagramme des flèches de la poutre.

Avec :

F_{gi} : La flèche due aux charges permanentes totales.

F_{gv} : La flèche de longue durée due aux charges permanentes.

F_{ji} : La flèche due aux charges permanentes à la pose des cloisons.

F_{pi} : La flèche due aux charges permanentes et d'exploitation.

ΔF_t : La part de la flèche totale comparable à la flèche admissible.

F_{adm} : La flèche admissible.

❖ Plan de ferrailage

Les figures (3-8), (3-9) et (3-10) présentent le plan d'exécution de la poutre la plus sollicitée de l'ouvrage.

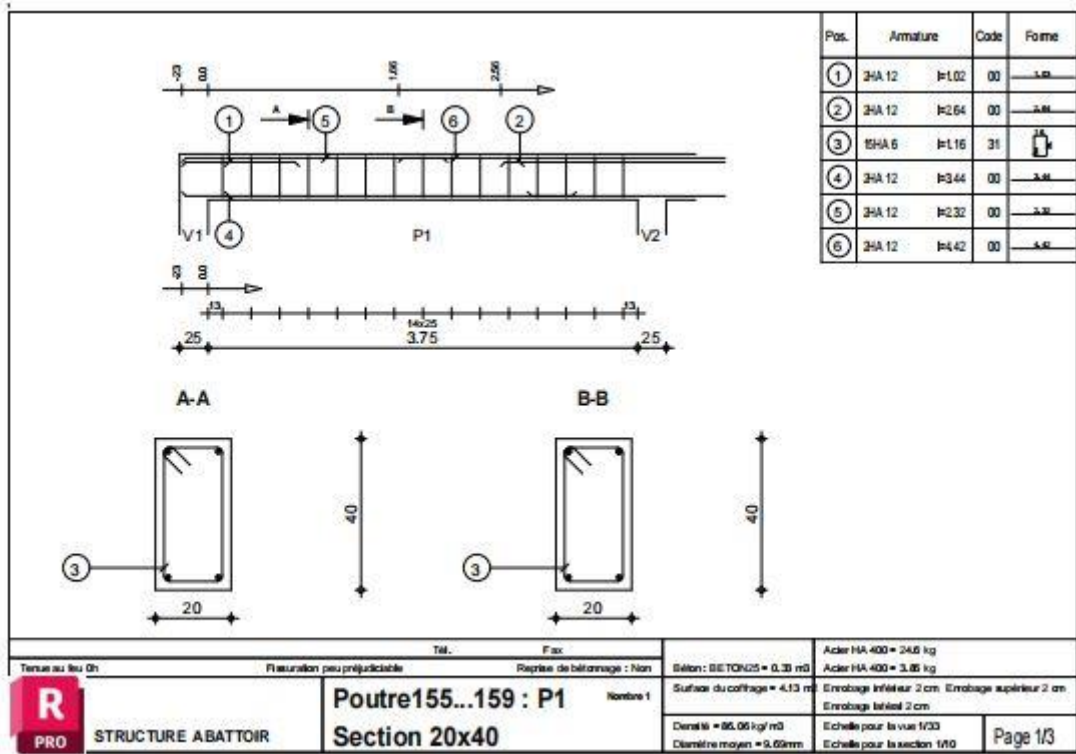


Figure 3-7 : Plan de ferrailage de la première travée

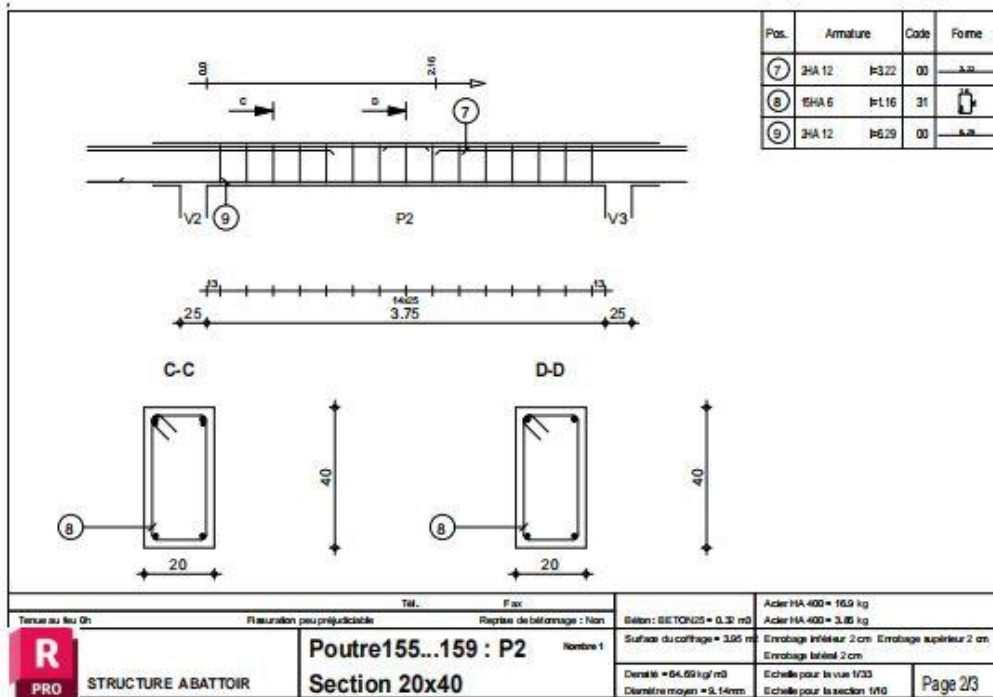


Figure 3-8 : Plan de ferrailage de la deuxième travée

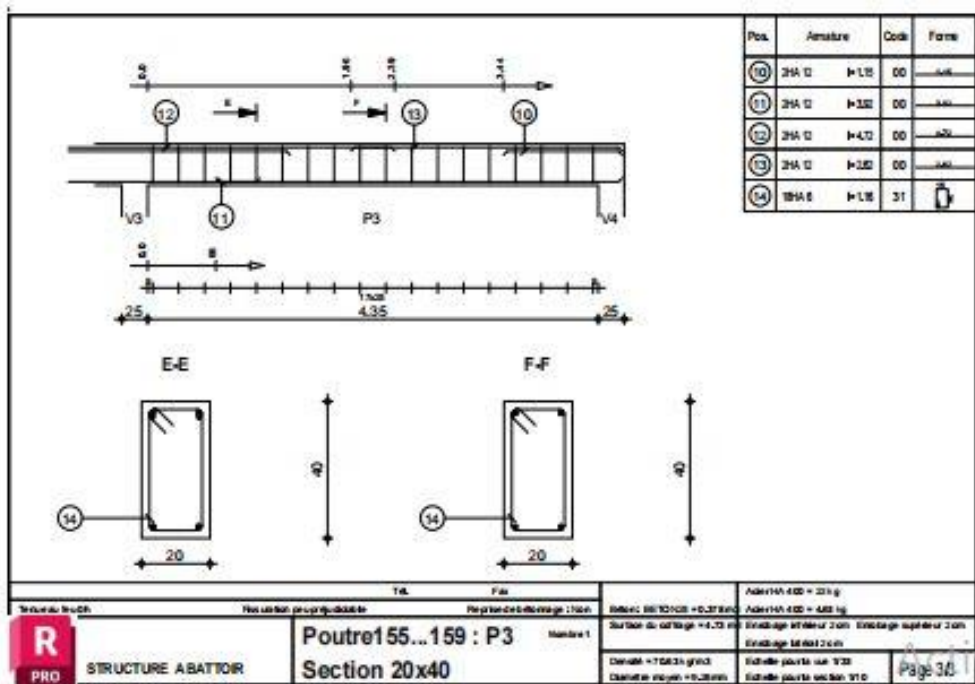


Figure 3-9 : Plan d'exécution de la troisième travée

c) La colonne

Après les analyses statiques de la structure avec le logiciel RSA, nous avons trouvé que le poteau 21 est le plus chargé de la structure. La charge sur ce poteau est : $N = 248,73$ kN. Lors du dimensionnement de ce poteau, la section trouvée lors du prédimensionnement a vérifié les conditions de résistance. La figure (3-11) présente le poteau le plus chargé de l'ouvrage.

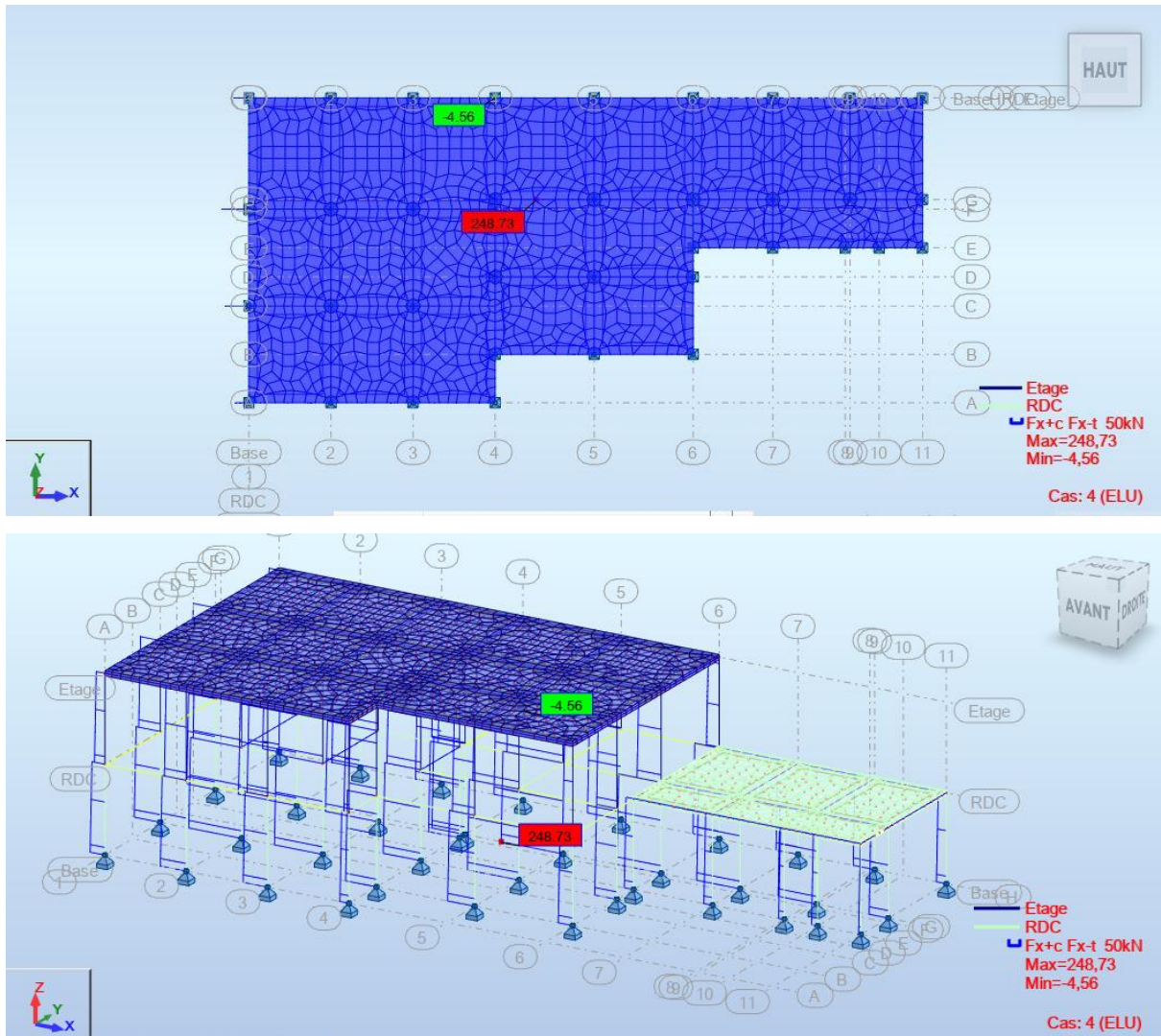


Figure 3-10 : Le poteau le plus chargé de l'ouvrage

❖ Vérification de la résistance au flambement

Le tableau (3-10) présente les résultats de l'analyse de l'élançement.

Direction	K	L_0	λ
Y = Z	0,7	3,5	33,95

Tableau 3-11 : Analyse de l'élançement.

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

❖ Evaluation du volume du béton

Le volume du béton pour ce poteau est de $0,19 \text{ m}^3$ pour une surface de coffrage de $3,10 \text{ m}^2$.

❖ Calcul des armatures longitudinales

Le tableau (3-11) présente les armatures longitudinales obtenues.

Désignation	Section réelle (cm^2)	Barres	Longueur (m)
Armatures longitudinales	4,52	4HA12	4,1

Tableau 3-12 : Armatures longitudinales du poteau

La section obtenue est adoptée parce qu'elles vérifient les conditions définies par les relations (2-60) et (2-61). C'est-à-dire que $4 \text{ cm}^2 \leq 4,52 \leq 31 \text{ cm}^2$.

❖ Calcul des armatures transversales

Le tableau (3-12) présente les armatures transversales obtenues.

Désignation	Barres	Espacement (cm)	Longueur (cm)
Armatures transversales	21HA6	18	96

Tableau 3-13 : Les armatures transversales du poteau

Le diamètre et l'espacement obtenus sont adoptés parce qu'elles vérifient les conditions définies respectivement par les relations (2-62) et (2-63). Par la relation (2-62), on remarque que $4 \text{ mm} \leq 6 \text{ mm}$ et à travers la relation (2-63), on vérifie que l'espacement obtenu se situe dans l'intervalle prévu : $18 \text{ cm} = 18 \text{ cm}$.

❖ Plan de ferrailage

Le plan de ferrailage du poteau est présenté sur la figure (3-12).

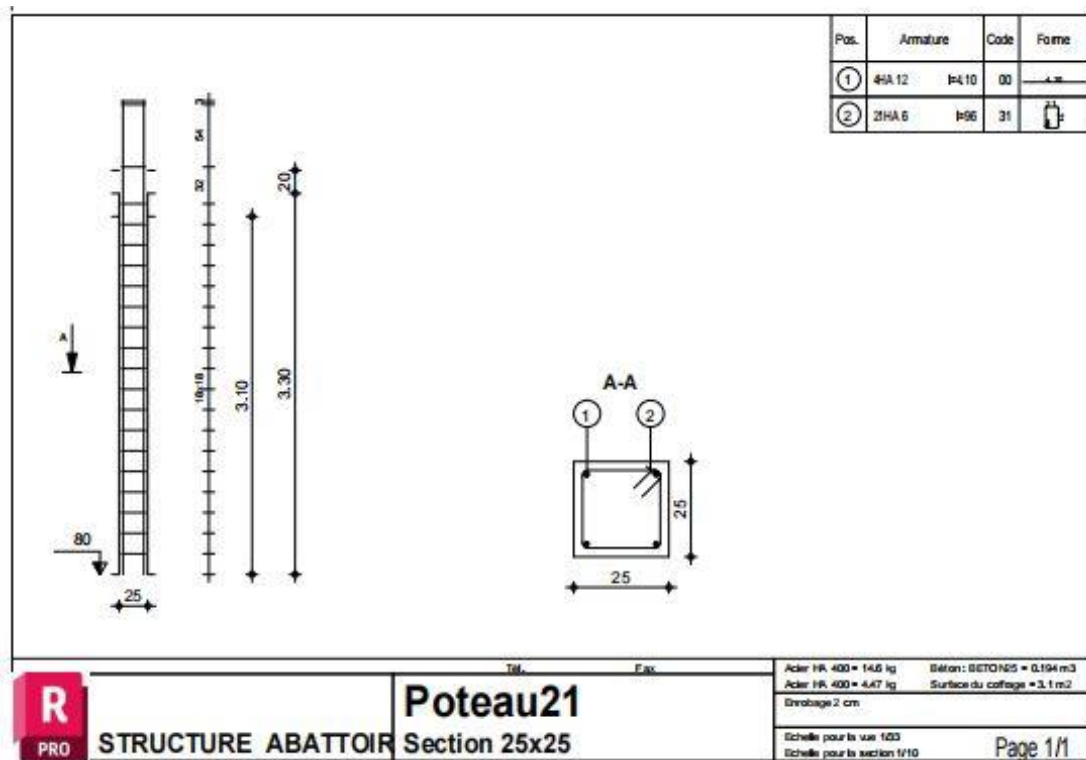


Figure 3-11 : Plan d'exécution du poteau le plus chargé.

d) La semelle

❖ Evaluation du volume du béton

Le volume du béton pour ce poteau est de $0,062 \text{ m}^3$ pour une surface de coffrage de $0,88 \text{ m}^2$.

❖ Calcul des armatures dans les deux sens

Le tableau (3-13) présente les armatures obtenues pour la semelle.

Désignation	Section (cm^2/m)	Barres	Longueur (m)
Aciers inférieurs (A_y)	2,51	4HA6	0,56
Aciers inférieurs (A_x)	2,51	4HA6	0,56

Tableau 3-14 : Armatures de la semelle

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. Nous avons réduit la section pour faciliter la couture. Avec ces valeurs, nous adoptons donc comme choix d'armement les valeurs présentées dans le tableau (3-13). Avec 4HA12 pour les socles et 8HA6 pour la semelle, la figure 3-13 illustre le plan de ferrailage du poteau et de la semelle. Les cadres sont de 6 mm de diamètre, espacés de 18 cm.

❖ Plan de ferrailage

La figure (3-13) présente le plan d'exécution de la semelle pour le poteau le plus chargé

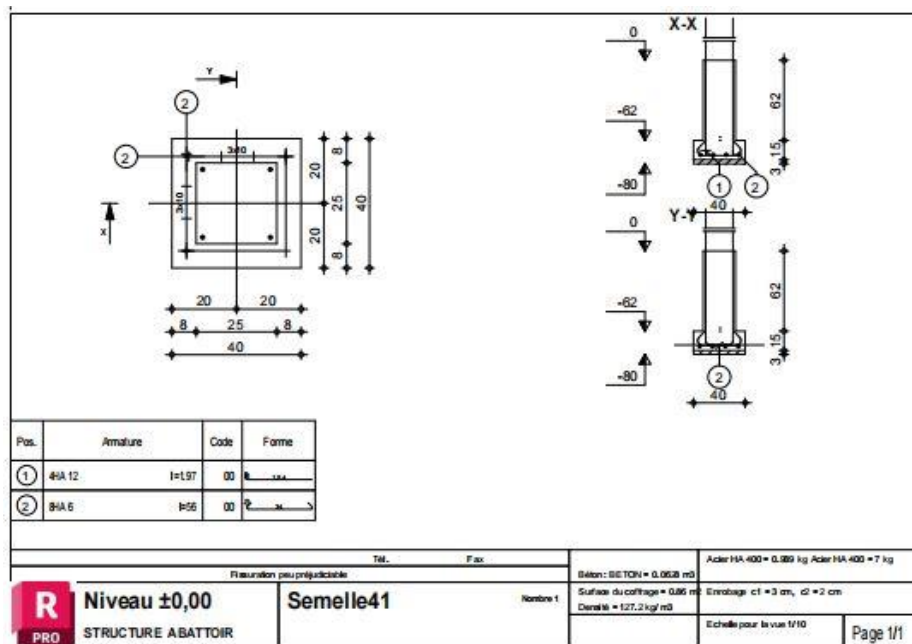


Figure 3-12: Plan d'exécution de la semelle.

3.3 Le métré de la structure

3.3.1 Métré de la toiture

Le tableau (3-15) présente les quantités obtenues pour la réalisation de la toiture.

Tableau 3-15: Métré de la toiture.

Numéros	Désignation	Quantités / Kg	Prix unitaire	Prix total
1	Tôle	290	10	2900
2	Madrier	312	8	2496
3	Chevron	226	5	1130
4	Clous	156	5,5	556
5	Planche de rive	24	5	120
Total		7102		

Le tableau présente un métré pour la toiture, intégrant les principaux matériaux nécessaires : tôles, bois, clous et planches. Les quantités sont bien détaillées avec des prix unitaires. Le coût total estimé à 7202 \$ offre une base pour l'évaluation budgétaire de la toiture.

3.3.2 Métré du béton de la dalle

Le tableau (3-16) présente les quantités obtenues pour la dalle en béton armé.

Tableau 3-16 : Métré du béton de la dalle.

Numéros	Désignation	Quantités (Sacs / m ³ / litres)	Prix unitaire (\$)	Prix total (\$)
1	Ciment	437	14,5	6337
2	Sable	22	27	594
3	Graviers	44	22	968
4	Eau	10905	0,01	110
Total		8010		

Ce tableau présente les matériaux nécessaires à la réalisation d'une dalle en béton armé de 54,53 m³ de volume ; le dosage en ciment est de 400 kg /m³ (environ 8sacs / m³). On y retrouve les prix unitaires et le coût global de chaque poste.

3.3.3 Métré du béton de poutres

Le tableau (3-17) présente les quantités obtenues pour les poutres en béton armé.

Tableau 3-17 : Métré du béton de poutres

Numéros	Désignation	Quantités / Sacs / m ³ / litres	Prix unitaire (\$)	Prix total (\$)
1	Sable	18	27	405
2	Ciment	347	14,5	4928

3	Graviers	35	22	770
4	Eau	3470	0,01	34,70
Total		6138		

Ce tableau présente le métré des matériaux nécessaires à la réalisation des poutres en béton armé. Le ciment en tant que liant principal constituent logiquement la part la plus importante du coût global. Ce métré permet ainsi une estimation du budget alloué à cette phase de la construction.

3.3.4 Métré du béton pour les poteaux

Le tableau (3-18) présente les quantités obtenues pour les colonnes en béton armé.

Tableau 3-18 : Métré du béton de poteaux.

Numéros	Désignation	Quantités (Sacs / m ³ / litres)	Prix unitaire (\$)	Prix total (\$)
1	Sable	13	27	351
2	Ciment	257	14,5	3727
3	Graviers	26	22	572
4	Eau	6404	0,01	65
Total		4100		

Pour les poteaux, le ciment demeure l'élément prépondérant, ce qui reflète son rôle essentiel dans la composition du béton structural. Les autres matériaux complètent la formulation avec des coûts raisonnables, traduisant une optimisation des ressources. Ce métré constitue donc une base pour la planification budgétaire et technique des poteaux en béton armé.

3.3.5 Métré de la maçonnerie en blocs

Le tableau (3-19) présente les quantités obtenues pour la maçonnerie en blocs.

Tableau 3-19 : Métré du béton pour la maçonnerie en blocs

Numéros	Désignation	Quantités / Sacs / m ³ / litres	Prix unitaire (\$)	Prix total (\$)
1	Blocs	15360	0,7	10752
2	Ciment	431	14,5	6250
3	Sable	62	27	1674
4	Eau	10753	0,01	108
Total		18784		

Le métré relatif à la maçonnerie en blocs met en évidence une répartition des coûts entre les différents matériaux. Les blocs constituent la part la plus importante, le ciment, le sable et l'eau viennent ensuite traduisant les besoins en mortier de pose. Ce tableau offre ainsi une estimation du coût de la maçonnerie en blocs pour le projet.

3.3.6 Métré du béton pour les semelles et les socles

Le tableau (3-20) présente les quantités obtenues pour le béton de semelles et des socles

Tableau 3-20: Métré du béton pour les semelles et les socles.

Numéros	Désignation	Quantités / Sacs / m ³ / litres	Prix unitaire (\$)	Prix total
1	Sable	6	27	162
2	Ciment	113	14,5	1637
3	Graviers	12	27	324
4	Eau	20808	0,01	209
Total		2332		

Le métré du béton pour les semelles met en évidence une répartition rationnelle des matériaux pour les fondations superficielles. Le ciment domine la composition, traduisant un dosage élevé nécessaire pour garantir la durabilité des éléments structuraux. Ce métré traduit une estimation des besoins en matériaux pour l'exécution des socles et des semelles.

3.3.7 Métré du ferrailage

Le tableau (3-21) présente les aciers obtenus pour le ferrailage.

Tableau 3-21 : Métré du ferrailage

Numéros	Désignation	Quantités / Kg	Prix unitaire	Prix total
1	Dalle / Poutre	440HA10	4	1760
2	Poutre	314HA12	6	1884
3	Colonne	211HA12	6	1267
4	Fondation	12HA6	2,5	30
		43HA12	6	258
5	Fil à ligaturer	91	1	91
Total		4290		

Ce tableau présente les coûts selon les différents éléments structuraux. Les postes les plus coûteux concernent la dalle et la poutre, ce qui est justifié par leur forte sollicitation en flexion et la quantité nécessaire pour assurer leur résistance. Les colonnes suivent, en cohérence avec leur rôle de transfert vertical des charges. Le ferrailage des fondations est logiquement moins élevé, tandis que le fils à ligaturer représente une dépense marginale mais indispensable à l'assemblage des armatures. L'ensemble du métré témoigne d'une estimation complète prenant en compte les exigences des éléments porteurs de la structure.

3.3.8 Métré du coffrage

Le tableau (3-22) présente les planches obtenues pour le coffrage

Tableau 3-22 : Métré du coffrage.

Numéros	Désignation	Quantités	Prix unitaire	Prix total
1	Dalle	300	4	1200
2	Poutre	400	4	1600

3	Colonne	350	4	1400
Total		4200		

Le métré du coffrage met en évidence une répartition des coûts en fonction de la complexité de la surface à coffrer pour chaque élément structural. La poutre enregistre le coût le plus élevé, ce qui s'explique par la nécessité de d'un coffrage latéral et intérieur. Elle est suivie par les colonnes dont le coffrage vertical demande une mise en œuvre soignée.

3.3.9 Métré de l'enduit

Le tableau (3-23) présente les quantités obtenues pour l'enduit.

Tableau 3-23 : Métré de l'enduit.

Numéros	Désignation	Quantités (Sacs / m ³ / litres)	Prix unitaire (\$)	Prix total
1	Sable	90	25	225
2	Ciment	630	12,5	7875
3	Eau	15750	0,008	126
Total		8226		

Le métré des matériaux nécessaires à la réalisation de l'enduit met en évidence la prédominance du ciment. Ce niveau élevé est justifié par la nature du mortier enduit qui nécessite un dosage relativement riche en liant pour assurer l'adhérence et la durabilité sur les supports. Le sable et l'eau bien que secondaires, jouent un rôle essentiel dans la consistance et la maniabilité du mortier.

3.3.10 Métré de carreaux et de la peinture

Le tableau (3-24) présente les quantités obtenues pour les carreaux et la peinture.

Tableau 3-24 : Métré de carreaux et de la peinture.

Numéros	Désignation	Quantités / Sacs / m ³ / litres)	Prix unitaire (\$)	Prix total
1	Carreaux	3500	16	56000
2	Peinture latex	397	1,5	596
3	Peinture à huile	457	3,5	1600
4	Peinture taf	480	2	960
4	Eau	1000	0,008	8
5	Ciment	170	12,5	2125
6	Sable	25	25	625
Total		61915		

Ce tableau présente une estimation détaillée des coûts liés aux travaux de finition, incluant les murs, les dalles et les pavements. Le plus grand montant est attribué aux carreaux, ce montant reflète l'étendue de la surface à couvrir ; les apports en ciment, en sable et en eau servent pour les travaux de pose.

3.3.11 Métré de la menuiserie (portes et de fenêtres)

Le tableau (3-25) présente les quantités obtenues pour les portes et les fenêtres.

Tableau 3-25 : Métré de portes et fenêtres.

Numéros	Désignation	Quantités	Prix unitaire (\$)	Prix total (\$)
1	Porte	37	100	3700
2	Fenêtre	25	90	2250
Total		5950		

Ce métré présente une estimation des coûts en fonction des quantités de portes et fenêtres prévues.

Le total général est de 131 050 \$. La main d'œuvre est prise égale à 30 % du coût global pour les travaux peu mécanisés, c'est ainsi que nous avons obtenu une valeur de 39 315 \$ pour la main d'œuvre.

3.4 Planning des travaux

Le tableau (3-26) présente les étapes de la construction.

Tableau 3-26 : Les étapes de la construction.

Étapes	Début	Durée (Jours)
Terrassement	02/01/2026	20
Construction des fondations	22/01/2026	20
Colonnes	11/02/2026	25
Poutres et dalles	08/03/2026	30
Maçonnerie en blocs	07/04/2026	60
Construction de la toiture	06/06/2026	21
Finissage	27/06/2026	75
Propreté du site	10/09/2026	8

Certaines tâches peuvent se faire en parallèle (le début du finissage dans certaines zones pendant que la toiture est encore en cours ailleurs). 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 (3-14) présente le diagramme de Gantt pour la réalisation des travaux.

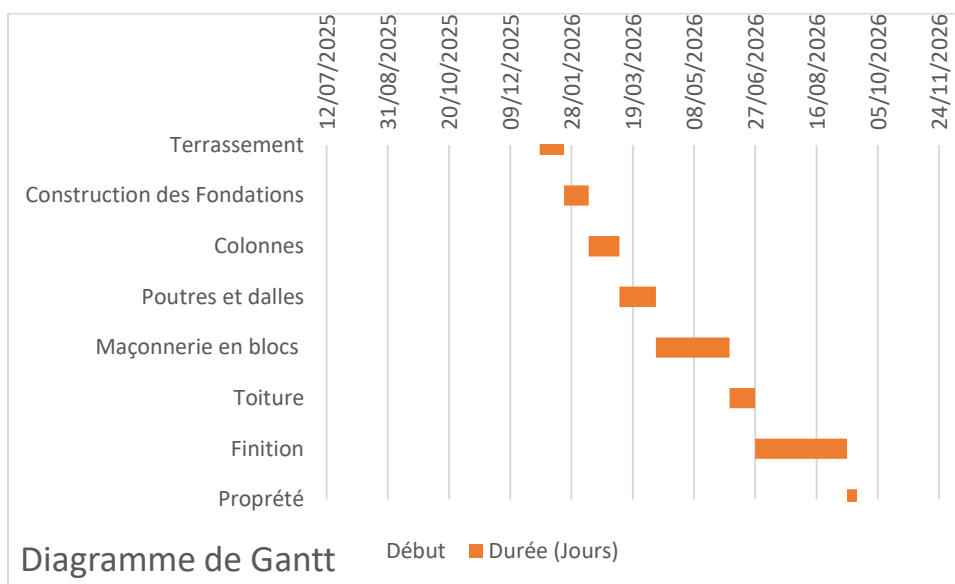


Figure 3-13 : Diagramme de Gantt

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

Conclusion générale

Le mémoire intitulé « Conception et dimensionnement d'un abattoir moderne à Kahembe dans la ville de Goma » a porté sur l'étude d'une infrastructure essentielle à l'amélioration des conditions d'hygiène publique et au développement économique local. En respectant les normes en vigueur, ce travail a permis d'atteindre les objectifs spécifiques fixés. Le plan architectural a été élaboré en conformité avec les normes relatives aux abattoirs, assurant une organisation fonctionnelle des espaces et une circulation fluide des animaux, du personnel et des produits. 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 40×40 cm et une hauteur de 15 cm, avec des armatures réparties à raison de $2,51 \text{ cm}^2/\text{m}$ dans chaque direction. Les poteaux en béton armé ont une section de 25×25 cm, armés longitudinalement avec $4,52 \text{ cm}^2$ d'acier et des cadres de diamètre 6 mm espacés de 18 cm. La section des poutres est de 20×40 cm, avec une section d'acier de $3,73 \text{ cm}^2$ en travée et $2,6 \text{ cm}^2$ aux appuis. La dalle a une épaisseur de 20 cm, avec des armatures inférieures de $2,02 \text{ cm}^2/\text{m}$ espacées de 24 cm ; Elle est armée d'une section maximale de $6,26 \text{ cm}^2/\text{m}$ aux appuis avec un espacement resserré à 12 cm.

La charpente en bois est composée de pannes de 50×100 mm et d'éléments de ferme (arbalétriers, entrails, poinçons) de 50×150 mm, assurant la solidité de la toiture tout en tenant compte des contraintes locales et de la disponibilité des matériaux. En parallèle, une estimation détaillée du coût global a été réalisée, prenant en compte les matériaux, la main-d'œuvre 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. 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] «La planète mange toujours plus de viande,» Statista, 4 septembre 2023. [En ligne]. Available: <https://fr.statista.com/infographie/28288/evolution-de-la-production-de-viande-dans-le-monde/>. [Accès le 18 avril 2025].
- [2] S. Chakirath, Contrôle de l'Hygiène dans les abattoirs, ABOMEY CALAVI: UNIVERSITE d'ABOMEY CALAVI, 2024.
- [3] Dunod, Les éléments des projets de construction, 7 éd., Paris: ISBN 2-10-002716-6, 1996, p. 551.
- [4] D. T. H. é. ZINAI, COURS DE BETON ARME, Oran: Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed, 2022.
- [5] P. Vannucci, Structures de génie civil, Paris: Université de Versailles, 2013-2014, pp. P22-23.
- [6] P. Dr. Ing. Ally ALINABIWE, Cours de Laboratoire des matériaux, Goma: Université Libre des Pays des Grands Lacs, 2022.
- [7] Mr Naoufel BAHRI, Mme Khedidja BOUFENARA, Melle Heddy BOULKROUNE, Melle Bahia KEBIR, Melle Nadira SAIDI, Théorie de projet, Annaba: Université Badi!Mokhtar Annaba, 2010, p. 3.
- [8] Delpire, Michel Provost et Denis, Manuel de prédimensionnement des éléments de structure des ossatures en acier, bois et béton armé, 3 éd., Bruxelles: Université Libre de Bruxelles, Septembre 2013, p. 1.

- [9] P. Dr. ing. Ally ALINABIWE, Cours d'initiation au béton armé, Goma: Université Libre des Pays des Grands Lacs, 2023-2024.
- [10] H. Renaud, J. Lamirault, BETON ARME, Guide de calcul, Paris: FOUCHER, 1993.
- [11] J.-P. Mougin, BAEL 91 modifié 99, Paris: EYROLLES, 2000.
- [12] C. BISHWEKA, Cours de Construction en bois, Goma: Université Libre des Pauys des Grands Lacs, 2023.
- [13] Dr. Madi Rafik, Cours d'Ouvrages en béton, Guelma: Université 8 mai 1945-Guelma, 2014.
- [14] Yves Benoit, Bernard Legrand, Vincent Tastet, Eurocode 5, Paris: EYROLLES, 2008.
- [15] P. Dr. Ing. Ally ALINABIWE, Cours d'Initiaton aux fondations, Goma: Université Libre des Pays de Grands Lacs, 2023-2024.
- [16] Nacer ABAS, M. MADANI, ETUDE ET OPTIMISATION D'UNE CHAMBRE FROIDE A REFRIGERATION, Alger: ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE, 2007.
- [17] P. T. Messaoud, Cours de modélisation des structures, M'sila: Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2021-2022.
- [18] Dr. Ing. Professeur AMBOKO MUHIWA Benjamin, Ing. Pascal KATUMBI, Cours de mesures et instrumentation, Goma: Université Libre des Pays des Grands Lacs, 2022-2023.
- [19] D. A. CASANOVA Gèrrard, Gestion de projet-diagramme de Gantt, Nancy: Université de Lorraine, 2010.

Annexes



Figure A-1 : Abattoir de KAHEMBE





Figure A-2 : Vue 3D de l'ouvrage

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 et Technologies appliquées 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 nos chers parents André KISONIA et KAVIRA MWENGESYALI qui nous ont soutenus depuis le début.

Nous exprimons notre reconnaissance à nos sœurs Sheillah et Rachel pour leur soutien et encouragements.

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.