

UNIVERSITE LIBRE DES PAYS DES GRANDS LACS

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIES

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



BP. 368 GOMA

www.ulpgl.net

**ETUDE COMPARATIVE D'UNE PASSERELE PIETONNE
AVEC TABLIER EN DALLE RETICULEE ET EN DALLE
EN PLEINE**

Application à la ville de Goma (RDC) sur la RN2 au niveau du marché Alanine

Par NTARIBI NDIBWAMI SOSTENE

Travail présenté et défendu en vue de l'obtention du
diplôme de bachelor en sciences et technologie

Option : Génie civil

Directeur : Prof. Ir. BISHWEKA BIRYONDEKE

Encadreur CIRHUZA BADESIRE Paterne

ANNEE ACADEMIQUE 2024 - 2025

Epigraphe

« Construire, c'est prévoir »

Auguste perret

Dédicaces

A ceux qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenu tout au long de mon parcours. Et de manière particulière,

A mes parents, Gilbert NDIBWAMI bizimana et Léontine BAMPATA Nziyunvira.

NTARIBI NDIBWAMI sostiene

Remerciements

Tout d’abord, nous rendons gloire à Dieu Tout-Puissant, notre Seigneur et Sauveur Jésus-Christ, pour sa grâce et son soutien tout au long de ce parcours académique, qui nous a permis d’achever ce travail.

Nous remercions sincèrement les autorités académiques de l’Université Libre des Pays des Grands Lacs (ULPGL)/Goma pour la formation reçue et leur accompagnement durant ces années d’études.

Nos remerciements particuliers vont à notre directeur de recherche, le Prof. Ir. BISHWEKA BIRYONDEKE, pour son encadrement rigoureux, ses conseils avisés et la qualité de ses orientations, ainsi qu’à notre encadreur, l’Ir. CIRHUZA BADESIRE, pour ses remarques pertinentes, ses critiques constructives et ses encouragements constants.

Nous exprimons également notre gratitude à Gilbert NDIBWAMI Bizimana et Léontine BAMPATA Nziyunvira pour leur soutien indéfectible, ainsi qu’à nos frères et sœurs : Sylvie, Sabin, Sandrine et séraphin NDIBWAMI, dont l’amour et l’encouragement ont été un pilier tout au long de ce parcours.

Enfin, nous remercions nos camarades, amis et connaissances, B. Domi, N. Patrick, K. Gaël, K. Ofrand, K. Gervain, T. Cherubin, K. Vincent, Balenga, M. Roger, B. fiston pour leur soutien et leurs conseils, ainsi que tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail. Que Dieu vous bénisse abondamment !

NTARIBI NDIBWAMI sostene

Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude comparative de deux variantes de passerelle piétonne en béton armé, différenciées par la nature du tablier : une dalle pleine et une dalle réticulée à caissons récupérables. L'objectif est de concevoir et comparer enfin d'identifier la solution la plus performante sur les plans technique, vibratoire et économique, tout en garantissant la sécurité structurale et le confort des usagers.

Après la conception géométrique de l'ouvrage suivant le guide du cerema, les charges ont été définies conformément aux prescriptions du guide méthodologique SETRA et de l'Eurocode 1. Le dimensionnement de la variante à dalle pleine a été réalisé à l'aide du logiciel Autodesk Robot Structural Analysis, tandis que la variante à dalle réticulée a été dimensionnée avec CYPECAD, mieux adapté à la modélisation des planchers réticulés. Une analyse modale à vide a ensuite été menée afin d'évaluer le comportement dynamique de la passerelle et le risque de mise en résonance.

Les résultats obtenus montrent que la dalle réticulée présente des avantages significatifs. Sur le plan technique, elle permet une réduction de l'effort normal dans les poteaux de 27,6 %, une diminution du taux de travail de 21,8%, ainsi qu'une réduction du volume de béton du tablier de 31,04 % et de 30,9 % par semelle. Sur le plan vibratoire, la dalle réticulée atteint une fréquence propre de 2,7 Hz, correspondant à un faible risque de mise en résonance et à un niveau de confort optimal. Enfin, l'analyse économique met en évidence une réduction des coûts de 33,85 % pour le tablier et de 28,57 % par semelle.

Mots clés : Passerelle piétonne, dalle pleine, dalle réticulée, étude comparative.

Abstract

This thesis focuses on the design and comparative study of two reinforced concrete pedestrian footbridge variants, distinguished by the type of deck: a solid slab and a ribbed slab with removable void formers. The main objective is to design and compare these two solutions in order to identify the most efficient one from a technical, vibrational, and economic standpoint, while ensuring structural safety and user comfort.

Following the geometric design of the structure in accordance with the CEREMA guidelines, the applied loads were defined based on the recommendations of the SETRA methodological guide and Eurocode 1. The structural design of the solid slab variant was carried out using Autodesk Robot Structural Analysis, while the ribbed slab variant was designed using CYPECAD, which is better suited for modeling ribbed floor systems. A free modal analysis was then performed to assess the dynamic behavior of the footbridge and the risk of resonance. The results show that the ribbed slab offers significant advantages. From a technical perspective, it leads to a 27.6% reduction in axial force in the columns, a 21.8% decrease in the utilization ratio, as well as a 31.04% reduction in the deck concrete volume and approximately 30.9% per footing. In terms of vibrational behavior, the ribbed slab reaches a natural frequency of 2.7 Hz, corresponding to a low risk of resonance and an optimal comfort level for users. Finally, the economic analysis highlights a cost reduction of 33.85% for the deck and 28.57% per footing, confirming the overall efficiency of the ribbed slab solution.

Keywords: Pedestrian footbridge, solid slab, waffle slab, comparative study.

Sommaire

Epigraphe	i
Dédicaces	ii
Remerciements.....	iii
Résumé.....	iv
Sommaire	vi
Liste des abréviations et notations	ix
Liste des tableaux.....	x
Liste des figures	xi
Introduction générale	1
Chapitre 1 Généralité sur les passerelles piétonnes et sur les dalles	5
1.1 Les passerelles piétonnes	5
1.1.1 Définition et rôle d'une passerelle	5
1.1.2 Historiques des passerelles piétonnes	6
1.1.3 Eléments constitutifs d'une passerelle	7
1.1.4 Classification des passerelles	8
1.1.5 Les grandes familles des passerelles.....	11
1.2 Les systèmes de dalles	12
1.2.1 La dalle pleine.....	12
1.2.2 La dalle réticulée.....	13
1.3 Conclusion partielle	15
Chapitre 2 Méthodologie	16
2.1 Présentation du site	16
2.2 Conception géométrique et prédimensionnement.....	18

2.2.1	Conception géométrique	18
2.2.2	Prédimensionnement des éléments structuraux	23
2.3	Evaluation de charges	29
2.3.1	Charges permanentes	29
2.3.2	Charges d'exploitation	31
2.3.3	Charge accidentelle [24]	32
2.3.4	Charge climatique	33
2.3.5	Evaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons [25].....	34
2.4	Conclusion partielle	40
Chapitre 3.....		41
3.1	Hypothèses générales de dimensionnement.....	41
3.2	Variante 1 : Passerelle à tablier en dalle pleine	42
3.2.1	Présentation du modèle numérique.....	42
3.2.2	Dimensionnement statique de la variante 1	43
3.2.3	Etude dynamique-Détermination des fréquences et de la nécessité de mener ou non un calcul avec cas de charge dynamiques.....	48
3.3	Variante 2 : Passerelle à tablier en dalle réticulée	49
3.3.1	Dimensionnement statique de la variante 2	49
3.3.2	Etude dynamique-Détermination des fréquences et de la nécessité de mener ou non un calcul avec cas de charge dynamiques.....	57
3.4	Etude comparative	58
3.4.1	Plan technique.....	58
3.4.2	Comportement vibratoire	59
3.4.3	Plan économique.....	60
3.5	Conclusion partielle	62
Conclusion générale.....		63
Bibliographie.....		65

Annexe A PLANS ARCHITECTURAUX.....	67
A.1 VUE	67
A.1.1 Plan de masse	67
A.1.2 Vue de dessus.....	68
A.2 FACADE.....	69
A.3 RENDU 3D.....	70
Annexe B AUTRES PLANS DE FERRAILLAGES.....	72
B.1 Entretoise	72
B.2 Poteau circulaire.....	72
B.3 Poutre inclinée	73
B.4 Poutre à section variable	73

Liste des abréviations et notations

b_c	: Base du poteau
b_e	: Base de l'entretoise
b_p	: Base de la poutre principale
EHE	: Instrucción de Hormigón Estructural (réglementation espagnole)
f	: Fréquence
g	: Largueur des marches
H_c	: Hauteur du poteau
H_{cm}	: Hauteur des contre marches
H_e	: Hauteur de l'entretoise
H_p	: Hauteur de la poutre principale
HZ	: Hertz
k	: Raideur
L_f	: Longueur de flambement
m	: Masse
MPa	: Méga pascal
SETRA	: Service d'études techniques des routes et autoroutes
ULPGL	: Université libre des pays des grands lacs facultés de sciences et technologies appliquées

Liste des tableaux

Tableau 2-1: Gammes de portées des différentes familles de passerelles [16].....	18
Tableau 2-2: Nombre de poutre en fonction de la largeur du tablier [9]	23
Tableau 2-3: Valeurs de la pression dynamique q_{10} pour les zones de la RDC	34
Tableau 2-4: Plages de fréquence (en Hz) des vibrations verticales	38
Tableau 2-5: Plages de fréquence (en Hz) des vibrations horizontales transversales.....	38
Tableau 2-6: Vérifications - cas de charge à considérer	39
Tableau 3-1: Tableau des moments-dalle pleine	46
Tableau 3-2: Résultats de l'analyse modale-variante1	48
Tableau 3-3: Taux de travail poteau-variante 2	50
Tableau 3-4: Caractéristiques géométriques de la dalle reticulée.....	53
Tableau 3-5: Résultats de l'analyse modale-variante2	58
Tableau 3-7: Etude comparative sur le plan technique	58
Tableau 3-8: Comportement vibratoire de deux variantes.....	60
Tableau 3-9: Etude comparative sur plan économique.....	61

Liste des figures

Figure 1-1:Peace bridge,calgary	6
Figure 1-2: Eléments structuraux principaux de la passerelle	8
Figure 1-3: Passerelle de Gateshead Millennium Bridge	9
Figure 1-4: Vue en plan d'une passerelle courbe	10
Figure 1-5: Vue en plan d'une passerelle droite.....	10
Figure 1-6: Vue en plan d'une passerelle biais	10
Figure 1-7: Passerelle haubanée de Laroin-France	12
Figure 1-8: Dalles Réticulées.....	14
Figure 1-9:Dalles Réticulées à Caissons Récupérables	15
Figure 2-1: Localisation du site d'implantation	17
Figure 2-2: Vue de dessus de la passerelle implantée.....	19
Figure 2-3: Gabarit dynamique d'un piéton [16]	20
Figure 2-4: Gabarit dynamique d'un usager en fauteuil roulant [16].....	20
Figure 2-5: Gabarit dynamique d'un cycliste [16]	21
Figure 2-6: Hauteur de camion sur site.....	22
Figure 2-7:Géométrie des poutres principales	23
Figure 2-8: Géométrie des entretoises	24
Figure 2-9:Géométrie du poteau	25
Figure 2-10: Dimension de la dalle pleine	26
Figure 2-11:Géométrie de la dalle réticulée.....	27
Figure 2-12:Caissons récupérables à proximité des poteaux.....	28
Figure 2-13: Paramètres pour une dalle réticulée 20+7 dans CYPECAD	30
Figure 2-14: Densité de charge de foule de l'Eurocode hors cas de foule dense.	31
Figure 2-15:Diagramme de la méthodologie d'analyse vibratoire.....	36

Figure 3-1:Présentation du modèle numérique de la passerelle sous Autodesk Robot Structural Analysis.....	43
Figure 3-2:Taux de travail de la section poteau sous dalle pleine	43
Figure 3-3:Plan de ferrailage poteau.....	44
Figure 3-4:Moment fléchissant et ferrailage de la poutre principale.....	45
Figure 3-5:Ferrailage de la dalle pleine	46
Figure 3-6:Fleche de la dalle pleine	47
Figure 3-7:Plan de ferrailage semelle	47
Figure 3-8: Données générales.....	49
Figure 3-9:Plan de ferrailage poteau-variante 2	50
Figure 3-10: Plan de ferrailage poutre principale -variante 2	51
Figure 3-11:Plan de ferrailage de la semelle-variante 2	52
Figure 3-12:Plan de coffrage de la dalle réticule	53
Figure 3-13:Attribution de l'armature de base	54
Figure 3-14: Disposition d'armatures dans les deux directions dans la dalle réticulée.....	54
Figure 3-15: Fleche de la dalle réticulée.....	55
Figure 3-16:Ferrailage escalier et rampe	56
Figure 3-17:Modèle équivalent de la dalle réticulée.....	57
Figure 3-18:Etude comparative sur le plan technique	59
Figure 3-19: Comparaison des fréquences.....	60
Figure 3-20:Taux de réduction des coûts pour la variante à dalle réticulée	61
Figure 0-1: Plan de masse	67
Figure 0-2:Vue de dessus du projet	68
Figure 0-3: Façade nord du projet.....	69
Figure 0-4:Rendu 1 : côté nord	70
Figure 0-5: Rendu 2- côté sud.....	71
Figure 0-6:Plan de ferrailage de l'entretoise	72

Figure 0-7: Plan de ferrailage du poteau circulaire.....	72
Figure 0-8: Plan de ferrailage de la poutre inclinée.....	73
Figure 0-9: Plan de ferrailage de la poutre à section variable	73

Introduction générale

Le développement des infrastructures de transport piétonnier constitue un enjeu majeur pour les villes en pleine croissance [1], notamment dans les pays en voie de développement comme la République Démocratique du Congo [2] [3]. Les passerelles piétonnes jouent un rôle fondamental dans la fluidification de la circulation, la sécurité des usagers et la continuité des déplacements urbains, surtout dans les zones à forte densité de population et de trafic [4]. Une passerelle piétonne est un ouvrage d'art permettant aux piétons de franchir un obstacle (route, voie ferrée, rivière, etc.) en toute sécurité, sans interférer avec les autres modes de transport. Contrairement aux ponts routiers, les passerelles sont exclusivement destinées à la circulation des piétons (et parfois des cyclistes) [5]. Elles assurent ainsi la sécurité des usagers tout en améliorant la connectivité urbaine [4]. Ces ouvrages sont devenus essentiels dans les contextes urbains modernes, où les flux piétons sont importants et les risques d'accidents fréquents. Leur conception doit répondre à des exigences multiples : sécurité, durabilité, intégration urbaine, coût, confort d'usage et facilité de construction.

Des cas célèbres comme ceux de la passerelle de Solférino à Paris [6] et du Millennium Bridge à Londres [7], toutes deux fermées peu après leur inauguration en raison de vibrations excessives ressenties par les usagers, ont rappelé l'importance de considérer les effets dynamiques dans la conception de passerelles piétonnes [8]. Cela souligne la nécessité d'intégrer une analyse vibratoire pour garantir un confort maximal aux usagers.

La ville de Goma, chef-lieu de la province du Nord-Kivu, fait face à une urbanisation accompagnée d'un trafic routier de plus en plus dense, notamment sur la Route Nationale numéro 2, l'un des axes principaux de la ville. Ce tronçon routier, au niveau du marché Alanine, est caractérisé par une intense activité commerciale et un important flux de piétons et de véhicules, créant ainsi un point critique en matière de sécurité et de mobilité. L'absence d'infrastructure dédiée pour permettre aux piétons de traverser en toute sécurité entraîne un grand risque d'accidents, des ralentissements du trafic, et met en danger quotidiennement la vie des usagers.

Pour remédier à cette situation, il est nécessaire de concevoir une passerelle piétonne adaptée à ce contexte spécifique. Cependant, pour garantir une solution techniquement fiable et économiquement viable, une étude comparative entre deux alternatives structurales – la dalle pleine et la dalle réticulée – est essentielle pour identifier la solution optimale. D’où la question centrale : Quelle solution structurelle, entre la dalle pleine et la dalle réticulée, est la plus adaptée pour la conception d’une passerelle piétonne, en tenant compte des critères économiques et des résistances aux charges ?

Afin d’éclairer la question principale, trois sous questions suivantes ont été formulées :

- Comment concevoir une passerelle piétonne avec tablier en dalle pleine et une passerelle piétonne avec tablier en dalle réticulée ?
- Comment chaque type de dalle influence-t-il le comportement vibratoire de la passerelle et le niveau de confort des usagers ?
- Quelle est la solution structurelle la plus avantageuse sur les plans économique et technique ?

Les hypothèses avancées dans cette étude sont les suivantes :

- La conception d’une passerelle piétonne suivrait les mêmes étapes méthodologiques que tout ouvrage d’art, incluant l’analyse du site, flux, les paramètres géométriques et structuraux, la sécurité, l’accessibilité, et une démarche d’optimisation technique et économique.
- La dalle réticulée présenterait un comportement vibratoire plus favorable que la dalle pleine, de manière à garantir un niveau de confort optimal pour les usagers de la passerelle.
- La passerelle en dalle réticulée constituerait une solution structurelle plus adaptée que la dalle pleine en raison de sa légèreté, de sa performance technique et de son optimisation des matériaux.

Le choix de ce sujet est né de l’observation directe d’un problème réel à Goma : l’absence d’infrastructure sécurisée pour les piétons sur un tronçon à forte densité. En tant qu’étudiant en génie civil, mon intérêt s’est naturellement porté sur les ouvrages d’art et les structures en béton armé, avec la volonté de proposer une solution pratique à cette problématique tout en analysant

deux options structurelles. La motivation de comparer les deux types de dalles est également alimentée par la recherche d'un allègement structurel, objectif essentiel dans les conceptions modernes.

Ce sujet s'inscrit dans les problématiques actuelles du génie civil, notamment celles liées à l'optimisation des structures. S'inscrit aussi dans les préoccupations scientifiques de nombreux chercheurs explorant des solutions plus légères, solides et économiques. L'approche comparative entre dalle pleine et dalle réticulée est originale dans le contexte local et permet de produire des données applicables non seulement aux passerelles piétonnes, mais également à la conception de bâtiments à étages ou de structures comportant de grands espaces vides comme les halls, les églises, ou les salles polyvalentes. Dans ces configurations, le poids élevé des dalles pleines peut entraîner la nécessité d'utiliser des poutres avec retombées et/ou poteaux, solution souvent inesthétique et peu favorable sur le plan architectural. La recherche d'un système plus léger et performant devient donc une réponse technique et esthétique aux exigences actuelles de l'ingénierie des structures.

L'objectif général de cette étude est de concevoir et de comparer deux types de tabliers de passerelle piétonne – l'un en dalle pleine, l'autre en dalle réticulée – afin de déterminer la solution la plus appropriée en termes de coût, de résistance structurelle et de comportement vibratoire. De cet objectif principal découle des objectifs spécifiques suivants :

- Concevoir et analyser les performances techniques de la passerelle piétonne avec les deux types de dalles (résistance, comportement vibratoire).
- Évaluer les coûts de matériaux pour chaque solution structurelle.
- Comparer les deux systèmes en termes de coût global et de performance technique.

L'étude repose sur une méthode analytique, qui consiste à décomposer l'objet d'étude – la passerelle piétonne – en éléments simples afin d'en analyser chaque composante de manière rigoureuse. Cette méthode permet d'évaluer séparément les performances des deux types de dalles, en les modélisant, dimensionnant, puis comparant selon plusieurs critères : techniques, vibratoires et économiques. La modélisation sera effectuée à l'aide de logiciels spécialisés en calcul de structures, notamment Autodesk Robot Structural Analysis pour la dalle pleine et CYPECAD pour la dalle réticulée.

Nous nous limitons dans ce travail à la conception structurelle et à l'étude comparative technique et économique de deux types de dalles pour une passerelle piétonne : la dalle pleine et la dalle réticulée.

La conception architecturale de la passerelle est considérée de manière générale (formes, accès, rampes, rendu esthétique), mais ne fera pas l'objet d'une étude approfondie.

Quant au comportement vibratoire, il sera évalué de manière simplifiée, sur la base des recommandations du guide SETRA [8], sans recourir à une modélisation avancée ou à des analyses expérimentales.

En plus de cette introduction et de la conclusion générale, ce mémoire s'articule autour de trois chapitres principaux :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation des généralités sur les passerelles piétonnes et sur les dalles.
- Le deuxième présente la méthodologie.
- Le troisième est consacré à la présentation et l'analyse des résultats.

Chapitre 1

Généralité sur les passerelles piétonnes et sur les dalles

Dans ce chapitre, nous présentons les généralités sur les passerelles piétonnes et sur les systèmes de dalles. Nous abordons d'abord la définition, le rôle, une brève historique et les grandes familles de passerelles piétonnes, avant d'introduire les systèmes de dalles utilisés comme tablier, notamment les dalles pleines et les dalles réticulées. Cette partie constitue une base de compréhension indispensable pour la suite du travail.

1.1 Les passerelles piétonnes

1.1.1 Définition et rôle d'une passerelle

Une passerelle piétonne est un ouvrage d'art destiné à permettre le franchissement sécurisé d'un obstacle par des piétons, sans interférer avec les autres flux de circulation. Contrairement aux ponts classiques, les passerelles sont conçues exclusivement pour les charges légères, notamment les piétons et parfois les cyclistes [5]

Ces obstacles peuvent être classés en deux grandes catégories : les obstacles naturels et les obstacles artificiels [9].

Obstacles naturels :

- Cours d'eau (rivières, fleuves)
- Reliefs accidentés (vallées, pentes)
- etc.

Obstacles artificiels :

- Routes et autoroutes
- Voies ferrées
- Canaux artificiels

1.1.2 Historiques des passerelles piétonnes

Les premières structures dédiées aux piétons remontent à l'époque romaine, avec des ponts en bois comme le **Pont Sublicius** sur le Tibre (624 av. J.-C.) [10] celui érigé sur le Rhin sur l'ordre de Jules César (55 av. J.-C.). Au Moyen Âge, des édifices en bois à treillis, tels que le **Kapellbrücke** de Lucerne (~1365), reliaient les centres urbains [11].

Avec la Révolution industrielle, l'essor de l'acier permit la création de passerelles plus durables et robustes, comme le **pont de fer d'Iron Bridge** (1781) [12]. Le XIX^e siècle vit l'avènement des passerelles suspendues, à l'image du **Clifton Suspension Bridge** (1864) [13].

Au XX^e siècle et au-delà, ces ouvrages sont devenus des symboles urbains, intégrant des exigences esthétiques, vibratoires et d'accessibilité. Des projets emblématiques tels que le **Millennium Bridge** (Londres) [7] ont souligné les défis liés au confort et à la dynamique des piétons, tandis que des designs contemporains comme le **Peace Bridge** à Calgary illustré à la Figure 1-1 [14] illustrent l'usage de la passerelle comme élément patrimonial et identitaire.



Figure 1-1: Peace bridge, calgary

1.1.3 Eléments constitutifs d'une passerelle

Une passerelle piétonne, tout comme un pont classique, est composée de **deux grandes parties structurelles principales : l'infrastructure et la superstructure** [9]. À celles-ci s'ajoutent **les éléments d'accès**. La Figure 1-2 illustre ces principaux éléments.

1. L'infrastructure

L'infrastructure correspond aux **éléments enterrés ou au contact direct du sol** qui assurent la transmission des charges de la passerelle vers le terrain naturel. Elle comprend :

- **Les fondations** : Elles peuvent être superficielles ou profondes selon la nature du sol.
- **Les appuis (culées et piles)** :
 - **Culées** : appuis situés aux extrémités de la passerelle qui soutiennent le tablier.
 - **Piles** : appuis intermédiaires (si la portée est importante).

2. La superstructure

La superstructure désigne la partie supérieure qui assure le franchissement.

Elle se compose de :

- **Le tablier** : élément horizontal principal sur lequel circulent les piétons et parfois les cyclistes.
- **Les poutres longitudinales et transversales** : éléments porteurs du tablier.
- **Les éléments de protection** :
 - **Garde-corps** : assurent la sécurité latérale des usagers.
 - **Mains courantes** : dispositifs d'appui pour les piétons.

La Figure 1-2 présente les éléments structuraux principaux

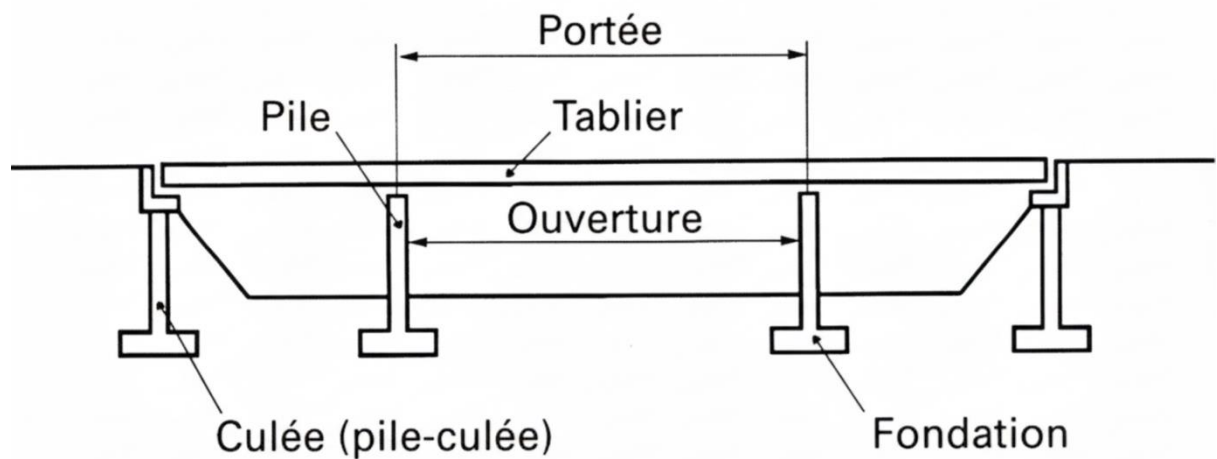


Figure 1-2: Eléments structuraux principaux de la passerelle

3. Les éléments d'accès

L'accessibilité doit être garantie pour tous les usagers, notamment les personnes à mobilité réduite (PMR). Des rampes d'accès douces et larges [15].

- **Escaliers** : accès direct et compact pour les piétons.
- **Rampes** : pentes douces permettant l'accès aux fauteuils roulants, vélos, etc.

1.1.4 Classification des passerelles

De la même manière que les ponts, les passerelles peuvent également être classées selon six critères, notamment **la nature de la voie portée, les matériaux de construction, la mobilité, la vue en plan du tablier, la position du tablier et la constitution du tablier.**

1. Selon la nature de la voie portée [16]

- **Passerelles piétonnes** : réservées aux piétons.
- **Passerelles cyclables** : réservées aux cyclistes.
- **Passerelles mixtes** : partagées entre piétons et cyclistes.

2. Selon les matériaux de construction

- **Bois, Acier, Béton armé, Béton précontraint, Matériaux composites**

3. Selon la mobilité

- **Fixes** : structure permanente.

Exemple : Passerelle de l'instigo-Goma

- **Mobiles** : sections amovibles ou pivotantes pour laisser passer des engins hors gabarit tel qu'illustré à la Figure 1-3. Exemple : **Gateshead Millennium Bridge** [17], **Scale Lane Footbridge**, etc.



Figure 1-3: Passerelle de Gateshead Millennium Bridge

4. Selon la vue en plan du tablier [9]

- **Droites** : L'axe longitudinal de la passerelle est perpendiculaire aux lignes d'appui transversales. Si cet axe est aussi perpendiculaire à l'axe de la voie franchie, l'angle de franchissement est dit droit.
- **Courbes** : Son axe en plan suit un arc circulaire ou un raccordement progressif.
- **Biais** : L'axe longitudinal de la passerelle forme un angle biais avec les lignes d'appui transversales (biais géométrique). Si un angle biais existe entre l'axe longitudinal de la passerelle et celui de la voie franchie, il s'agit d'un biais de franchissement.

Les Figure 1-4, Figure 1-5, **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** illustrent ces trois types de disposition en plan de la passerelle.

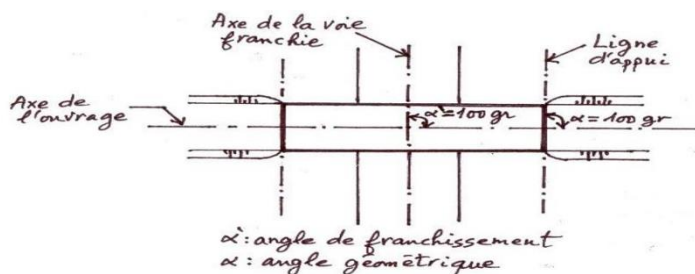


Figure 1-5: Vue en plan d'une passerelle droite

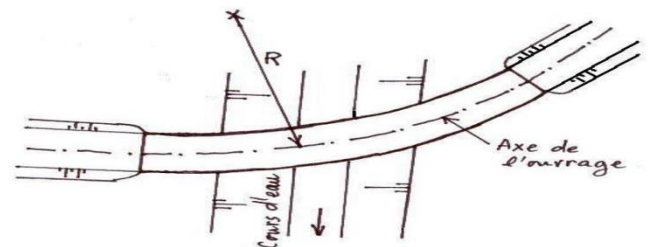


Figure 1-4: Vue en plan d'une passerelle courbe

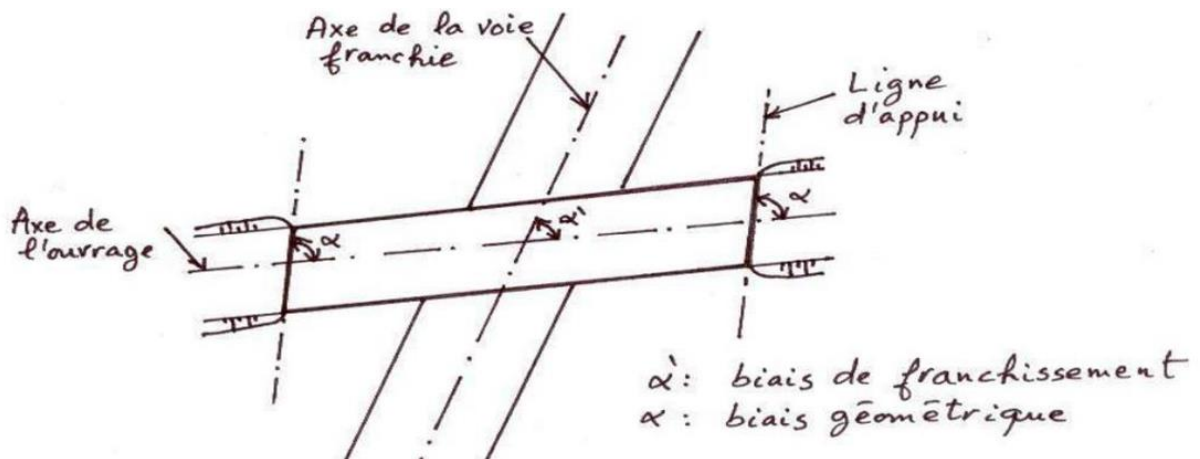


Figure 1-6: Vue en plan d'une passerelle biais

5. Selon la position du tablier ou fonctionnement mécanique

- **Tablier supérieur, Tablier inférieur, Tablier intermédiaire**

6. Selon la constitution du tablier

- **Tablier à poutres** multiples, poutres en caissons, a dalles

1.1.5 Les grandes familles des passerelles

De la même manière que les ponts, les passerelles peuvent être classées en fonction de leur principe structural. On distingue généralement **trois grandes familles**, notamment **les passerelles à poutres, à câbles et en arc**.

1.1.5.1 Passerelles à poutres

Ce sont les plus courantes et les plus simples à concevoir. Elles se composent d'un tablier porté directement par des poutres droites, travaillant principalement en flexion. Les poutres peuvent être en acier, en béton armé, en béton précontraint ou en bois. Ce type de passerelle est adapté aux portées courtes à moyennes et offre une grande facilité de construction.

1.1.5.2 Passerelles à câbles

Elles utilisent des câbles porteurs travaillant en traction pour soutenir le tablier. On y retrouve plusieurs sous-types :

- **Passerelles suspendues** : Tablier suspendu à des câbles principaux ancrés à des pylônes
- **Passerelles Haubanées** : Tablier soutenu par des câbles inclinés (haubans) ancrés sur un ou plusieurs pylônes comme le montre la Figure 1-7.

Ces structures permettent de franchir de grandes portées tout en conservant une esthétique légère. Exemple **Passerelle de Laroin-france**



Figure 1-7: Passerelle haubanée de Laroin-France

1.1.5.3 Passerelles en arc

Leur principe repose sur un arc porteur travaillant principalement en compression. Le tablier peut être situé au-dessus, ou en dessous de la structure. L'arc transmet les charges aux appuis [9].

1.2 Les systèmes de dalles

1.2.1 La dalle pleine

1.2.1.1 Définition

Une dalle est un élément horizontal parfois incliné (paillasse de l'escalier), généralement de forme rectangulaire, dont une des dimensions (l'épaisseur h) est petite par rapport aux deux autres (les portées l_x et l_y), destiné à supporter des charges et à les transmettre aux éléments

porteurs (poutres, voiles ou appuis directs). On désigne par l_x la plus petite des portées et l_y la plus grande des portées [18].

1.2.1.2 Avantages et inconvénients

Les avantages d'une dalle pleine incluent :

- Simplicité de conception et de mise en œuvre.
- Bonne rigidité et résistance aux charges concentrées.
- Adaptabilité à différentes formes et géométries.

Cependant, elle présente aussi des **inconvénients** :

- Poids propre élevé, ce qui augmente les efforts sur les appuis et les fondations.
- Consommation importante de béton et d'acier, ce qui peut accroître le coût global.
- Portées limitées sans recours à des épaisseurs importantes ou à la précontrainte.

Dans le cas des **passerelles piétonnes**, les dalles pleines peuvent être utilisées comme tablier porteur, reposant directement sur des poutres. Elles sont particulièrement adaptées aux portées courtes et moyennes [9]. Exemple : **Passerelle Mativa – Liège, Belgique** [19].

1.2.2 La dalle réticulée

1.2.2.1 Définition

La dalle réticulée, également connue sous le nom de dalle gaufrée ou plancher réticulé, est une structure en béton armé caractérisée par un réseau de nervures orthogonales. Contrairement aux dalles pleines traditionnelles, elle intègre des vides créés par des blocs allégés ou des caissons récupérables. Cette conception permet de réduire considérablement le poids propre de la dalle tout en maintenant une capacité portante élevée.

L'épaisseur d'une dalle réticulée est déterminée par la hauteur des blocs ou caissons utilisés, à laquelle s'ajoute l'épaisseur de la table de compression. Cette modularité permet d'adapter la dalle aux exigences spécifiques de chaque projet.

Dans le cas des passerelles, la dalle réticulée offre plusieurs avantages :

- **Allègement structurel**, réduisant les charges sur les appuis et fondations.
- **Optimisation des matériaux**, avec moins de béton plein à couler.
- **Grande portée**, L'un des atouts majeurs de la dalle réticulée est sa capacité à franchir de grandes portées sans nécessiter de poteaux intermédiaires.
- **esthétique soignée**, notamment lorsque les caissons sont apparents en sous-face, comme le montre la Figure 1-8.



Figure 1-8: Dalles Réticulées

1.2.2.2 Types de Dalles Réticulées

Il existe principalement deux grandes catégories de dalles réticulées, dont la distinction réside dans la méthode d'allègement utilisée :

1. Dalles Réticulées à Blocs Perdus

Ces dalles utilisent des blocs qui restent en place après le coulage du béton, servant à la fois de coffrage et de remplissage.

Ce type de dalle est apprécié pour sa facilité d'installation et sa capacité à alléger efficacement la structure tout en conservant une performance structurelle excellente.

2. Dalles Réticulées à Caissons Récupérables

Dans ce système, des caissons réutilisables sont mis en place pour créer les vides dans la dalle. Une fois le béton durci, ces caissons sont retirés, laissant une structure nervurée comme illustré sur la Figure 1-9. Ce qui peut être économiquement avantageux sur de grands projets ou des projets répétitifs.



Figure 1-9: Dalles Réticulées à Caissons Récupérables

1.3 Conclusion partielle

En résumé, ce chapitre a présenté les généralités sur les passerelles piétonnes et sur les dalles. Nous avons vu leurs définitions, leurs rôles, leurs éléments constitutifs ainsi que les différents types de dalles utilisés comme tablier. Ces notions théoriques nous permettront d'aborder plus facilement la conception et l'analyse comparative qui seront développées dans les chapitres suivants.

Chapitre 2

Méthodologie

Dans ce chapitre, nous présentons le site d'implantation de la passerelle, puis les principes de conception géométrique, les étapes de prédimensionnement ainsi que les différentes charges appliquées sur l'ouvrage.

2.1 Présentation du site

Le site pour la conception de la passerelle piétonne se situe dans la ville de **Goma**, chef-lieu de la province du Nord-Kivu, en République Démocratique du Congo.

L'emplacement précis est sur le **tronçon de la Route Nationale n°2 (RN2) au niveau du marché Alanine** comme représenter par l'image de google maps à la Figure 2-1 .

- **Coordonnées géographiques** : Latitude $\approx -1.662418^\circ$, Longitude $\approx 29.204391^\circ$ (extraites de Google Maps).
- **Contexte urbain** : l'emplacement est au cœur d'une zone à forte densité commerciale, caractérisée par une importante concentration d'activités économiques et un flux constant de piétons et de véhicules.
- **Accessibilité** : le site se situe à proximité de repères notables tels que le Bureau de la Commune de karisimbi, la Pharmacie Divine et plusieurs établissements commerciaux

Ce tronçon est caractérisé par :

- Une **activité commerciale**, générant un flux quotidien et important de piétons.
- Un **trafic routier dense**, constitué de véhicules légers, motos, bus et camions, etc.
- Des **ralentissements fréquents de circulation**, causés par la cohabitation difficile entre piétons et véhicules.

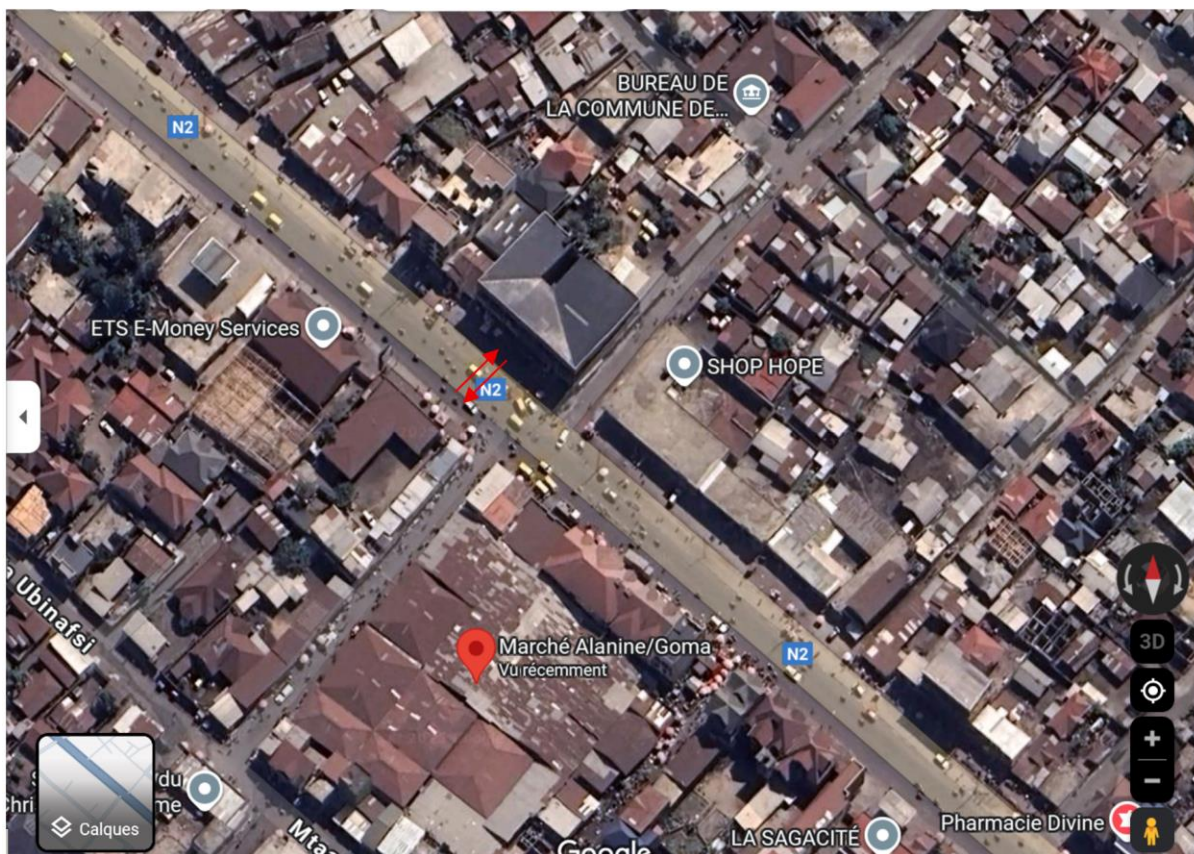


Figure 2-1: Localisation du site d'implantation

En raison de l'intensité du trafic routier et piétonnier, le site présente une **forte problématique de sécurité et de fluidité de circulation**. Les piétons traversent directement la RN2 pour accéder au marché, ce qui accroît les risques d'accidents et engendre des ralentissements pour les véhicules.

Afin de répondre à cette situation, la passerelle piétonne projetée sera implantée perpendiculairement à la RN2, de manière à relier directement l'avenue du haut et l'avenue du bas. Il s'agira d'une passerelle droite, garantissant un franchissement simple et direct. Les escaliers et rampes d'accès seront disposés de part et d'autre de la route, à proximité immédiate de ces deux avenues.

Enfin, la structure retenue pour ce projet est celle **d'une passerelle à poutres en béton armé**, un système simple, robuste et particulièrement adapté aux franchissements de portée moyenne. Les différentes familles de passerelles présentent des portées caractéristiques qui permettent de

justifier le choix de cette typologie. Le Tableau 2-1 donne des illustrations de la portée de passerelles selon leur typologie

Tableau 2-1: Gammes de portées des différentes familles de passerelles [16].

Typologies de passerelles	Portées (m)	
	Min	Max
Passerelles à tablier en béton armé et non armé		
Poutre en béton armé	5	25
Dalle pleine en béton armé	5	15
Passerelles à tablier en béton précontraint		
Poutre en béton précontraint	10	40
Dalle pleine en béton précontraint	10	25

2.2 Conception géométrique et prédimensionnement

Dans ce point, nous présentons les choix géométriques fondamentaux et les règles de prédimensionnement qui guident la conception de la passerelle piétonne projetée. La conception suit les recommandations du **SETRA**, de l'**Eurocode 1** et des guides de conception du **Cerema**.

2.2.1 Conception géométrique

La géométrie de la passerelle dépend à la fois des **contraintes urbaines** du site et des **normes de confort et de sécurité des piétons**.

Afin d'assurer la cohérence de ces paramètres avec la réalité locale, **nous avons effectué une descente sur terrain** au niveau du marché Alanine. Cette visite a permis :

- De prendre les **mesures précises de la largeur de la chaussée (RN2)** et de ses accotements ;
- D'évaluer la **hauteur minimale sous la passerelle** en observant le gabarit des véhicules lourds (notamment les camions) circulant sur cet axe.

- **L'identification des flux piétonniers** et des points d'accès les plus fréquentés a permis de confirmer le positionnement des éléments d'accès (escaliers et rampes) à proximité des avenues adjacentes, afin d'assurer une liaison transversale efficace entre elles.

Les paramètres géométriques retenus sont présentés dans les sections suivantes.

2.2.1.1 La portée (L)

La portée est calculée en considérant la largeur de la chaussée (11 m) et celle des trottoirs (3 m), à laquelle s'ajoutent 1,70 m de chaque côté pour permettre le positionnement sécurisé des poteaux face aux éventuels chocs de véhicules et pour intégrer les dispositifs de protection et de signalisation, tout en préservant la largeur des accotements. Ainsi, la portée totale adoptée est de **17,4 m** telle que présenté sur la Figure 2-2.

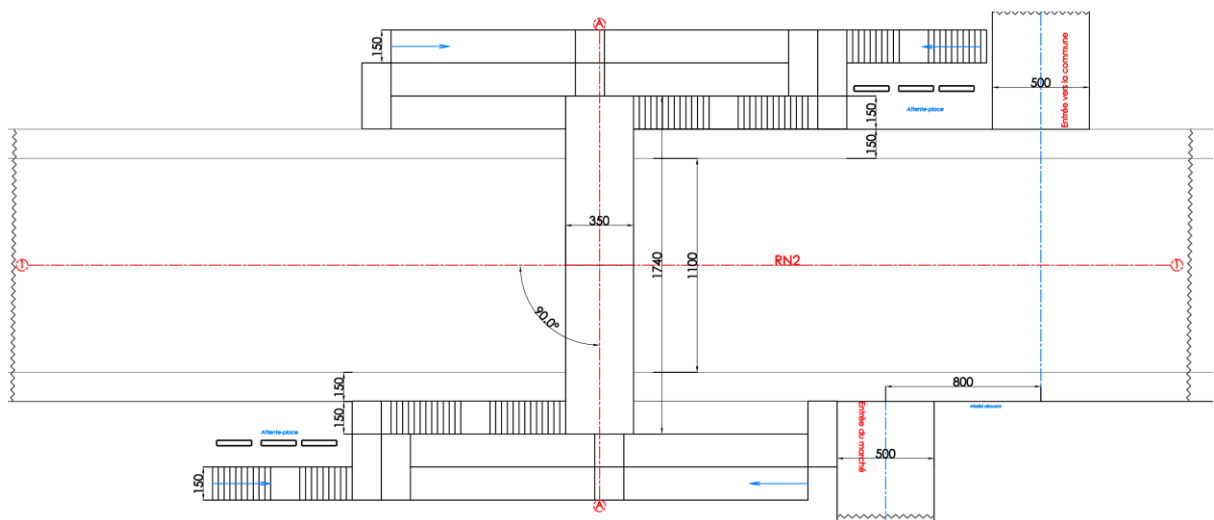


Figure 2-2: Vue de dessus de la passerelle implantée

2.2.1.2 Largeur du tablier

Pour définir des largeurs utiles correspondant aux gabarits dynamiques, des marges sont prises autour des gabarits statiques. Lorsque le cheminement se fait le long d'un élément continu (mur, garde-corps vertical...), une marge complémentaire est prise en compte pour tenir compte de l'effet de paroi qui tend naturellement à écarter le piéton ou cycliste de cet élément linéaire. L'effet de paroi minimal est estimé à 25 cm pour un piéton [16].

- **Piéton** : Pour un piéton, on considère des marges de 12,5 cm de part et d'autre du gabarit statique de 75 cm pour définir un gabarit dynamique de 1 m ; telle qu'illustré sur la Figure 2-3. Le gabarit en hauteur recommandé est de 2,20 m.

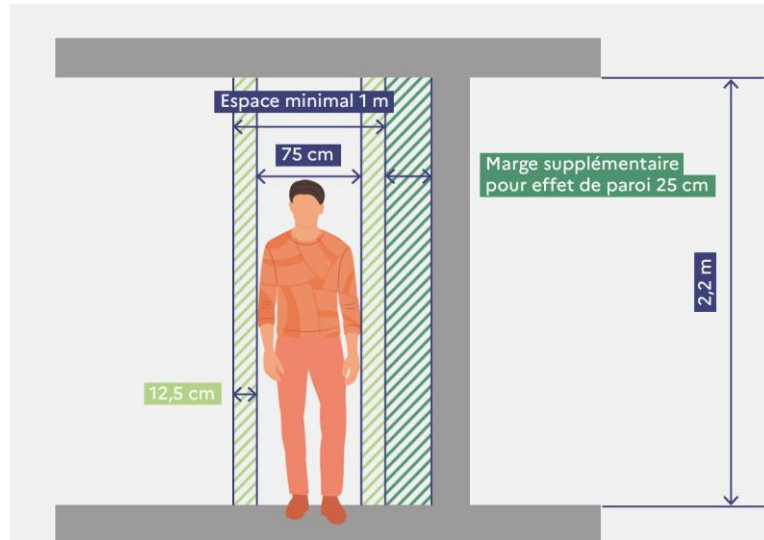


Figure 2-3: Gabarit dynamique d'un piéton [16]

- **Usage en fauteuil roulant** : La réglementation relative à l'accessibilité de la voirie et des espaces publics définit des gabarits pour les usagers en fauteuil roulant sans assistance électrique. L'espace d'usage associé est un rectangle de 1,30 m de long pour 0,80 m de large. Cette réglementation prévoit un diamètre de 1,50 m pour les espaces de manœuvre telle qu'illustré sur la Figure 2-4.

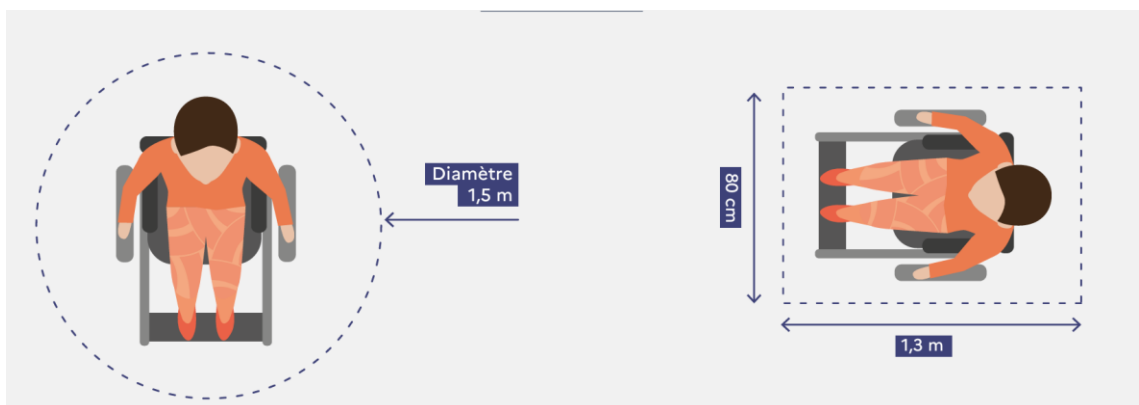


Figure 2-4: Gabarit dynamique d'un usager en fauteuil roulant [16]

- **Cycliste**

Pour un cycliste, on considère des marges de 12,5 cm de part et d'autre du gabarit statique de 75 cm pour définir un espace minimal de 1 m, auquel il convient d'ajouter des marges supplémentaires de 25 cm pour garantir un dégagement latéral confortable. Ceci définit un gabarit dynamique en largeur de 1,50 m ; telle qu'illustré sur la figure 2-6. Le gabarit en hauteur recommandé est de 2,50 m.

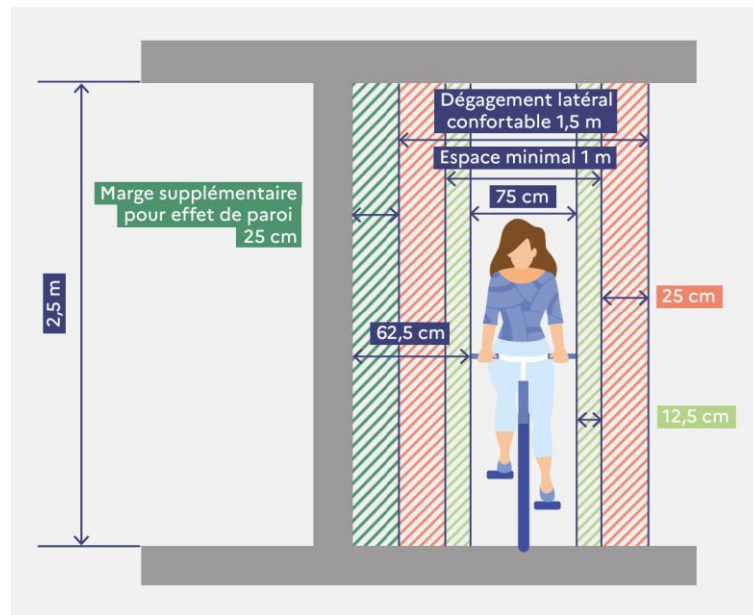


Figure 2-5: Gabarit dynamique d'un cycliste [16]

En raison de la densité piétonne aux abords du marché, la largeur de la passerelle a été fixée à **3,5 m**. Cette dimension permet le passage simultané de **trois piétons**, ou de **deux piétons accompagnés d'un usager en fauteuil roulant**, ou de **deux cyclistes circulant côte à côte**, tout en offrant la possibilité, dans des situations exceptionnelles de **deux piétons et un cycliste**. Le gabarit en hauteur est fixé à **2,5 m**, assurant un confort optimal pour tous les usagers. Ce choix répond aux exigences des gabarits dynamiques réglementaires et garantit une circulation fluide et sécurisée.

- **Hauteur libre (h) :**

Suite à la descente effectuée sur le site, nous avons constaté que la hauteur libre devait être supérieure à 5 m afin de permettre le passage des véhicules lourds, comme illustré sur la Figure

2-6. La hauteur libre retenue est **de 6 m**, conformément aux recommandations du guide du CEREMA [16].



Figure 2-6: Hauteur de camion sur site

- **Escalier d'accès** : le guide du cerema recommande une hauteur maximale de contre marche $H_{cm}=16\text{cm}$ et la largeur du giron minimale $g=28\text{cm}$ (valeurs retenue $H_{cm}=15\text{cm}$ et $g=30\text{ cm}$ tout en respectant la formule de BLONDEL $60\text{cm} \leq g+2H \leq 64\text{cm}$)
- **Rampe d'accès** : Afin de garantir une mobilité douce, les rampes d'accès nous les concevons avec une succession de pentes : une première portion de 10 % sur 2 m, suivie d'une pente intermédiaire de 15 % sur 5,5 m, puis d'une dernière portion de 10 % sur 2 m. La pente moyenne obtenue est **de 12,8 %**.

2.2.2 Prédimensionnement des éléments structuraux

Le prédimensionnement consiste à définir les dimensions initiales des éléments porteurs de la passerelle avant le calcul détaillé en suivant une norme ; nous utiliserons les instructions de SETRA.

2.2.2.1 Poutre principale

Les poutres sont des porteurs horizontaux en béton armé (notre cas) destinés à recevoir les charges descendues par le tablier et à les transmettre aux appuis (poteaux).

La hauteur de poutre est comprise entre : $\frac{L}{20}$ et $\frac{L}{15}$ avec **L=1740cm**

$H_p = [\frac{1740}{20} ; \frac{1740}{15}] = [87 ; 116]$; nous maintenons **Hp=90cm** Et la base b est comprise entre $\frac{H}{5}$ et $\frac{H}{2}$; nous maintenons **bp=45cm**. la géométrie maintenue est représentée par La Figure 2-7

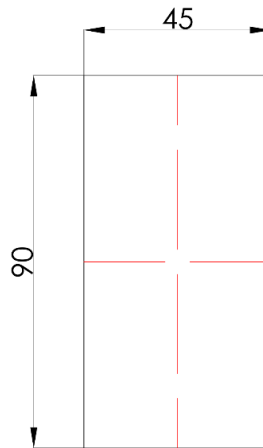


Figure 2-7: Géométrie des poutres principales

Le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** donne le nombre de poutre principale en fonction de la largeur du tablier

Tableau 2-2: Nombre de poutre en fonction de la largeur du tablier [9]

L _{tablier} (m)	<6	6_9	9_11	11_14
Nombre de poutres	2	3	4	5

Dans notre cas, la largeur du tablier vaut 3,5m. nous avons donc **N=2 poutres**

2.2.2.2 Entretoises

Les entretoises sont des éléments transversaux placés entre deux poutres principales pour les relier et éviter leur déformation latérale.

La hauteur h_e de l'entretoise varie comme suit : $0,6H_p < h_e < 0,9H_p$. Nous retenons $h_e = 60\text{cm}$ et nous prenons $b_e = 30\text{cm}$. la géométrie de l'entretoise maintenue est représentée par la Figure 2-8

Les entretoises seront au nombre de **quatre**, disposées de manière à créer trois intervalles successifs de 5 m, 7,4 m et 5 m.

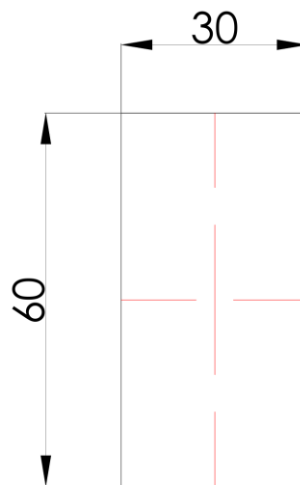


Figure 2-8: Géométrie des entretoises

2.2.2.3 Culée en forme des poteaux

Les poteaux constituent des éléments porteurs en béton armé, assurant la transmission des efforts verticaux vers la fondation, notamment la semelle.

Selon les recommandations de conception R.P.A 99, le minimum entre la largeur de base b_c et la hauteur h_c du poteau doit satisfaire la condition suivante :

$$\min (b_c, h_c) \geq \frac{h}{20} \quad 2-1$$

Et La hauteur h_c doit être comprise entre b_c et quatre fois b [20].

- b_c : largeur de la base du poteau,
- h_c : hauteur du poteau,
- h : hauteur entre la face supérieure du tablier et la jonction avec la fondation.

Pour le projet considéré, la **hauteur totale de l'ouvrage** est de 7 m et la profondeur de fondation est estimée à environ $h/10$ [21], soit **1 m**. Par conséquent, la **hauteur totale du poteau** est de **8 m**.

En appliquant la condition précédente :

$$\min(b_c, h_c) \geq \frac{800}{20} = 40 \text{ cm}$$

La géométrie du poteau est définie par les valeurs suivantes :

- **$b_c = 45 \text{ cm}$**
- **$h_c = 70 \text{ cm}$**

Selon BAEL 91 la Critère de stabilité pour un poteau est vérifiée, lorsque l'élancement défini par : $\lambda = \frac{Lf}{i}$ est $\lambda < 50$

Avec : **Lf**= la longueur de flambement et **i** le rayon de giration

$$i = \sqrt{\frac{I}{S}} \quad ; \quad I \text{ étant le moment d'inertie } I = \frac{b_c \cdot h_c^3}{12} \text{ et } S \text{ la section transversale du poteau } S = b_c \cdot h_c$$

Lf=K.L, avec K est pris égal à 0,7 si le poteau est à ses extrémités

- Encastré dans un massif de fondation
- Assemble par des poutres de plancher le traversant de part et d'autre, et ayant la même raideur

$$\text{Alors } \lambda = \frac{0,7 \times 800 \text{ cm}}{\sqrt{\frac{45 \times 70^3}{12}}} = 27,71 \text{ la condition de stabilité est vérifiée ainsi la géométrie finale}$$

du poteau est représentée par la Figure 2-9

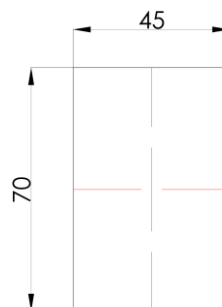


Figure 2-9: Géométrie du poteau

2.2.2.4 Tablier

Le tablier c'est l'élément horizontal principal sur lequel circulent les piétons et les cyclistes.

2.2.2.4.1 Tablier en dalle pleine

Une dalle pleine est un élément horizontal, généralement de forme rectangulaire, dont une des dimensions (l'épaisseur h_0) est petite par rapport aux deux autres (les portées l_x et l_y). On désigne par l_x la plus petite des portées et l_y la plus grande des portées.

On définit ensuite un coefficient α comme étant le rapport $\alpha = \frac{l_x}{l_y} \leq 1$

- Si $\alpha < 0,4$, la dalle est considérée comme **portée dans un seul sens**.
- Si $0,4 \leq \alpha \leq 1$, la dalle est considérée comme **portée dans les deux sens**.

Dans notre cas, les dimensions de la dalle sont : $l_x=350\text{cm}$ et $l_y=1740\text{cm}$ telle qu'illustre sur la Figure 2-10.

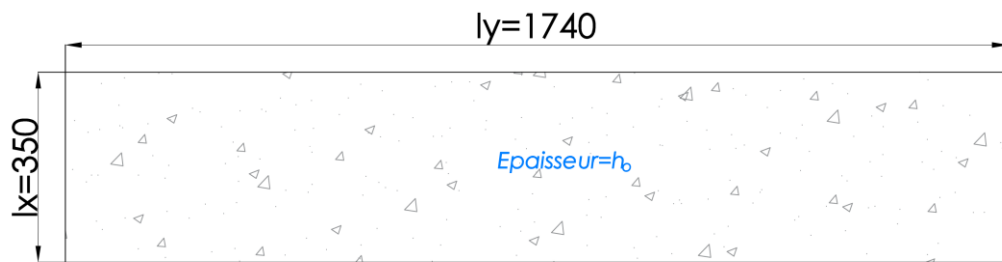


Figure 2-10: Dimension de la dalle pleine

D'où $\alpha = \frac{350}{1740} = 0.2 < 0.4$ Ainsi, la dalle est **portée dans un seul sens**, et son calcul est assimilé à celui d'une **poutre de 1 m de largeur et de hauteur h_0** [20].

L'épaisseur de la dalle est comprise entre 16 et 25 cm conformément aux normes de Setra, nous prenons pour notre étude **$h_0=20\text{cm}$**

2.2.2.4.2 Tablier en dalle réticulée à caissons récupérables

Les paramètres géométriques à définir pour une dalle réticulée à caissons récupérables sont présentés et illustrés sur la Figure 2-11.

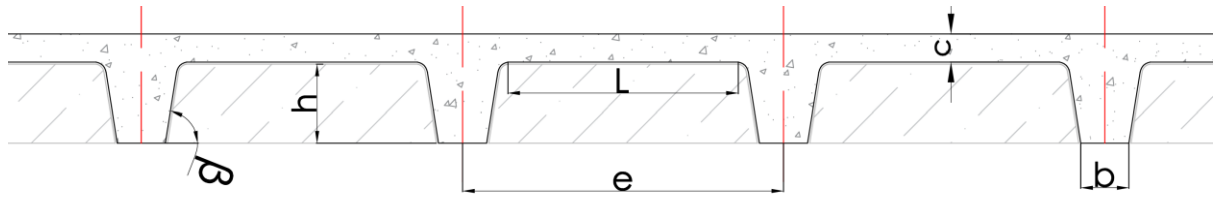


Figure 2-11: Géométrie de la dalle réticulée

Avec :

- h = la hauteur du caisson récupérable
- L = Portée libre entre nervure
- e = Entraxe
- b = largeur d'une nervure
- c = épaisseur de la dalle de compression
- β = angle d'inclinaison au pied d'une nervure

a. Hauteur des caissons

Les dimensions des caissons récupérables disponibles dans le marché sont d'une hauteur de 20, 25, 30, 35 et 40 cm [22].

b. Entraxes

La distance maximale entre les nervures est égale à 1m. 1 mètre est la valeur maximale fixé par la norme EHE pour les dalles allégées. L'entraxe commercial le plus répandu est limité à 80 cm dans les deux directions, et c'est le plus recommandé [22].

c. Géométrie des nervures

Les limitations traditionnelles exigent que les nervures des dalles réticulées aient une largeur minimale (b) de 7cm et supérieure au quart de la hauteur du caisson (h). $b \geq 7\text{cm}$ et $b \geq \frac{h}{4}$

Les investigations menées sur le marché espagnol affirment que la largeur minimale des nervures des dalles réticulées est de :

- Caisson en blocs perdus $b \geq 10\text{cm}$
- Caisson a caissons récupérables $b \geq 12\text{cm}$

Les caissons récupérables doivent avoir une inclinaison de 81° au pied des nervures afin de faciliter le décoffrage des caissons après le durcissement du béton [22].

d. La couche de compression

Jusqu'à l'apparition de l'EHE, toutes les versions des normes espagnoles fixaient l'épaisseur (c) de la couche de compression, pour le cas des blocs perdus à 5 au minimum. Pour les caissons récupérables on a $C \geq \frac{L}{10}$: où L est la portée libre entre nervures.

Selon la norme actuelle EHE, article 56.2 : « la séparation entre les axes des nervures ne doit pas dépasser 100cm et l'épaisseur de la couche de compression ne doit pas être inférieure à 5cm [22].

e. Les panneaux

La zone massive entourant les poteaux comme le montre la Figure 2-12 dans les dalles réticulées est appelée **panneau**. Son rôle principal est d'assurer la transmission des charges reprises par les nervures vers les poteaux, tout en contribuant à la résistance à l'effet de poinçonnement développé autour de ces derniers.

Par prédimensionnement, la distance entre le centre du poteau et le bord du panneau est égal à $L/6$, où L représente la portée de la dalle dans la direction parallèle considérée [23].



Figure 2-12: Caissons récupérables à proximité des poteaux

2.3 Evaluation de charges

Dans cette section, nous présentons les différentes charges considérées dans le dimensionnement de la passerelle piétonne.

2.3.1 Charges permanentes

Dans le cadre de l'analyse de charges permanentes de la passerelle, le béton retenu pour les éléments structuraux (**Dalle pleine, dalle réticulée, poteaux, poutres et entretoises**) présente un poids volumique moyen de **25 kN/m³**, correspondant à un béton armé courant (classe C25/30 selon l'Eurocode 2). Cette valeur est utilisée pour le calcul du poids propre des éléments de la structure.

Les charges permanentes notées **G** regroupent le poids propre de la structure et des éléments non démontables. Elles comprennent :

- Le poids propre des éléments porteurs (**dalle pleine ou dalle réticulée, poutres principales, entretoises, poteaux**) ;
- Le poids des garde-corps ;
- Le poids des escaliers et rampes d'accès ;
- Éventuelles charges d'équipements fixes (**revêtement de sol, etc.**)

a. Poids propre du tablier

- **Tablier en dalle pleine**

$$\text{Volume du béton} = l_x \cdot l_y \cdot h_o = 3,5m \cdot 17,4m \cdot 0,2m = \mathbf{12,18m^3}$$

$$G_{\text{dallepleine}} = 12,18m^3 \cdot 25 \frac{KN}{m^3} = \mathbf{304,5kN \text{ ou}}$$

$$G_{\text{dallepleine}} = 0,2m \cdot 25 \frac{KN}{m^3} = \mathbf{5kN/m^2}$$

- **Tablier en dalle réticulée a caisson récupérable (20+7)**

Le volume de la dalle réticulée à caissons récupérables est fourni par le logiciel CYPECAD, exprimé en m³/m². La Figure 2-13 présente les paramètres pour une dalle réticulée de type 20+7.

Plancher 'dallepasserelle20+7'

Référence: ALSINA 20+7 NERVIO 12 SEP-NER 80

☒ Dispose de demi-caissons

Données géométriques: ☒ Égales en X et en Y ☐ Différentes en X et en Y

Épaisseur totale (h) 27.0 cm

Dalle de compression (c) 7.0 cm

Entraxe (b) 80.0 cm

Largeur de la nervure (a) 12.0 cm

Hauteurs (cm)		Largeurs (cm)	
h - c	20.0	a4	23.0
h3	14.0	a3	16.5
h2	0.0	a2	16.0
h1	0.0	a1	14.0

☒ Volume de béton 0.147 m³/m²

☒ Poids propre 3.61 kN/m²

Accepter Annuler

Figure 2-13: Paramètres pour une dalle réticulée 20+7 dans CYPECAD

Volume du béton= 0,147 m³/m² soit Volume du béton=0,147.3,5.17,4=8,9523m³

$$G_{\text{dalle-reticulée}} = 8,9523 \text{ m}^3 \cdot 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} = 223,8 \text{ KN ou}$$

$$G_{\text{dalle-reticulée}} = 3,61 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

b. Poutre principale

$$G_{\text{poutre}} = 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \cdot 0,45 \text{ m} \cdot 0,9 \text{ m} = 10,125 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

c. Entretoise

$$G_{\text{entretoise}} = 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \cdot 0,3 \text{ m} \cdot 0,6 \text{ m} = 4,5 \frac{\text{KN}}{\text{m}}$$

d. Poteau

$$G_{\text{poteau}} = 25 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3} \cdot 0,45 \text{ m} \cdot 0,7 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 81 \text{ KN}$$

2.3.2 Charges d'exploitation

Ces charges correspondent aux actions liées à l'usage de la passerelle par les piétons et, éventuellement, les cyclistes. Conformément aux recommandations du guide du SETRA et de l'Eurocode 1, nous avons **l'action statique due aux piétons Q_{fk} , action sur les garde-corps et le véhicule de service.**

2.3.2.1 Action statique due aux piétons Q_{fk} [24]

L'Eurocode retient un modèle de charge qui couvre les effets des piétons et de cyclistes ; le maître d'ouvrage doit indiquer si la passerelle est susceptible de supporter une charge de foule dense. Dans ce cas, l'Eurocode 1 -partie 3 (charges sur le pont du aux trafics) -section 5 (Actions des piétons et des deux-roues et autres actions spécifiques sur les passerelles) prévoit une charge uniformément répartie de **5 kN/m²**, représentant une foule continue dense. Si ce n'est pas le cas, le chargement de foule est donné par la formule 2-2 :

$$Q_{fk} = 2 + \frac{120}{L + 30} \frac{KN}{m^2} \quad 2-2$$

Avec Q_{fk} compris entre 2,5 et 5 kN/m² et L la portée de l'ouvrage

Enfin, pour les passerelles d'une largeur exceptionnelle (par exemple plus de 6 m entre garde-corps), d'autres valeurs de charges peuvent être spécifiées pour le projet considéré, sur la base des considérations qui ont conduit au choix de la largeur.

La Figure 2-14 donne la densité de charge de foule de l'Eurocode hors cas de foule très dense.

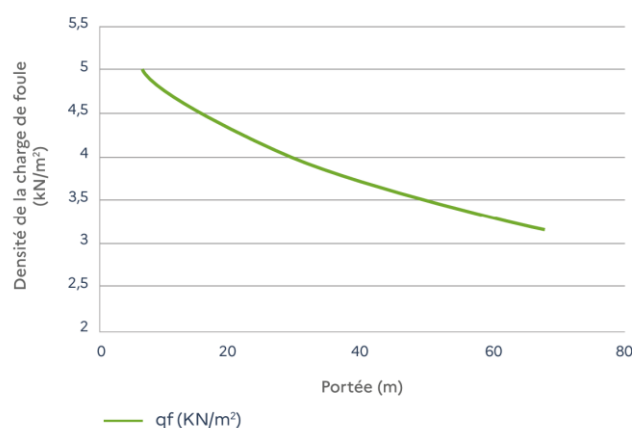


Figure 2-14: Densité de charge de foule de l'Eurocode hors cas de foule dense.

2.3.2.2 Action sur les gardes corps

L'Eurocode 1 prévoit une action linéaire **1,0kN/m**, considérée comme charge variable, horizontalement ou verticalement en tête du garde-corps. Cette charge représente les sollicitations exercées par les usagers sur les dispositifs de protection.

2.3.2.3 Véhicule de service

Concernant le véhicule de service, l'Eurocode précise que, dans le cas des passerelles, celui-ci doit être pris en compte lorsque cela est spécifié par le maître d'ouvrage. Ce véhicule peut être destiné à des interventions d'entretien, à des situations d'urgence (par exemple une ambulance ou un véhicule de pompiers), ou encore à d'autres usages particuliers.

Dans le cadre de notre projet, la prise en compte d'un tel véhicule ne sera pas retenue car la géométrie du projet ne le permet pas.

2.3.3 Charge accidentelle [24]

Les actions potentielles à considérer comprennent soit le choc d'un véhicule circulant sous l'ouvrage, le cas échéant, soit la présence accidentelle d'un véhicule lourd sur la passerelle. Selon le site d'implantation, une vérification de la résistance au feu de la structure peut également être nécessaire.

Concernant le choc de véhicules routiers, l'Eurocode précise que les passerelles, qu'il s'agisse des piles ou des tabliers, sont généralement beaucoup plus sensibles aux forces d'impact que les ponts routiers. Ainsi, l'Eurocode 1 -partie 3 (charges sur le pont du aux trafics) -section 5 (Actions des piétons et des deux-roues et autres actions spécifiques sur les passerelles) recommande que la manière la plus sûre de prendre en compte ces chocs consiste à protéger les passerelles :

- Par des dispositifs de retenue placés à des distances appropriées en amont des appuis ;
- Par un tirant d'air supérieur à celui des ponts routiers ou ferroviaires voisins franchissant la même route, en l'absence d'accès intermédiaire.

Concernant la présence accidentelle d'un véhicule sur la passerelle, si aucun obstacle permanent n'empêche son accès, l'Eurocode recommande de considérer un véhicule de 16

tonnes, dont les caractéristiques sont identiques à celles du véhicule de service. Si ce véhicule a déjà été pris en compte dans les situations durables, sa considération en situation accidentelle devient inutile.

Dans le cadre de notre étude, les forces d'impact sur les piles et les tabliers, ne seront pas considérées. Cette décision s'appuie sur la manière la plus sûre préconisée par l'Eurocode, qui consiste à protéger les passerelles.

Concernant la présence accidentelle d'un véhicule sur la passerelle, cette action ne sera pas retenue non plus, car elle correspond à une situation accidentelle très peu probable pour le site d'implantation choisi et la géométrie du projet ne permet sa présence.

2.3.4 Charge climatique

Les charges climatiques regroupent l'ensemble des actions dues aux conditions atmosphériques, principalement la neige, le vent et les variations de température. Leur intensité dépend de la localisation géographique, des caractéristiques du site.

Dans le cadre de cette étude, les actions de neige et de température ne seront pas considérées. Cette décision est justifiée par la localisation géographique du site d'implantation, à Goma (RDC), où les chutes de neige sont inexistantes et où les variations thermiques ne présentent pas une amplitude significative pouvant affecter la structure.

Selon la norme NV65 l'effet du vent q_v est calculé par la formule 2-3 :

$$q_v = 2,5 \times \frac{(h + 18)}{h + 60} \times q_{10} \quad 2-3$$

Avec q_{10} la pression dynamique de base et h la hauteur au-dessus du sol. Le

Tableau 2-3 ci-dessous donne les valeurs de q_{10} pour les zones de la RDC.

Tableau 2-3: Valeurs de la pression dynamique q_{10} pour les zones de la RDC

Zones de la RDC	q_{10} ($\frac{KN}{m^2}$) valeur normale	q_{10} ($\frac{KN}{m^2}$) valeur extrême
Zone 1 : Kinshasa, Bas congo Bandundu	0,5	0,875
Zone 2 : Kasai-Equateur	0,7	1,225
Zone 3 : Nord-Kivu ; Sud kivu Province-orientale ; maniema ;katanga	0,9	1,575

2.3.5 Evaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons [25]

Les actions exercées par les piétons sur les passerelles peuvent entraîner des phénomènes vibratoires. Ces phénomènes ne sont généralement pas préjudiciables pour la structure, mais peuvent créer une sensation d'inconfort pour l'utilisateur. Toutefois, dans certains cas, si la fréquence propre de la passerelle coïncide avec la fréquence d'excitation induite par la marche ou la course, un phénomène de **résonance** peut apparaître. Ce dernier peut amplifier fortement les vibrations et accentuer l'inconfort.

2.3.5.1 La marche d'un piéton

La marche des piétons est une action variable dans le temps et qui peut être classée dans la catégorie de charges périodiques, la marche humaine crée une excitation périodique dont la fréquence dépend du pas.

Classiquement, pour la marche normale (non gênée), la fréquence peut être décrite par une distribution gaussienne de moyenne 2 Hz et d'écart type 0,20 Hz environ (de 0,175 à 0,22 selon les auteurs).

La fonction périodique qui représente la marche d'un piéton peut être exprimée sous forme d'une série de Fourier donnée par la formule 2-4. C'est-à-dire une partie constante représentant la moyenne de la fonction périodique augmentée d'une somme infinie de forces harmoniques (forces sinusoïdales) qui traduisent les variations périodiques du mouvement.

$$F(t) = G_0 + G_1 \sin(2\pi f t) + \sum_{i=2}^n G_i \sin(2\pi i f t - \varphi_i) \quad 2-4$$

Avec

G_0 : la force statique (poids du piéton pour la composante verticale) ;

G_1 : l'amplitude de la première harmonique ;

G_i : l'amplitude de la i-ème harmonique ;

f : la fréquence de la marche ;

φ_i : le déphasage de la i-ème harmonique par rapport à la première ;

n : le nombre d'harmoniques prises en compte.

La valeur moyenne de 700 N peut être prise pour G_0 , poids d'un piéton

En décomposant la force exercée par un piéton en trois composantes principales une composante **verticale**, une composante **horizontale longitudinale** (dans le sens du déplacement), et une composante **horizontale transversale** ou **latérale** (perpendiculaire au déplacement).

Dans la pratique, pour le **dimensionnement des passerelles**, on se limite généralement à la **première harmonique** de la série de Fourier.

Les formules 2-5,2-6,2-7 donnent valeurs retenues pour ces composantes

- Verticalement

$$F_v(t) = G_0 + 0,4G_0 \sin(2\pi f t) \quad 2-5$$

- Transversalement

$$F_t(t) = 0,05G_0 \sin\left(2\pi \frac{f}{2} t\right) \quad 2-6$$

- Longitudinalement

$$F_l(t) = 0,2G_0 \sin(2\pi f t) \quad 2-7$$

2.3.5.2 La résonance

La résonance est un phénomène vibratoire qui se produit lorsqu'une fréquence d'excitation extérieure (par exemple la fréquence de la marche ou de la course des piétons) coïncide ou est très proche d'une fréquence propre de la structure. Dans ce cas, l'amplitude des oscillations augmente de manière significative, pouvant entraîner un inconfort pour les usagers et, dans certaines situations extrêmes, un risque pour la stabilité de l'ouvrage.

2.3.5.3 Méthodologie d'analyse vibratoire

La méthodologie d'analyse doit permettre de limiter les risques de mise en résonance de la structure sous les pas des piétons.

Le principe de la méthodologie est résumé par l'organigramme ci-après.

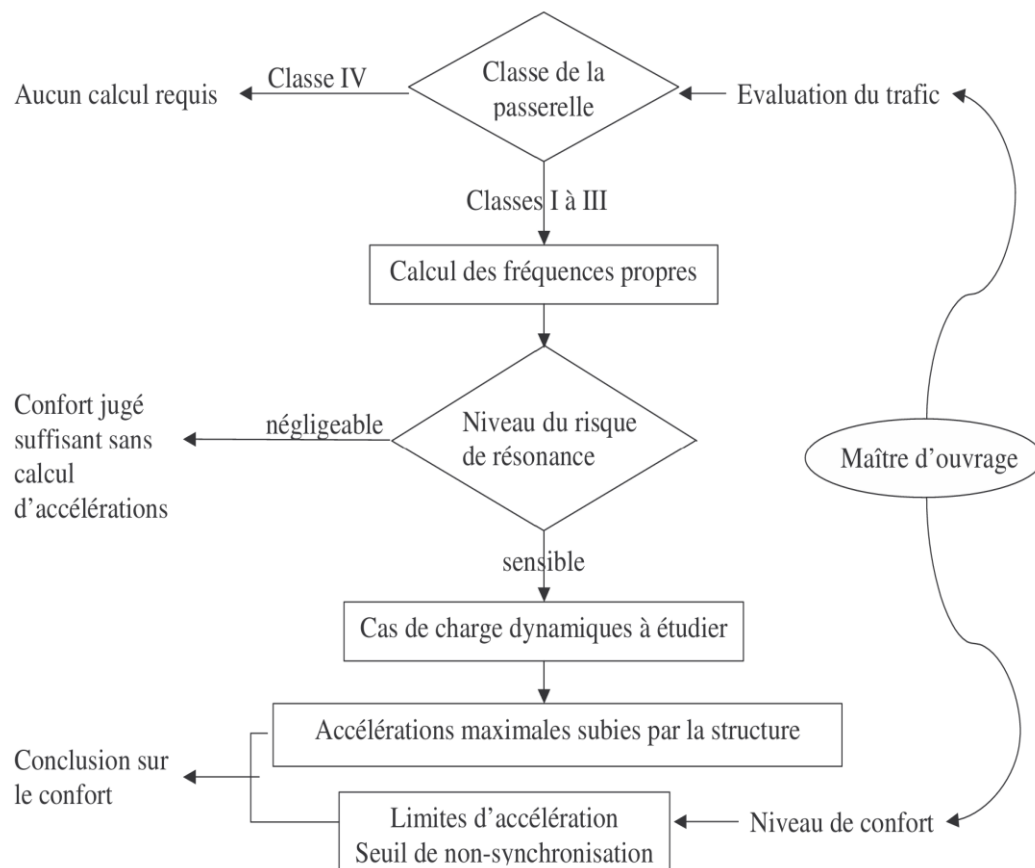


Figure 2-15: Diagramme de la méthodologie d'analyse vibratoire

1 Étape 1 : Détermination de la classe de la passerelle

Il appartient au maître d'ouvrage de fixer la classe de la passerelle en fonction des indications données ci-dessous et en tenant compte des évolutions possibles du trafic dans le temps.

Classe IV : passerelle très peu utilisée, construite pour relier des zones très faiblement peuplées ou pour assurer la continuité du cheminement piétonnier dans des zones coupées par une autoroute ou une voie rapide.

Classe III : passerelle normalement utilisée, pouvant parfois être traversée par des groupes importants mais sans jamais être chargée sur toute sa surface.

Classe II : passerelle urbaine reliant des zones peuplées, soumise à un trafic important et pouvant être parfois chargée sur toute sa surface.

Classe I : passerelle urbaine reliant des zones à forte concentration piétonnière (présence d'une gare ou d'une station de métro à proximité, par exemple) ou fréquemment empruntée par des foules denses (manifestations, touristes ...), soumise à un trafic très important.

Dans le cadre de ce travail, nous avons choisi de dimensionner une **passerelle de classe III**. Ce choix est justifié par les conditions réelles d'exploitation du site du marché Alanine, où la passerelle est **normalement utilisée par les piétons**, avec la présence occasionnelle de groupes plus importants, sans toutefois être soumise à une occupation simultanée et continue de toute sa surface, conformément à la définition de la classe III.

Étape 2 : Choix du niveau de confort par le maître d'ouvrage

Le Maître d'ouvrage fixe le niveau de confort à donner à la passerelle. Le choix d'un niveau de confort est influencé par la population utilisant la passerelle et par l'importance de celle-ci. On peut être plus exigeant pour des utilisateurs plus sensibles (**écoliers, personnes âgées ou handicapées**), plus tolérant pour des passerelles de faible longueur (durées courtes de transit).

Confort maximum : les accélérations subies par la structure sont pratiquement imperceptibles par les usagers.

Confort moyen : les accélérations subies par la structure sont simplement perceptibles par les usagers.

Confort minimum : dans des configurations de chargement peu fréquentes, les accélérations subies par la structure sont ressenties par les usagers, sans pour autant devenir intolérables.

Dans les cas où le risque de mise en résonance est évalué comme négligeable à l'issue du calcul des fréquences propres de la structure, le confort est directement considéré comme suffisant.

2. Étape 3 : Détermination des fréquences et de la nécessité de mener ou non un calcul avec cas de charge dynamiques

On distingue, dans la direction verticale comme dans les directions horizontales, 4 plages de fréquences, correspondant à un risque décroissant de mise en résonance :

Plage 1 : risque maximal de mise en résonance.

Plage 2 : risque moyen de mise en résonance.

Plage 3 : risque faible de mise en résonance pour les situations courantes de chargement.

Plage 4 : risque négligeable de mise en résonance.

Le Tableau 2-4

		Beton		Acier		TOTAL
		Volume (m³)	Prix T (usd)	Masse (t)	Prix T (usd)	
1. Dall	Tableau 2-4: Plages de fréquence (en Hz) des vibrations verticales					
	Semelle	10.44	1357,2	0,545	327	1684,2usd
2.Dalle réticulée	Tablier	7,13	926,9	0,83	498	1424,9usd
	Semelle	7,3	949	0,423	253,92	1202,92usd
Taux d'évolution pour une semelle=-28,57%			Taux d'évolution pour le tablier =-33,85%			

définit les plages de fréquence pour les vibrations verticales et pour les vibrations horizontales longitudinales. Le Tableau 2-5 concerne les vibrations horizontales transversales

Fréquence	0	1	1,7	2,1	2,6	5
Plage 1						
Plage 2						
Plage 3						
Plage 4						

Fréquence	0	0,3	0,5	1,1	1,3	2,5
-----------	---	-----	-----	-----	-----	-----

Plage 1						

Tableau 2-5:Plages de fréquence (en Hz) des vibrations horizontales transversales

Plage 4						

A partir de la plage de risque et de la classe de la passerelle, on définit les cas de charge dynamiques à étudier suivant le Tableau 2-6.

Tableau 2-6:Vérifications - cas de charge à considérer

Classe	Cas de charge à retenir pour le contrôle des accélérations		
	Plage où se situe la fréquence propre		
	1	2	3
III	Cas 1	Néant	Néant
II	Cas 1	Cas1	Cas 3
I	Cas 2	Cas 2	Cas 3

2.3.5.4 Méthodologie de calcul de fréquences propres

La détermination des fréquences propres repose sur la théorie de l'**oscillateur harmonique simple**, pour lequel la pulsation propre ω est exprimée en fonction de la raideur k et de la masse m par la relation :

La fréquence propre correspondante s'écrit alors par la formule 2-8 :

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad 2-8$$

Ces relations montrent que la fréquence propre est proportionnelle à la racine carrée de la raideur de la structure et inversement proportionnelle à la racine carrée de sa masse.

Dans le cadre de cette étude, les fréquences propres du tablier en **dalle pleine** sont déterminées à partir d'une **analyse modale à vide** réalisée à l'aide du logiciel **Autodesk Robot Structural Analysis**, en considérant uniquement la masse propre de la structure.

Le logiciel **CYPECAD** ne permet pas l'affichage des résultats d'une **analyse modale indépendante**, celle-ci étant intégrée uniquement dans le cadre des analyses sismiques. Pour cette raison, le calcul et l'exploitation des fréquences propres ont été effectués à l'aide du logiciel Autodesk Robot Structural Analysis, mieux adapté à l'analyse dynamique libre des structures.

Ainsi pour le tablier en **dalle réticulée**, les fréquences propres sont également évaluées à l'aide du logiciel Autodesk Robot Structural Analysis, en modélisant la dalle réticulée par un **modèle équivalent**, fondé sur l'utilisation de l'option de **dalle orthotrope**, permettant de reproduire de manière réaliste son comportement global en rigidité et en masse.

2.3.5.5 Méthodologie d'obtention de fréquences propres élevées

Le guide de SETRA précise que dans le cas d'un tablier en béton, l'augmentation de la résistance du béton permet d'augmenter son module, et donc la raideur du tablier, sans augmenter sa masse, mais dans des proportions réduites puisque le module n'augmente que comme la racine cubique de la résistance en compression. Un autre moyen classique d'augmentation de la raideur sans augmentation de la masse consiste à remplacer une section rectangulaire par une section en I. Un tablier constitué par un caisson aura ainsi une fréquence de vibration plus élevée qu'un tablier de même épaisseur constituée de poutres rectangulaires. On peut aussi remplacer du béton normal par du béton léger pour diminuer la masse (avec une diminution faible de la raideur) et donc augmenter la fréquence de vibration.

2.4 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthodologie adoptée pour la conception et l'évaluation des charges appliquées sur la passerelle piétonne projetée. Après avoir situé et décrit le site d'implantation, nous avons défini les principes géométriques de la structure en tenant compte des contraintes urbaines, des exigences de confort et d'accessibilité, ainsi que des normes en vigueur. Un prédimensionnement des éléments structuraux (poutres principales,

entretoises, poteaux et tablier) a été effectué conformément aux recommandations du SETRA et aux critères de stabilité du BAEL 91. Par la suite, nous avons identifié et quantifié les différentes charges agissant sur l'ouvrage : charges permanentes liées au poids propre des éléments, charges d'exploitation dues aux piétons et cyclistes, actions spécifiques sur les garde-corps, ainsi que les charges accidentelles et climatiques.

Enfin, le chapitre a également abordé l'évaluation du comportement vibratoire de la passerelle, en lien avec la marche des piétons pour garantir le confort des usagers.

Ainsi, ce chapitre a permis de poser les bases essentielles pour le dimensionnement de la passerelle au chapitre suivant.

Chapitre 3

Présentation et analyse des résultats

Dans ce chapitre, nous présentons le dimensionnement de la passerelle piétonne ainsi que l'étude comparative des deux variantes étudiées. L'analyse porte sur les aspects technique, vibratoire et économique afin d'identifier la solution la plus performante.

3.1 Hypothèses générales de dimensionnement

3.1.1. Hypothèses relatives aux matériaux et sol

- Les éléments (tablier, poutres principales, entretoises, poteaux, escaliers et rampes) sont réalisés en béton armé de classe **C25/30**, avec un poids volumique moyen égal à **25 kN/m³**.
- Les armatures sont constituées d'aciers à haute adhérence de nuance **FeE500**, utilisés pour l'ensemble des éléments en béton armé.
- Capacité portante du sol=**0,15MPa**

3.1.2. Hypothèses relatives aux charges permanentes (G)

- Le poids propre des éléments porteurs est pris en compte :
- Les équipements fixes non modélisés (revêtements, éclairage) sont représentés par une charge uniformément répartie de **1 kN/m²**.
- Pour le tablier :
 - le poids propre de la dalle pleine est calculé à partir de ses dimensions géométriques,
 - le poids propre de la dalle réticulée est déterminé à partir du volume de béton par mètre carré fourni par le logiciel CYPECAD.

3.1.3. Hypothèses relatives aux charges d'exploitation (Q)

- Les actions dues au trafic piétonnier sur le tablier sont modélisées par une charge uniformément répartie de **5 kN/m²** conforme à l'Eurocode 1.

- Les escaliers et les rampes d'accès sont soumis à une charge d'exploitation uniformément répartie de **3 kN/m²**.
- Une action verticale sur les garde-corps est prise en compte sous forme d'une charge linéaire de **1,0 kN/m**.

3.1.4. Hypothèses relatives aux charges non retenues

- Le véhicule de service n'est pas pris en compte.
- Les actions accidentelles dues à la présence accidentelle d'un véhicule sur la passerelle ne sont pas considérées.
- Les actions de choc sur les piles et le tablier ne sont pas retenues, l'ouvrage étant supposé protégé conformément aux recommandations de l'Eurocode.

3.1.5. Hypothèses relatives aux charges climatiques

- Les actions de neige et de température ne sont pas considérées, compte tenu des conditions climatiques locales.
- L'action du vent est prise en compte conformément aux prescriptions réglementaires, à partir des valeurs de pression dynamique adaptées aux zones de la RDC.

3.1.6. Hypothèses relatives au comportement dynamique

- La passerelle est classée en **classe III**.
- Les fréquences propres sont déterminées par une analyse modale à vide afin d'évaluer le risque de résonance et le niveau de confort des usagers.

Ces hypothèses constituent la base du dimensionnement et de la comparaison des variantes étudiées.

3.2 Variante 1 : Passerelle à tablier en dalle pleine

3.2.1 Présentation du modèle numérique

Autodesk Robot Structural Analysis est un logiciel de calcul de structures basé sur la méthode des éléments finis. Il permet l'analyse statique et dynamique ainsi que le

dimensionnement des structures conformément aux normes en vigueur. Dans cette étude, le dimensionnement est réalisé selon le **BAEL 91 modifié 99**

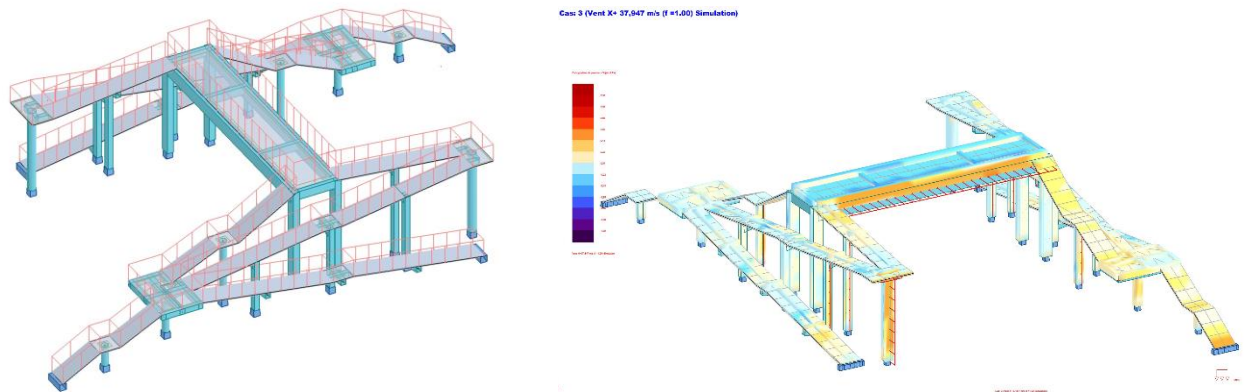


Figure 3-1:Présentation du modèle numérique de la passerelle sous Autodesk Robot Structural Analysis

3.2.2 Dimensionnement statique de la variante 1

Dans cette section, on présente les résultats du dimensionnement. L'analyse porte principalement sur les éléments structuraux principaux, à savoir les poteaux, les poutres, semelle et la dalle pleine.

3.2.2.1 Poteau/culée

La Figure 3-2 indique le **taux de travail de la section** de l'élément étudié(poteau) à l'état limite ultime, obtenu à partir des rapports entre les résistances de calcul et les sollicitations appliquées.

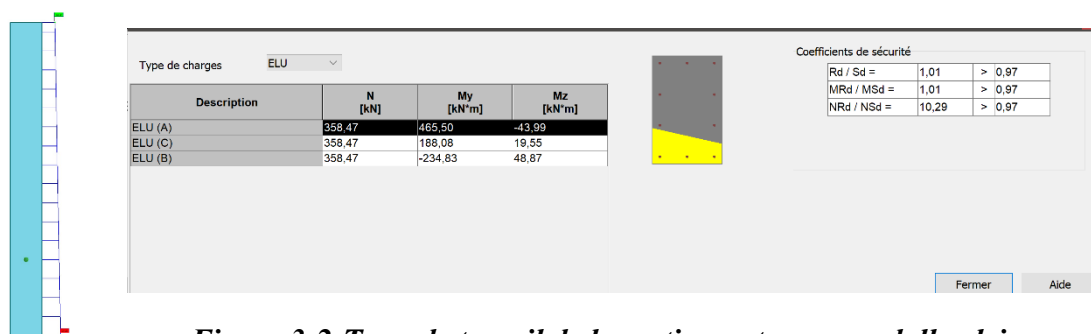


Figure 3-2:Taux de travail de la section poteau sous dalle pleine

1. Interprétation des résultats de vérification à l'ELU

Le rapport global $\frac{Rd}{Sd} = 1,01$ montre que la section est fortement sollicitée et travaille à un niveau proche de sa capacité maximale admissible. La flexion constitue le cas dimensionnant, comme l'indique le rapport $\frac{MRd}{MSd} = 1,01$, tandis que la compression simple n'est pas déterminante, le rapport $\frac{NRd}{NSd} = 10,29$ traduisant une large marge de sécurité.

Ainsi, l'élément vérifié travaille à un **niveau proche de sa capacité maximale admissible 96%**, sans dépasser les limites réglementaires.

2. Plan de ferrailage

Le plan de ferrailage présenté à la Figure 3-3 montre les armatures longitudinales et transversales du poteau dimensionné. La section de 45 × 70 cm est armée par 10 barres longitudinales HA20, assurant la reprise des efforts de compression et de flexion. Les armatures de faces, disposées sur les faces latérales en complément des armatures d'angle, permettent une meilleure reprise des moments fléchissant selon les deux directions principales.

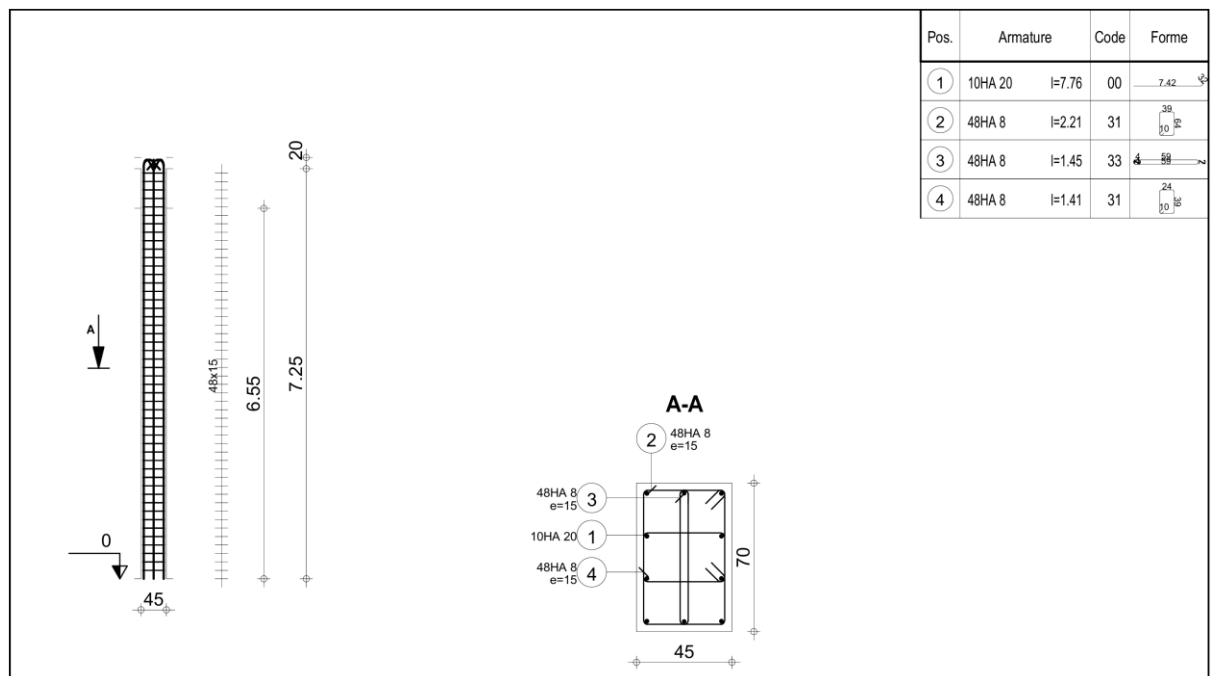


Figure 3-3: Plan de ferrailage poteau

3.2.2.2 Poutre principale

La poutre principale a été dimensionnée et ferrillée conformément au diagramme de moment fléchissant présent sur la travée centrale, le moment fléchissant est **positif**, générant une traction à la fibre inférieure de la section. Cette contrainte, le ferrailage principal est constitué de **quatre barres HA20 disposées en partie inférieure de la poutre** de la travée.

Au niveau des appuis, le moment fléchissant devient **négatif**, induisant une traction en partie supérieure de la section. Pour cette contrainte, un **renfort de quatre barres HA16** a été disposé en partie supérieure partant de l'appui jusqu'à l'entretoise **5m**.

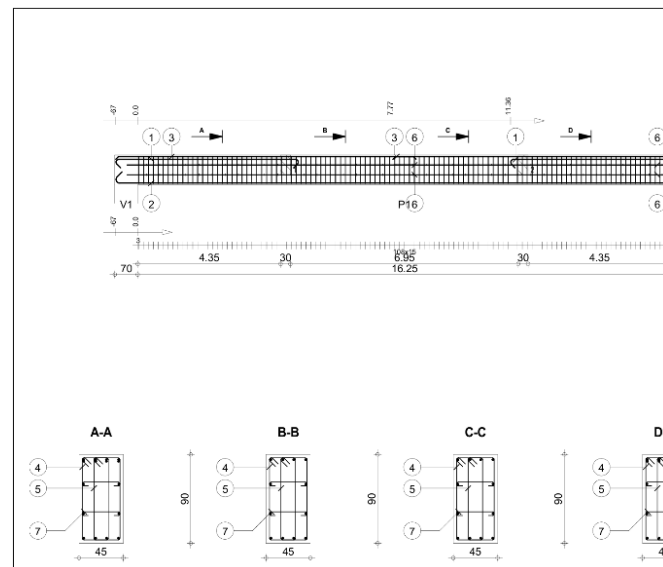
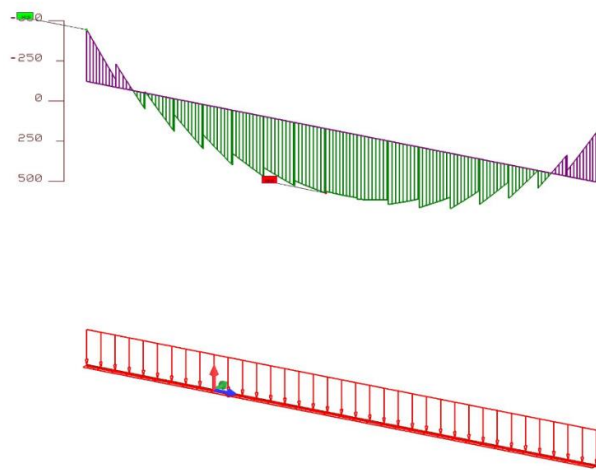


Figure 3-4: Moment fléchissant et ferrailage de la poutre principale

3.2.2.3 Tablier en dalle pleine

Le ferrailage à double nappe, présenté par le plan de ferrailage à la Figure 3-5, est adopté afin d'assurer la reprise des efforts de traction générés par les moments fléchissant positifs et négatifs. Le Tableau 3-1 présente les valeurs de ces moments

Tableau 3-1: Tableau des moments-dalle pleine

	Mxx[KNm/m]	Myy[KNm/m]	Myy[KNm/m]
Max	8,71	7,6	1,64
Panneau	11	11	11
cas	7(C)	7(C)	7(C)
MIN	-12,38	-9,31	-1,73
Panneau	11	11	11
cas	7(C)	7(C)	7(C)

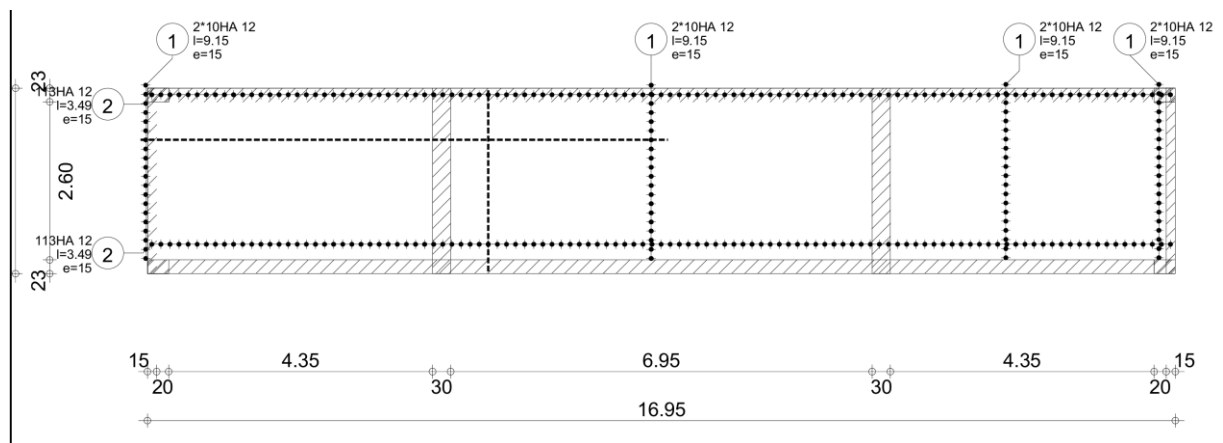


Figure 3-5: Ferrailage de la dalle pleine

La Figure 3-6 présente la déformée de la dalle sous l'effet des charges de service. Elle illustre les déplacements verticaux de la dalle.

On remarque que la flèche maximale de la dalle est de 1 cm, la valeur est inférieure à la flèche admissible de 3 cm, correspondant à une limite de $L/500$.

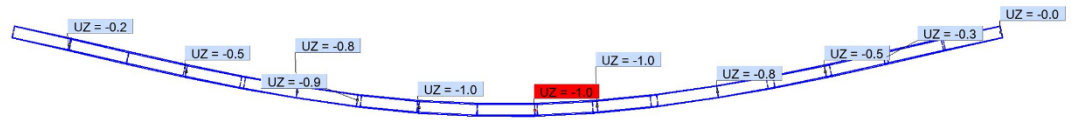


Figure 3-6: Fleche de la dalle pleine

3.2.2.4 Semelle

La Figure 3-7 illustre le plan de ferrailage de la semelle isolée située à -1 m. Après dimensionnement, la section est de 2,9 m × 4 m. Une épaisseur de 80 cm permettait le dimensionnement, mais elle ne respectait pas la règle du BAEL 91 $e > \frac{A-a}{4}$, où A et a sont les grands côtés de la semelle et du poteau. L'épaisseur a donc été portée à 90 cm.

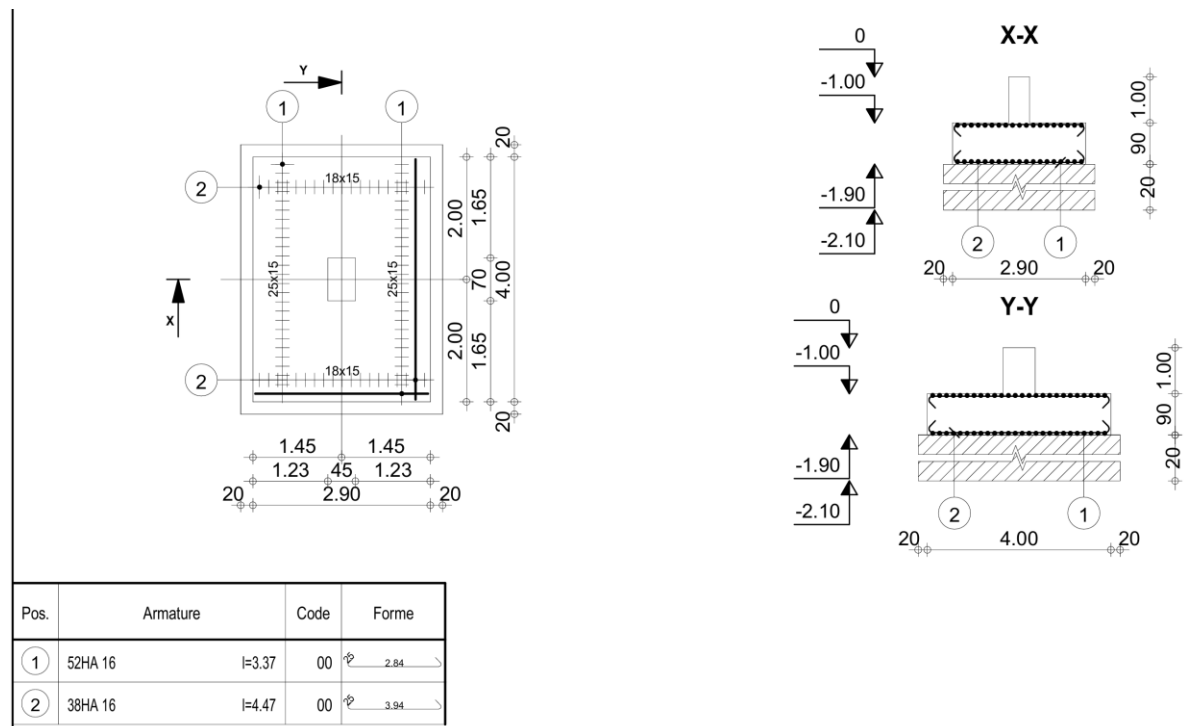


Figure 3-7: Plan de ferrailage semelle

3.2.3 Etude dynamique-Détermination des fréquences et de la nécessité de mener ou non un calcul avec cas de charge dynamiques

Dans cette section, on présente les résultats de l'analyse modale de la passerelle piétonne dans le Tableau 3-2. L'objectif est de déterminer les fréquences propres de la structure et de comparer les valeurs obtenues aux plages de fréquences associées au risque de mise en résonance, afin d'évaluer la nécessité de réaliser ou non des calculs avec des cas de charges dynamiques.

Tableau 3-2: Résultats de l'analyse modale-variantel

Cas/Mode	Fréquence [HZ]	Période
1/ 1	2,6	0,38
1/ 2	3,86	0,26
1/ 3	4,04	0,25
1/ 4	6,93	0,14
1/ 5	11,55	0,09
1/ 6	22,03	0,05
1/ 7	27,54	0,04

La fréquence du premier mode est égale à **2,6 Hz**. Selon le Tableau 2-4 ,cette valeur se situe à la **limite de la plage 2**, correspondant à un **risque moyen de mise en résonance**. En mettant en correspondance la plage de fréquence obtenue avec la **classe III de la passerelle**, telle que définie dans le Tableau 2-6, on constate que la case correspondante indique « **néant** ». Cela signifie qu'aucun cas de charge dynamique spécifique n'est requis. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'effectuer un dimensionnement avec des charges dynamiques. Le **dimensionnement statique est suffisant**, et le **niveau de confort des usagers est considéré comme satisfaisant**.

3.3 Variante 2 : Passerelle à tablier en dalle réticulée

Le dimensionnement de cette variante a été réalisé à l'aide du logiciel CYPECAD. La Figure 3-8 présente la définition des données générales de l'ouvrage, incluant les normes appliquées, la nuance d'acier, la résistance du béton, ainsi que les actions à considérer, etc.

Données générales

Clé : nouveauPASSERELLE

Description : nouveauPASSERELLE

Normes : Eurocode 2, Eurocodes 3 et 4, Eurocode 5 (France) et Eurocode 9

Béton armé

Béton

Planchers : C25/30

Fondation : C25/30

Poteaux : C25/30

Murs : C25/30

Caractéristiques du granulat : Basalte (20 mm)

Acier

Barres HA : Fe E500

Boulons : Fe E400

Profilés

Acier

Profilés laminés et PRS : S235 (EN 1993-1-1)

Profilés formés à froid : S235

Bois : C24

Aluminium extrudé : EN AW-5083 - F

Actions

Charge permanente et charge d'exploitation

☒ Avec action de vent Eurocode 1 (UE)

☐ Avec action sismique

☐ Contrôler la résistance au feu

États limites (combinaisons)

Coefficients de flambement

Poteaux en béton et mixtes

Bx : 1.000 By : 1.000

Poteaux en acier

Bx : 1.000 By : 1.000

Poteaux en bois

Bx : 1.000 By : 1.000

Accepter

Figure 3-8: Données générales

3.3.1 Dimensionnement statique de la variante 2

Dans cette section, on présente les résultats du dimensionnement statique. Nous présentons le plan de ferrailage des éléments structuraux principaux, à savoir les poteaux, les poutres, semelle, la dalle réticulée, escalier et rampe.

3.3.1.1 Poteau/culée

Tableau 3-3: Taux de travail poteau-variante 2

Édition des poteaux - C:\CYPE Ingenieros\Projets\CYPECAD\nouveauPASSERELLE.c3e

Édition dans un tableau

Édition dans le tableau des poteaux

Rechercher un poteau

Tout réordonner

Groupement

Arm. transv. du regroupement

Tout

Armature transv. tout

Vérification

Plan de ferraillage

Vue 3D

Efforts

Afficher les zones de densification

Options

Actualiser

Rechercher

Groupements

Rev. Blo.

Poteaux

Con.

Niveaux

P1 et P3

Fondation - 7

P2 et P4

Fondation - 7

Édition de l'armature

		Dimension		Armature longitudinale						Ferraillage transversal		As/Ac (%)	
		X (cm)	Y (cm)	Coins	Face X		Face Y		Étriers	Espacement			
7	7 m										15	1	✓
	5.4 m	45	70	4	HA20	2	HA20	4	HA20	HA8	15	1	✓
	0.7 m										15	1	✓
Fondation	0 m			4	HA20	2	HA20	4	HA20	HA8	3	1	✓

Vue en plan des poteaux

Résumé des contrôles

<

Le Tableau 3-3 indique que l'ensemble des contrôles réglementaires est satisfait. Le **taux de travail maximal** observé est de **75,1 %**, ce qui signifie que les poteaux travaillent avec une **marge de sécurité suffisante** vis-à-vis des sollicitations appliquées. La Figure 3-9 présente le plan de ferrailage du poteau, détaillant la disposition des armatures.

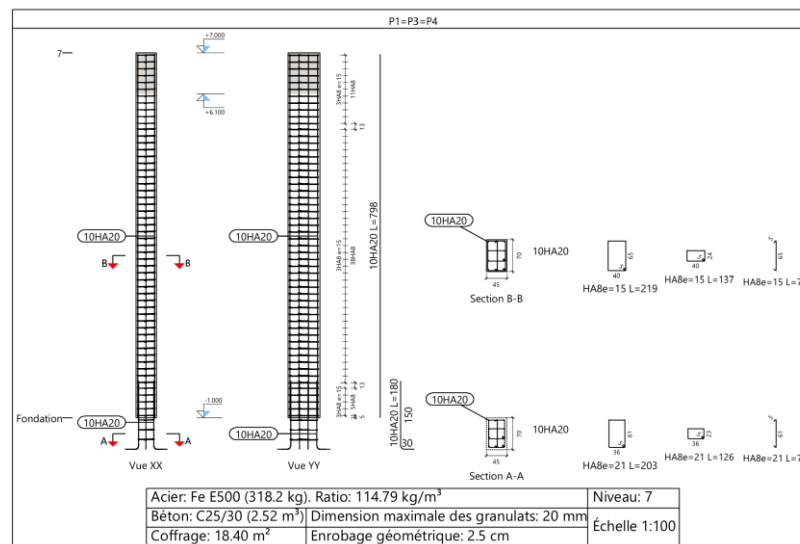


Figure 3-9: Plan de ferrailage poteau-variante 2

3.3.1.2 Poutre principale

La Figure 3-10 présente le plan de ferrailage de la poutre, détaillant la disposition des armatures ; le ferrailage de la poutre principale de la deuxième variante reste identique à celui de la première variante.

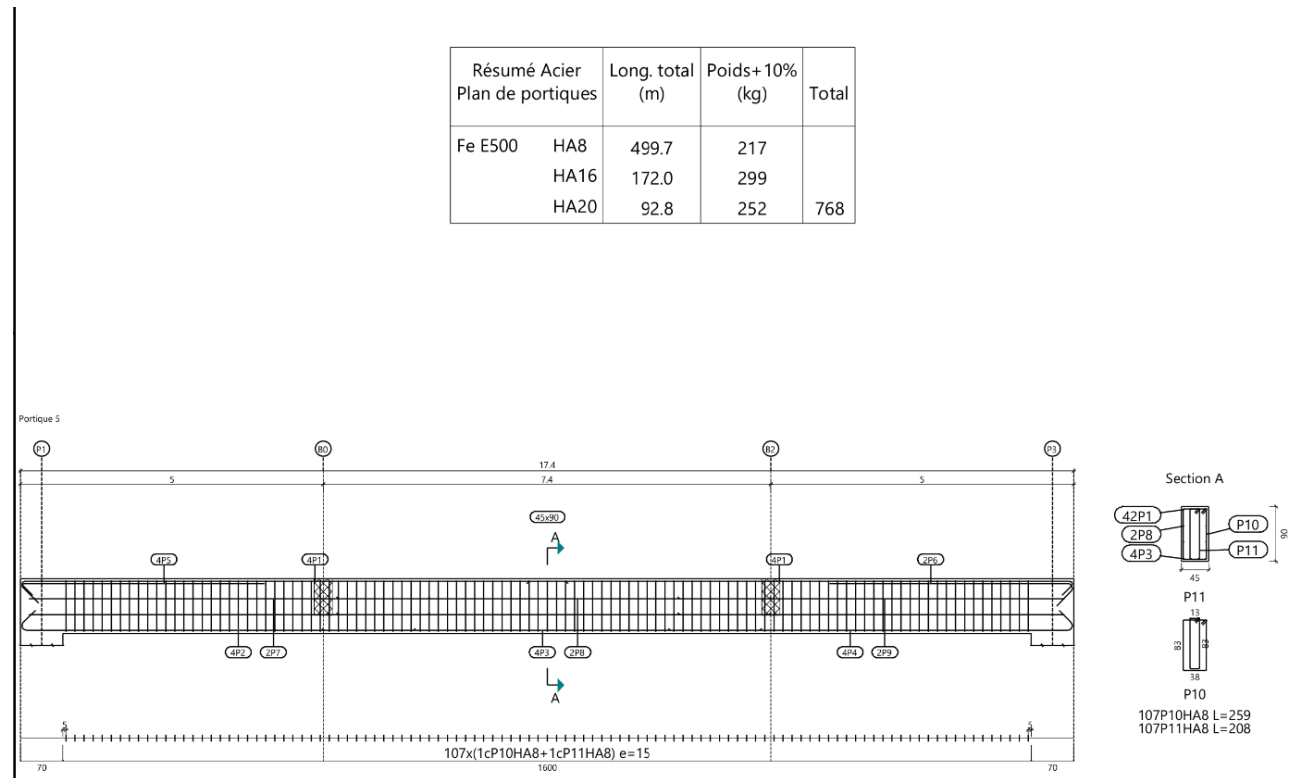


Figure 3-10: Plan de ferrailage poutre principale -variante 2

3.3.1.3 Semelle

La Figure 3-11 illustre le plan de ferrailage de la semelle isolée située à -1 m dimensionné avec l'outil élément de fondation dans cypecad.

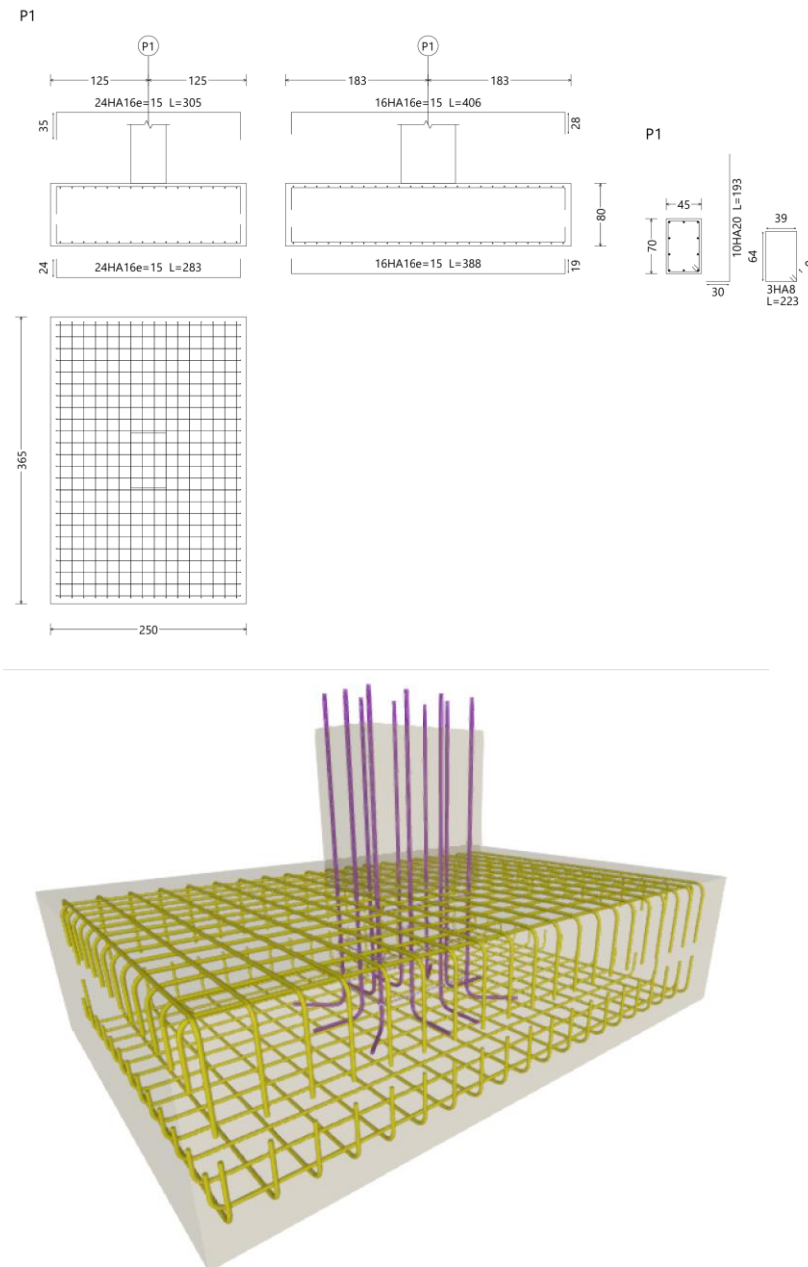


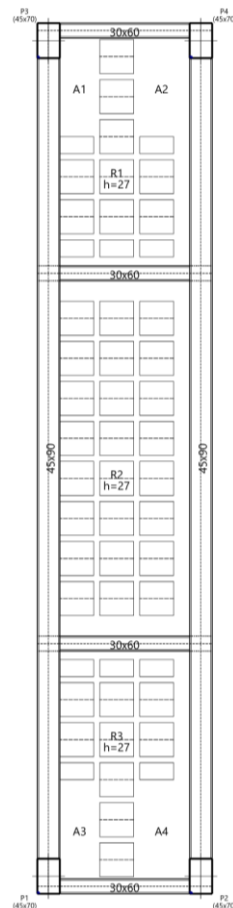
Figure 3-11: Plan de ferrailage de la semelle-variante 2

3.3.1.4 Tablier en dalle réticulée

Le Tableau 3-4 regroupe les caractéristiques géométriques retenus pour le dimensionnement de notre tablier en dalle réticulée a caisson perdu, la section des panneaux nécessaire pour résister à l'effet de poinçonnement développé autour des poteaux a été automatiquement générer par le logiciel. Le plan de coffrage de la dalle réticulée est présenté à la Figure 3-12

Tableau 3-4:Caractéristiques géométriques de la dalle reticulée

	Valeur
Epaisseur totale (ht)	27cm
Dalle de compression (c)	7cm
Hauteur de caisson(h)	20cm
Entraxe (e)	80cm
Largeur de la nervure (b)	12cm
Panneau A1=A3	195cm.80cm
Panneau A4=A2	195cm.115cm



7
Coffrage
Armature de base des panneaux (par quadrillage)
Supérieure: 2HA10 Inférieure: 1HA12
Non détaillée sur le plan
Échelle: 1:100

Tableau de caractéristiques des planchers réticulés (Groupe 1)
TABLIER-PASSERELLE
1
Caisson récupérable
Poids propre: 3.605 kN/m ²
Épaisseur: 27 cm
Dalle de compression: 7 cm
Entraxe: 80 cm
Largeur de nervure: 12 cm
Enrobage géométrique supérieur: 2.0 cm
Enrobage géométrique inférieur: 2.0 cm
Enrobage mécanique supérieur: 2.5 cm
Enrobage mécanique inférieur: 2.5 cm

Figure 3-12:Plan de coffrage de la dalle réticule

Lors du ferrailage d'un plancher réticulé dans **CYPECAD**, on doit définir des **armatures de base** dans les deux directions, aussi bien dans les **panneaux** que dans les **nervures**.

La Figure 3-13 présente l'**attribution des armatures de base**, avec, à droite, les armatures disposées dans les panneaux et, à gauche, celles placées dans les nervures. La disposition des armatures selon les deux directions est illustrée par la Figure 3-14. Dans les nervures, le ferrailage est constitué de 2 barres HA12 en armatures longitudinales et transversales inférieures, assurant la reprise des efforts de traction dus aux moments fléchissant positifs, et de 1 barre HA12 en armatures longitudinales et transversales supérieures, destinée à reprendre les moments négatifs.

Au niveau de la dalle de compression, le ferrailage est constitué de 1HA10 tous le 15cm dans les deux directions.

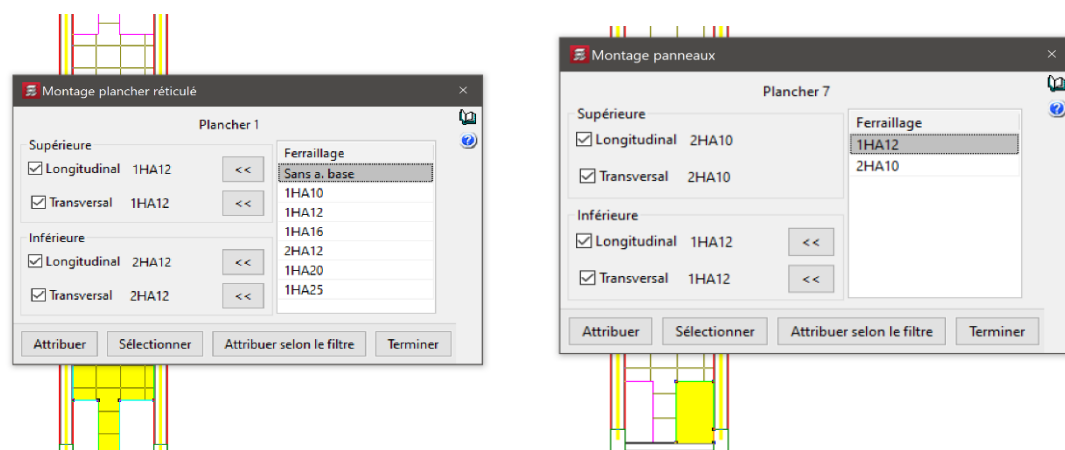


Figure 3-13: Attribution de l'armature de base

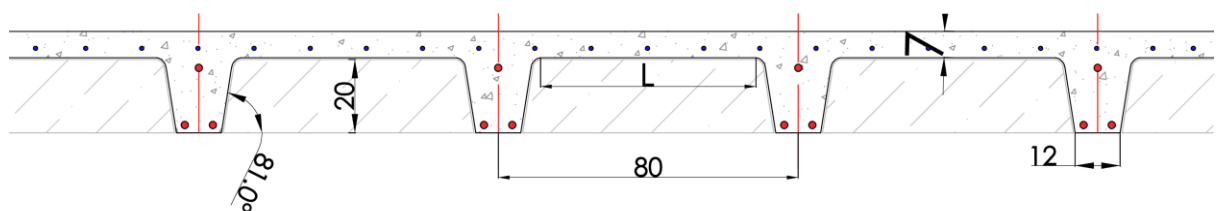


Figure 3-14: Disposition d'armatures dans les deux directions dans la dalle réticulée

La Figure 3-15 présente la déformée de la dalle réticulée sous l'effet des charges de service. Elle illustre les déplacements verticaux de la dalle.

On remarque que la flèche maximale de la dalle est de 0,95 cm, la valeur est inférieure à la flèche admissible de 3 cm, correspondant à une limite de $L/500$.

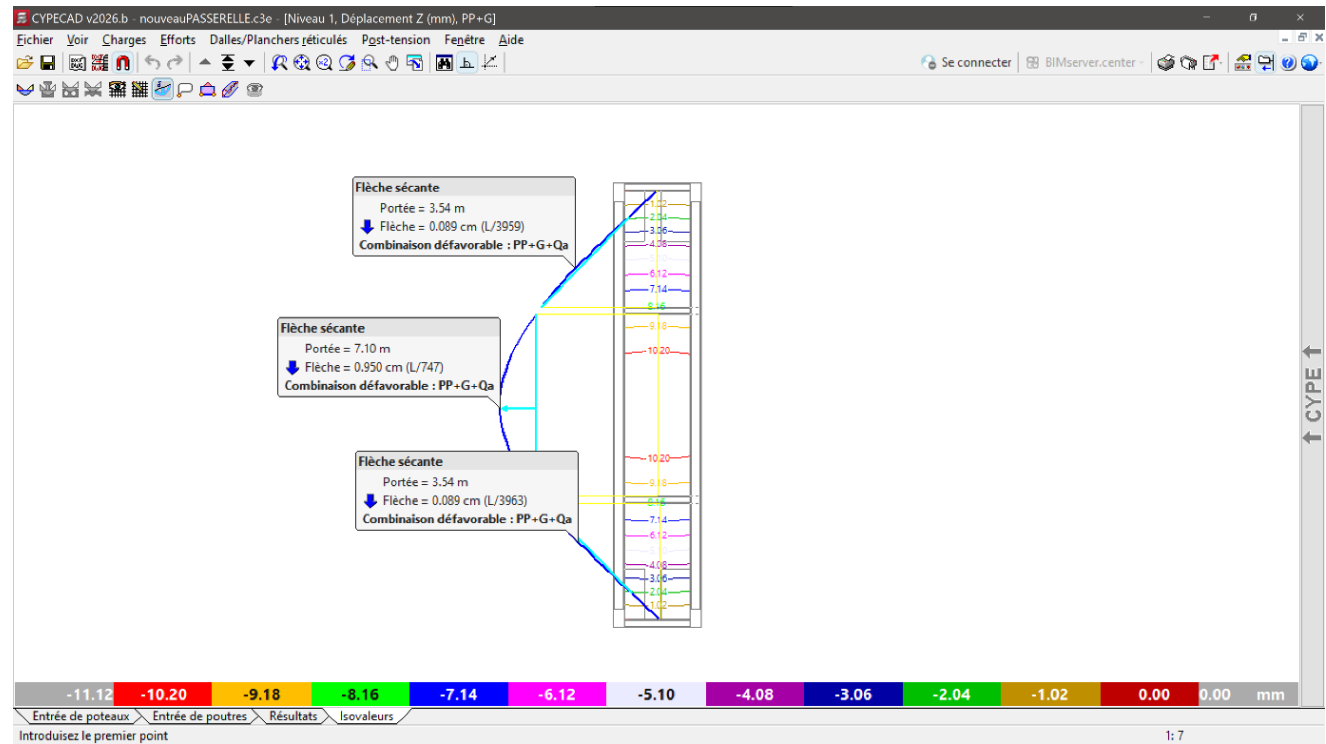


Figure 3-15: Fleche de la dalle réticulée

3.3.1.5 Escalier et rampe

La Figure 3-16 illustre le plan de ferrailage de l'escalier et de la rampe dimensionné avec le module escalier et rampe de cypecad.

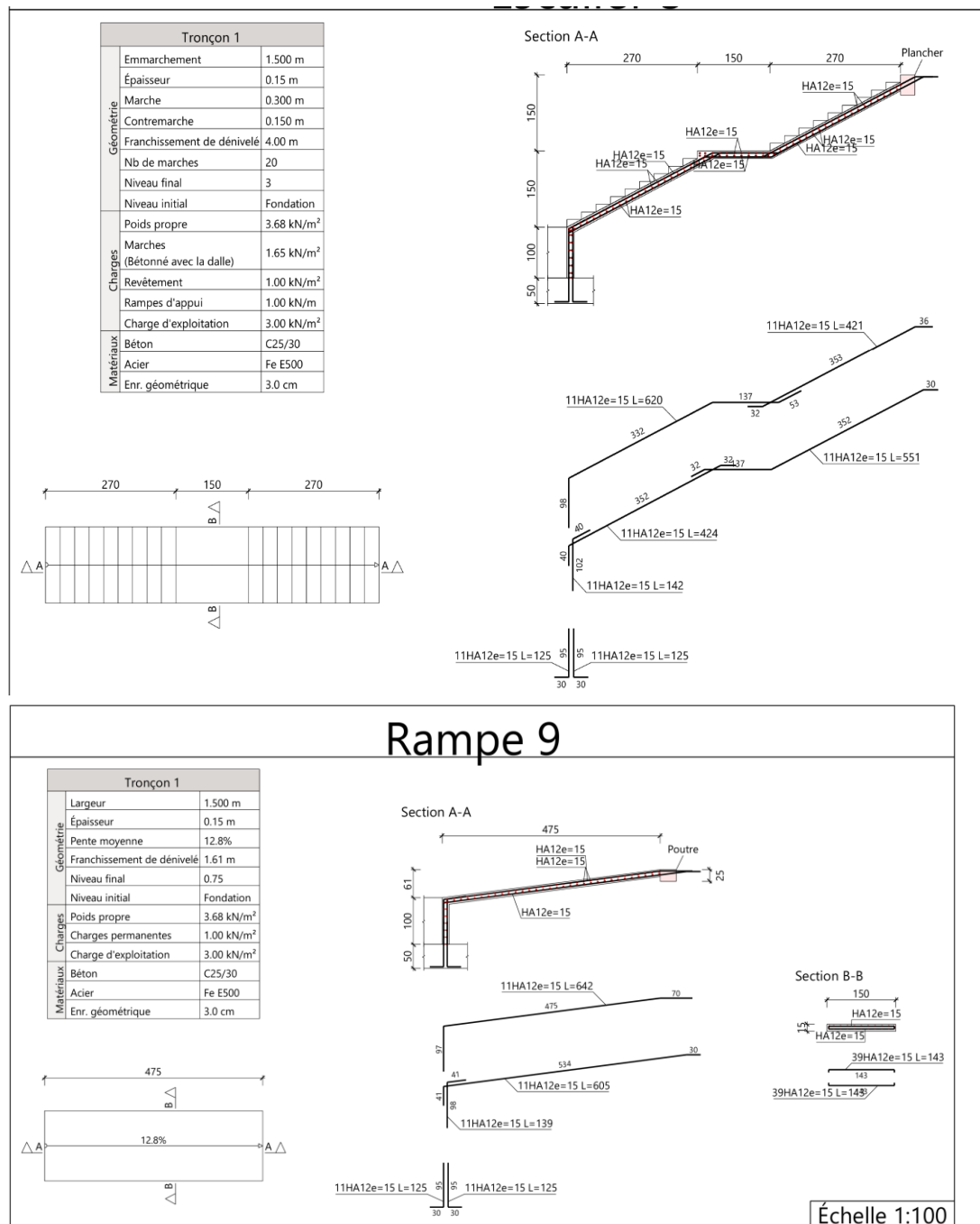


Figure 3-16: Ferrailage escalier et rampe

3.3.2 Etude dynamique-Détermination des fréquences et de la nécessité de mener ou non un calcul avec cas de charge dynamiques

Dans cette section, on présente les résultats de l'analyse modale de la passerelle piétonne à **tablier en dalle réticulée** dans le Tableau 3-5 . L'objectif est de déterminer les fréquences propres de la structure et de comparer les valeurs obtenues aux plages de fréquences de risque de mise en résonance. À cet effet, il a été nécessaire de modéliser le tablier au moyen d'une **dalle orthotrope équivalente** tel qu'illustré par la Figure 3-17 , afin de représenter de manière réaliste le comportement global en rigidité et en et en masse de la dalle réticulée.

Nouvelle épaisseur

Uniforme Orthotrope

Nom: dalle-reticule Couleur: Auto

Direction automatique

raidisseurs d'un côté dans deux directions

Paramètres géométriques (cm)

h = 7.0	ha = 27.0
hb = 27.0	
a = 80.0	a1 = 17.5
b = 80.0	b1 = 17.5

Matrices de rigidité orthotrope

☐ Epaisseurs

Ep. 14.8 (cm)

Ep 1 27.0 (cm) Ep 2 27.0 (cm)

☐ Paramètres de l'élasticité du sol

Matériau: C25/30

Ajouter Fermer Aide

Figure 3-17:Modèle équivalent de la dalle réticulée

Tableau 3-5: Résultats de l'analyse modale-variante2

Cas/Mode	Fréquence [HZ]	Période
1/ 1	2,7	0,37
1/ 2	3,98	0,25
1/ 3	4,15	0,24
1/ 4	6,86	0,15
1/ 5	11,03	0,09

La fréquence du premier mode est égale à **2,7 Hz**. Selon le Tableau 2-4 ,cette valeur se situe dans la **plage 3**, correspondant à un **risque faible de mise en résonance**. En mettant en correspondance la plage de fréquence obtenue avec la **classe III de la passerelle**, telle que définie dans le Tableau 2-6, on constate que la case correspondante indique « **néant** ». Cela signifie qu’aucun cas de charge dynamique spécifique n’est requis. Ainsi, il n’est pas nécessaire d’effectuer un dimensionnement avec des charges dynamiques. Le **dimensionnement statique est suffisant**, et le **niveau de confort des usagers est optimal**.

3.4 Etude comparative

Dans cette section, on présente une étude comparative des deux variantes de passerelle, mettant en évidence les différences observées sur les plans **technique, du comportement vibratoire et économique**.

3.4.1 Plan technique

La comparaison sur le plan technique est présentée à travers le Tableau 3-6 et la Figure 3-18

Tableau 3-6: Etude comparative sur le plan technique

		Dalle pleine	Dalle réticulée	Taux d'évolution
Poteau	Effort normal	358,97KN	259,7KN	-27,6 %
	Taux de travail	96%	75,1%	-21,8 %
	Section	45*70	45*70	0%
Semelle	Volume	400*290*90*cm ³	365*250*80*cm ³	-30,9%
Dalle	Volume	10,34m ³	7,13m ³	-31,04%
	Flèche	-1cm	0,95cm	-5%

Le Tableau 3-6 comparatif met en évidence une réduction significative pour la variante à dalle réticulée. L'effort normal dans les poteaux diminue 27,6 %, avec une baisse du taux de travail de 21,8%. Le volume de béton du tablier est réduit de 30,9 %, ce qui se répercute également sur la diminution du volume des semelles. Enfin, la flèche maximale de la dalle réticulée reste légèrement inférieure à celle de la dalle pleine avec une diminution de 5%. Ainsi, sur le plan technique, la dalle réticulée constitue la solution la plus avantageuse. La Figure 3-18 représente ces résultats sous forme d'un diagramme barres, La dalle pleine est prise comme référence (100 %), ce qui permet de visualiser clairement les réductions obtenues avec la dalle réticulée.

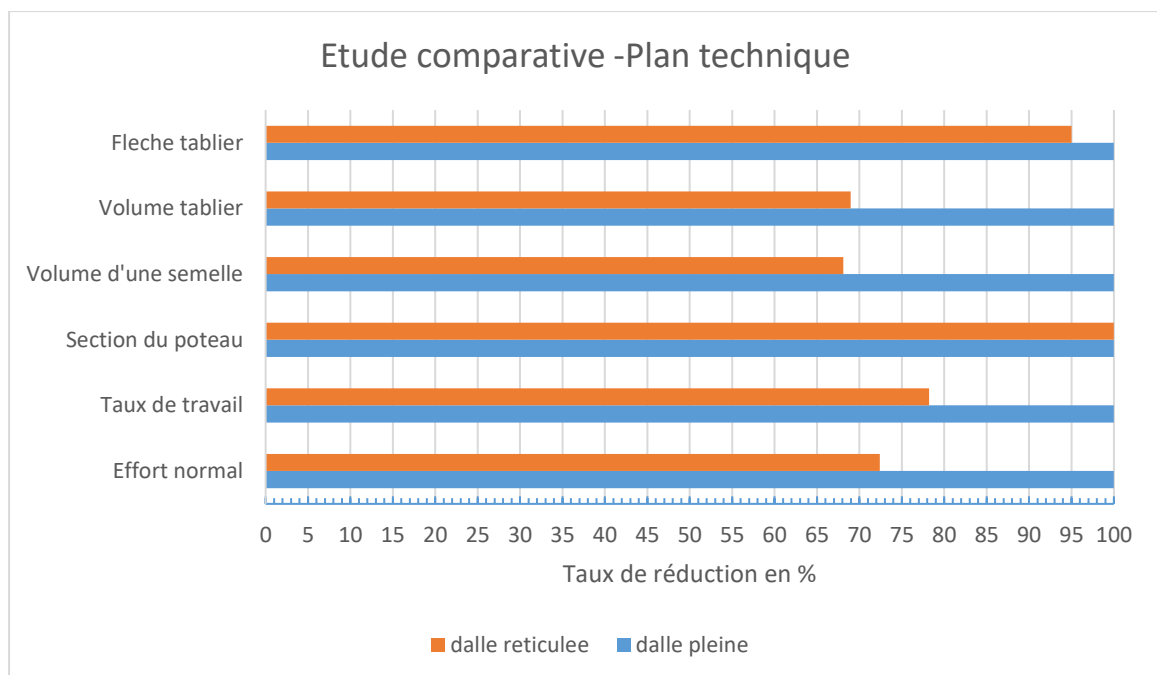


Figure 3-18: Etude comparative sur le plan technique

3.4.2 Comportement vibratoire

La comparaison du comportement vibratoire des deux variantes de passerelle est présentée à travers le Tableau 3-7 et la Figure 3-19. Le Tableau 3-7 récapitule la fréquence propre obtenue à la première mode, les plages de risque de mise en résonance associées, ainsi que le niveau de confort des usagers et la nécessité éventuelle de considérer des cas de charges dynamiques.

Tableau 3-7: Comportement vibratoire de deux variantes

	Fréquence	Plage	Confort	Cas dynamique
Dalle pleine	2,6HZ	Plage 2 : Risque moyen de mise en résonance	Satisfaisant	Non
Dalle réticulée	2,7HZ	Plage 3 : Risque faible de mise en résonance	Optimal	Non

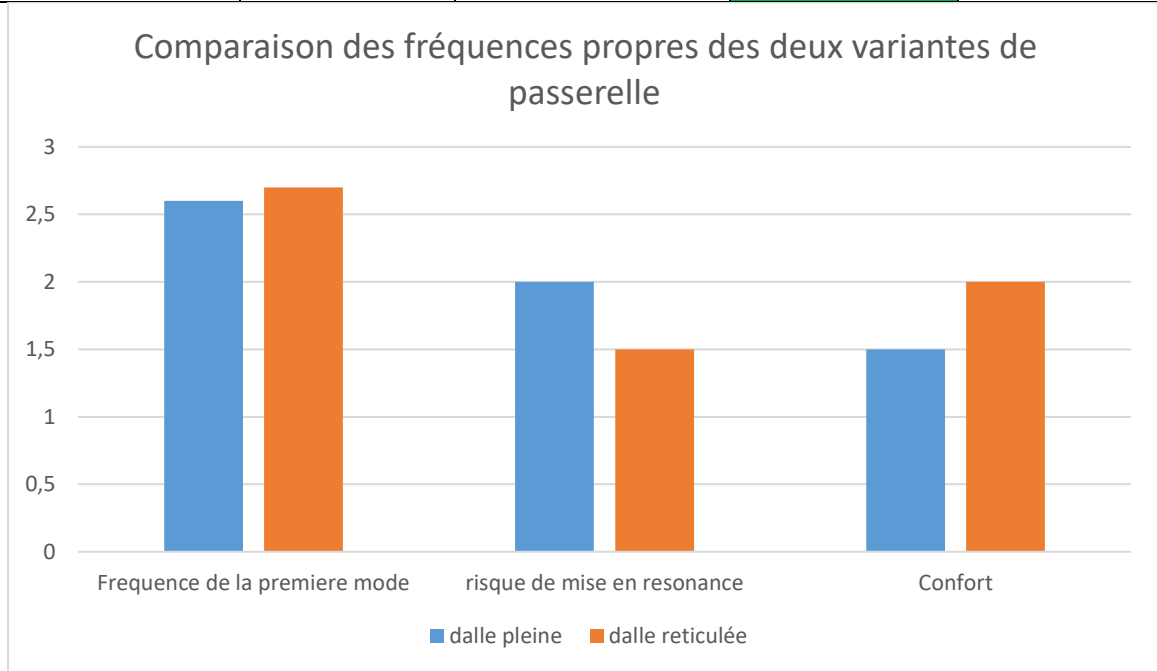


Figure 3-19: Comparaison des fréquences

La dalle réticulée présente un comportement vibratoire plus favorable. La fréquence du premier mode atteint 2,7 Hz, la plaçant dans la plage 3, correspondant à un faible risque de mise en résonance et garantissant un confort optimal.

3.4.3 Plan économique

La comparaison sur le plan économique est présentée à travers le Tableau 3-8 et la Figure 3-20. Le Tableau 3-8 récapitule les coûts pour les deux variantes et la Figure 3-20 représente le taux de réduction des coûts pour la variante à dalle réticulée.

3.4.3.1 Prix estimatif de la structure

L'évaluation du coût est réalisée en considérant uniquement les éléments différenciant, à savoir le tablier et la semelle de fondation.

On considère les coûts unitaires suivants :

- Béton 25/30 : 130usd/m³ ; Prix local en ville de Goma année 2026 pour confectionner un béton 350 suivant la formulation de Dreux gorisse.
- Acier FeE500 : 600usd/t ; Prix local en ville de Goma année 2026 d'une tonne de barre

Tableau 3-8: Etude comparative sur plan économique

		Béton		Acier		TOTAL
		Volume (m ³)	Prix T (usd)	Masse (t)	Prix T (usd)	
1. Dalle pleine	Tablier	10,34	1344,2	1,350	810	2154,2usd
	Semelle	10,44	1357,2	0,545	327	1684,2usd
2. Dalle réticulée	Tablier	7,13	926,9	0,83	498	1424,9usd
	Semelle	7,3	949	0,423	253,92	1202,92usd
Taux d'évolution pour une semelle = -28,57%			Taux d'évolution pour le tablier = -33,85%			

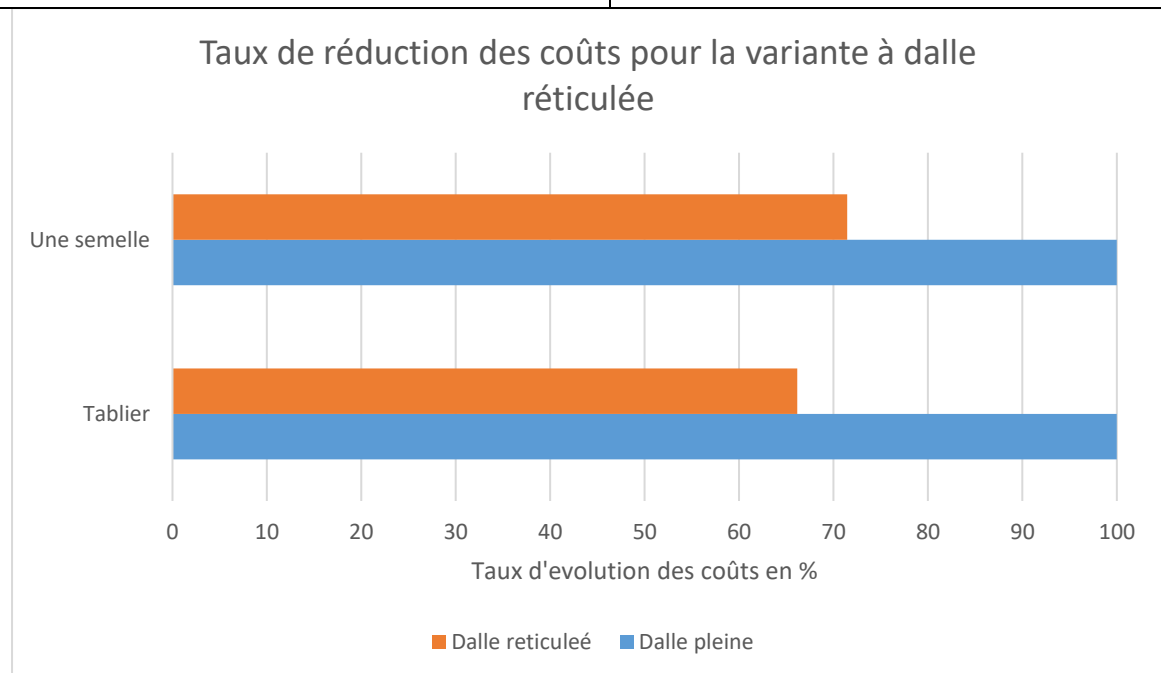


Figure 3-20: Taux de réduction des coûts pour la variante à dalle réticulée

La dalle réticulée nécessite moins de béton et moins d'acier qu'une dalle pleine suite aux vides créés par les caissons, Le diagramme met en évidence une réduction des coûts pour la variante à dalle réticulée. Un taux de réduction de **33,85 %** au niveau du tablier, tandis qu'une semelle présente une baisse de **28,57 %**. Ces résultats confirment l'intérêt économique de la solution à dalle réticulée.

3.5 Conclusion partielle

Dans ce chapitre, nous avons présenté le **dimensionnement et l'analyse des résultats** relatifs à la passerelle piétonne étudiée, en considérant deux variantes de tablier : la dalle pleine et la dalle réticulée. Après avoir défini les hypothèses générales de calcul, nous avons procédé au dimensionnement statique des principaux éléments structuraux (poteaux, poutres, tablier et semelles) à l'aide des logiciels Autodesk Robot Structural Analysis et CYPECAD, conformément aux prescriptions du BAEL 91 modifié 99.

Le chapitre a également porté sur l'étude du comportement dynamique de l'ouvrage à travers une analyse modale, qui a permis d'évaluer le risque de mise en résonance et le niveau de confort des usagers.

Enfin, une analyse comparative menée sur les plans technique, vibratoire et économique met en évidence l'intérêt de la solution à tablier en dalle réticulée. Cette variante présente une fréquence propre élevée (2,7 Hz contre 2,6 Hz pour la dalle pleine), permet une réduction de l'effort normal de 27,6 %, une diminution du taux de travail de 96 % à 75,1 %, ainsi qu'une réduction du volume de béton du tablier de 31,04% et de 30,9 % par semelle, conduisant à une économie globale significative. Ces résultats confirment la meilleure efficacité structurelle et économique de la dalle réticulée par rapport à la dalle pleine.

Conclusion générale

Ce mémoire a porté sur l'étude comparative de deux variantes de passerelle piétonne en béton armé, différenciées par la nature du tablier : une dalle pleine et une dalle réticulée à caissons récupérables. La principale question de recherche visait à déterminer quelle solution offre les meilleures performances pour la conception des passerelles piétonnes sur les plans **structurel**, **vibratoire** et **économique**.

Après la conception géométrique de la passerelle et la définition des charges conformément aux prescriptions du guide méthodologique SETRA et de l'Eurocode 1, la méthodologie adoptée pour le dimensionnement repose sur une modélisation numérique. La variante à dalle pleine a été modélisée et analysée à l'aide du logiciel Autodesk Robot Structural Analysis, tandis que la variante à dalle réticulée a été étudiée à l'aide du logiciel CYPECAD, mieux adapté à la modélisation des planchers réticulés, Complétée par une analyse modale afin d'évaluer le comportement vibratoire des deux variantes étudiées.

Les résultats obtenus montrent que la dalle réticulée présente des avantages notables. Sur le plan technique, l'effort normal transmis aux poteaux diminue de 27,6 %, le taux de travail des poteaux baisse de 21,8 %, le volume du tablier est réduit de 31,04 % et de 30,9 % par semelle de tandis que la flèche maximale diminue de 5 %, sur le plan dynamique, la dalle réticulée atteint une fréquence propre de 2,7 Hz, la plaçant dans la plage à risque faible de mise en résonance et garantissant un confort optimal pour les usagers, contre une fréquence de 2,6 Hz et un risque moyen pour la dalle pleine.

Enfin, sur le plan économique, le coût total du tablier est réduit de 2 154,2 USD à 1 424,9 USD (-33,85 %) et celui d'une semelle de 1 684,2 USD à 1 202,92 USD (-28,57 %), traduisant une économie globale grâce à la réduction des volumes de béton et des quantités d'acier. Ainsi, la dalle réticulée constitue une solution techniquement performante, confortable pour les usagers et économiquement plus avantageuse que la dalle pleine.

Ainsi, ce travail apporte une contribution méthodologique et technique à la conception des passerelles piétonnes en béton armé, en mettant en évidence l'intérêt des planchers réticulés dans un contexte de recherche d'optimisation structurelle et économique.

Malgré les résultats obtenus, ce travail présente certaines limites. Notamment l'absence de certaines actions exceptionnelles telles que les chocs de véhicules, l'interaction sol-structure qui pourraient influencer le comportement réel de l'ouvrage.

L'étude dynamique a été menée à partir d'une analyse modale simplifiée, conformément au guide méthodologique du SETRA, sans prise en compte de modèles avancés d'interaction piéton-structure. Néanmoins, pour une passerelle soumise à des situations de chargement courantes et de portée moyenne, les résultats obtenus peuvent être considérés comme satisfaisants.

Ce travail présente une approche comparative de deux variantes de passerelle piétonne en béton armé. Plusieurs perspectives peuvent être envisagées afin d'approfondir les résultats obtenus. Il serait notamment pertinent de développer une étude dynamique plus avancée intégrant des modèles d'interaction piéton-structure, permettant une meilleure évaluation des phénomènes de résonance et du confort vibratoire.

Bibliographie

- [1] Abbadie LUC, «Quelle mobilité pour la ville de demain ? Un regard croisé des experts et de la littérature scientifique,» avril 2022. [En ligne]. Available: <https://journals.openedition.org/vertigo/35620>. [Accès le mardi 5 aout 2025].
- [2] Banque européenne d'investissement (BEI), «Les transports au service du développement,» 19 avril 2022. [En ligne]. Available: <https://www.eib.org/fr/stories/developing-countries-transport-infrastructure>. [Accès le 5 aout 2025].
- [3] auma association africaine des autorites organisatrices de la mobilite urbaine, «Mobilité Urbaine : comment les institutions locales transforment les villes africaines?,» 23 decembre 2024. [En ligne]. Available: <https://auma.org/ressources/comment-les-institutions-locales-transforment-les-villes-africaines/>. [Accès le 5 aout 2025].
- [4] challenge mobility le media des professionnels de la mobilite, «L'essor des passerelles piétonnes dans les villes modernes,» 20 mars 2025. [En ligne]. Available: <https://www.challengemobility.com/blog/lessor-des-passerelles-pietonnes-dans-les-villes-modernes>. [Accès le 5 aout 2025].
- [5] joane, «La passerelle : définition, rôles et différences avec un pont,» 23 mai 2023. [En ligne]. Available: <https://commentouvrir.com/tech/la-passerelle-definition-roles-et-differences-avec-un-pont/>. [Accès le 5 aout 2025].
- [6] wikipedia, «Passerelle Léopold-Sédar-Senghor,» 27 juin 2025. [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Passerelle_L%C3%A9opold-S%C3%A9dar-Senghor. [Accès le 5 aout 2025].
- [7] wikipedia, «Millennium Bridge (Londres),» 9 juillet 2025. [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Millennium_Bridge,_London. [Accès le 5 aout 2025].
- [8] Vion, Pascal Charles & Philippe, Guide « Comportement dynamique des passerelles», france: setra Service d'études techniques des routes et autoroutes, 2006.
- [9] Grace, CT. masika muhiwa, PONT L3 GC, ulpgl, 2025.
- [10] wikipedia, «Pons Sublicius,» 31 juillet 2025. [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Pons_Sublicius. [Accès le 7 aout 2025].

- [11] wikipedia, «Kapellbrücke», 5 juillet 2025. [En ligne]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Kapellbr%C3%BCcke>. [Accès le 7 août 2025].
- [12] wikipedia, [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Iron_Bridge.
- [13] wikipedia, [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Clifton_Suspension_Bridge.
- [14] wikipedia, «Pont Peace (Calgary)», [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Peace_Bridge_%28Calgary%29?.
- [15] «dimensionnement optimal d'une passerelle piétonne en zone urbaine», [En ligne]. Available: <https://www.construction-consultant.net/dimensionnement-optimal-d-une-passerelle-pietonne-en-zone-urbaine/>.
- [16] cerema, Concevoir des passerelles pour les piétons et les cyclistes, france: cerema, 2024.
- [17] wikipedia, [En ligne]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Gateshead_Millennium_Bridge.
- [18] Alinabiwe, prof. Ally, initiation au béton armé L3, ulpgl.
- [19] wikipedia, [En ligne]. Available: https://fr.wikipedia.org/wiki/Passerelle_Mativa.
- [20] Alinabiwe, Prof Ally, initiation au beton arme, goma: ULPGL, 2025.
- [21] Alinabiwe, Prof. Ally, initiations aux fondations et soutènement, goma: ULPGL, 2025.
- [22] Imane, CHEIKH, Etude comparative entre dalle réticulée et dalle pleine, maroc: École Hassania des Travaux Publics, 2011.
- [23] CYPE, «<https://info.cype.com/fr/theme/planchers-reticules/>», [En ligne].
- [24] AFNOR, eurocode 1 Actions sur les structures, paris: AFNOR, 1996.
- [25] SETRA, Passerelles piétonnes-Évaluation du comportement vibratoire sous l'action des piétons, paris: setra, 2006.

Annexe A

PLANS ARCHITECTURAUX

Les Figure 0-1, Figure 0-2, Figure 0-3 présentent respectivement : le plan de masse, la vue de dessus et la façade nord du projet

A.1 VUE

A.1.1 Plan de masse

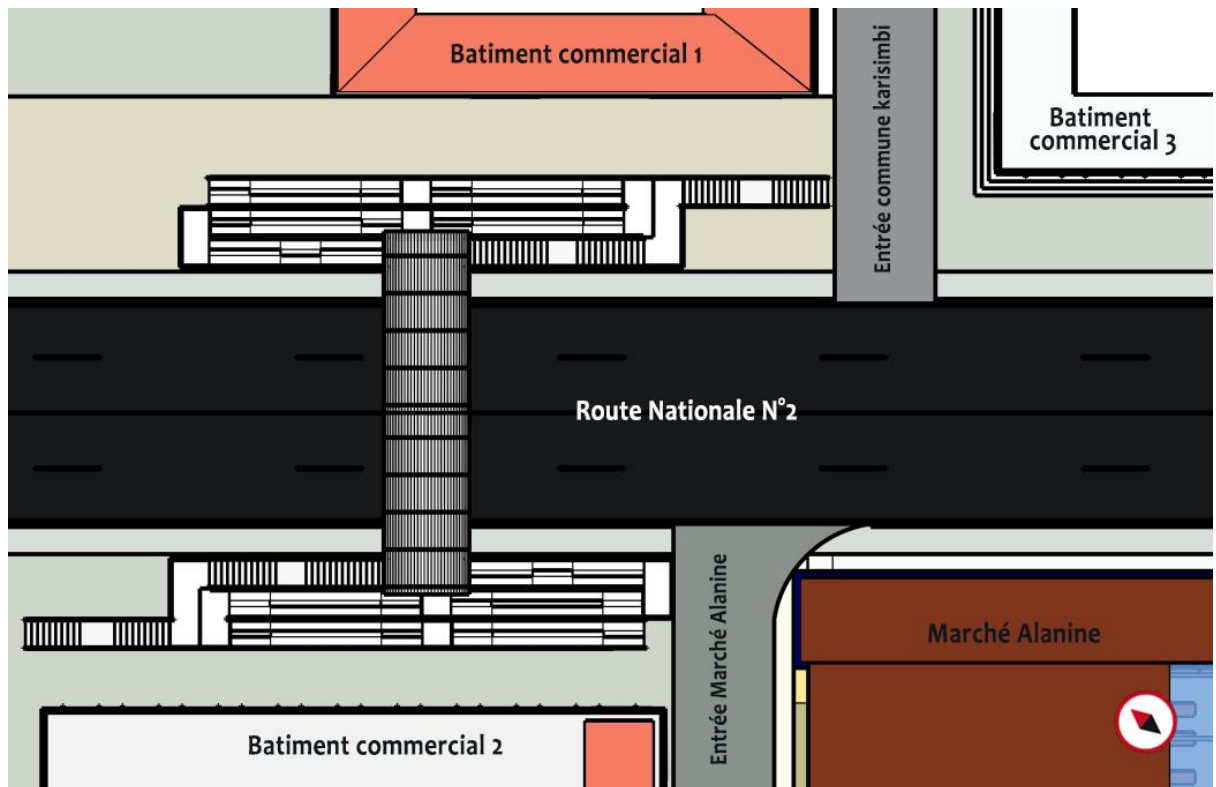


Figure 0-1: Plan de masse

A.1.2 Vue de dessus

La Figure 0-2 présente la vue dessus de notre passerelle illustrant qu'il s'agit d'une passerelle droite

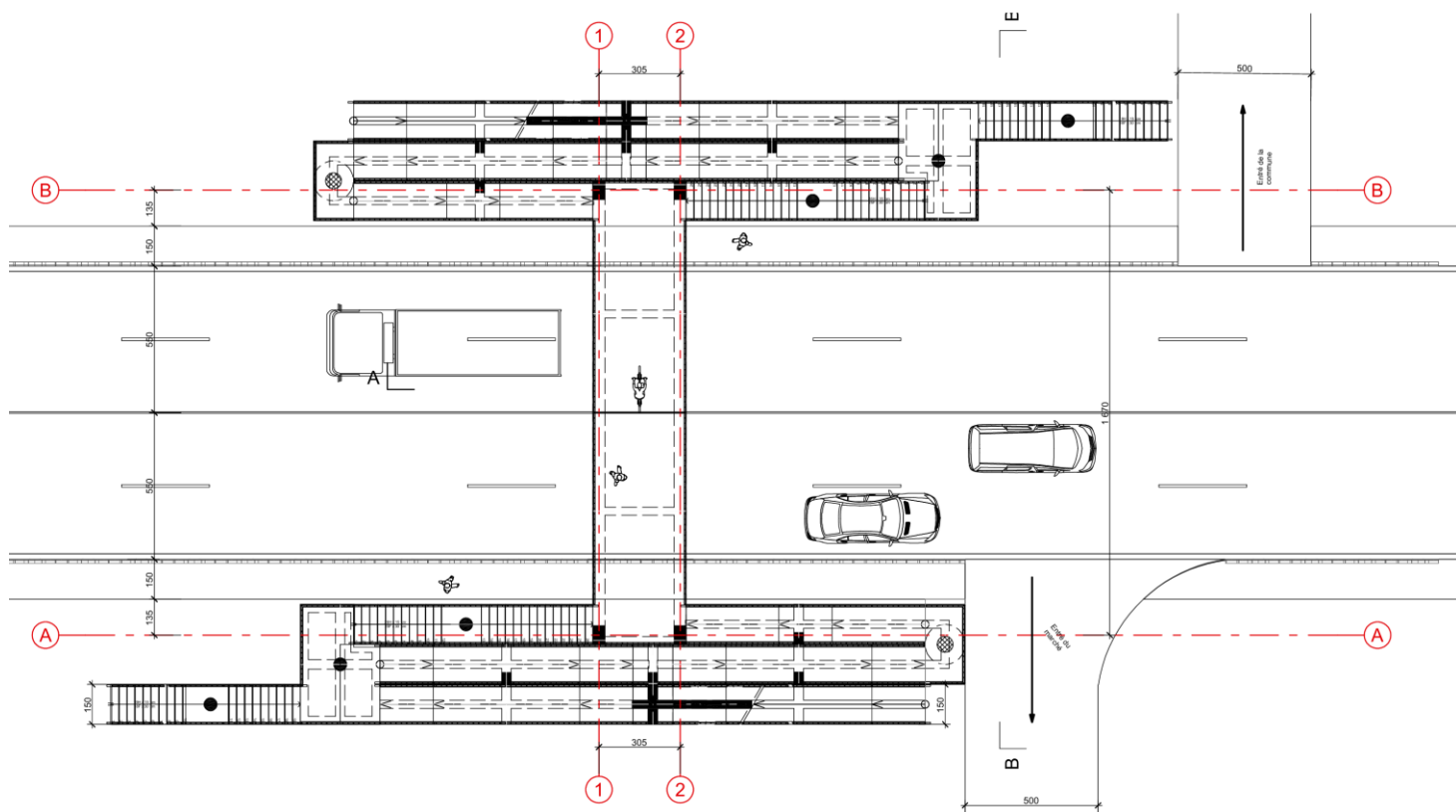


Figure 0-2: Vue de dessus du projet

A.2 FACADE

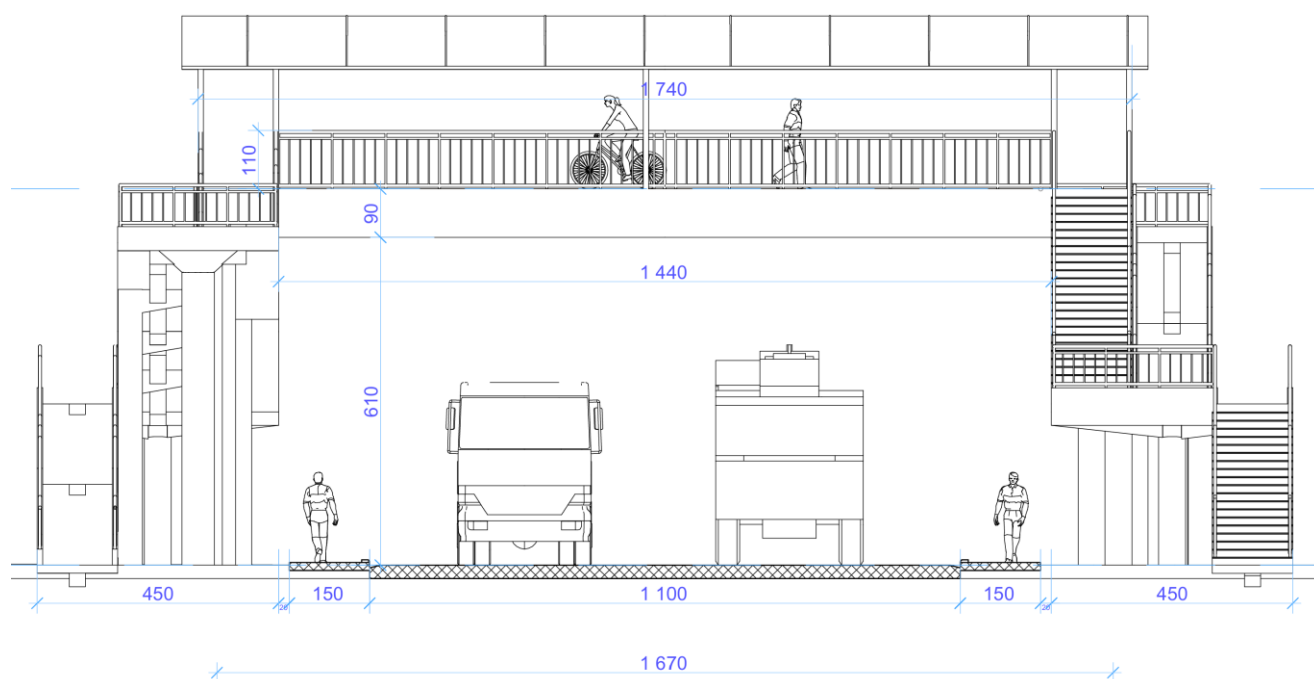


Figure 0-3: Façade nord du projet

A.3 RENDU 3D



Figure 0-4:Rendu 1 : côté nord



Figure 0-5: Rendu 2- côté sud

Annexe B

AUTRES PLANS DE FERRAILLAGES

Les figures ci-dessous présentent les plans de ferrailrages de :entretoise, poteau circulaire, poutre inclinée, poutre a section variable

B.1 Entretoise

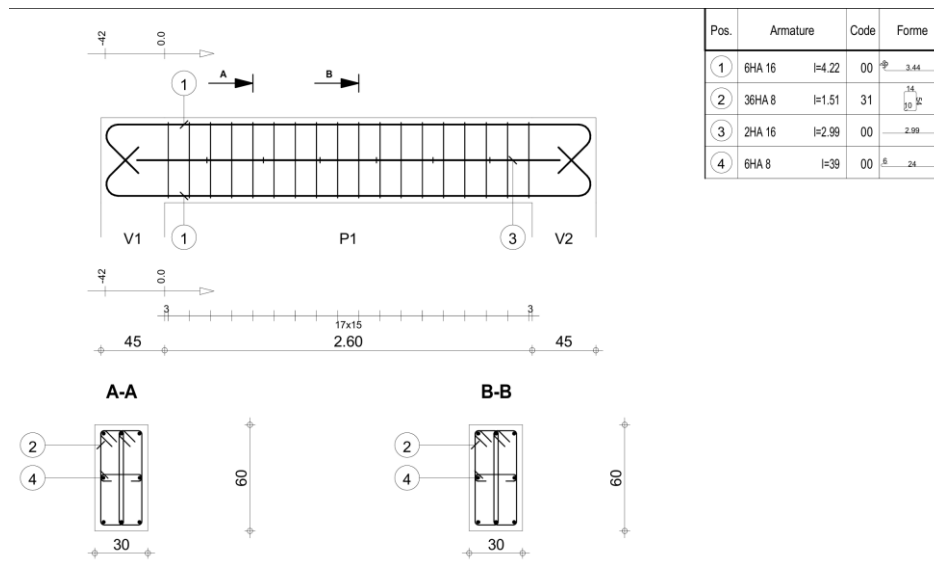


Figure 0-6: Plan de ferrailage de l'entretoise

B.2 Poteau circulaire

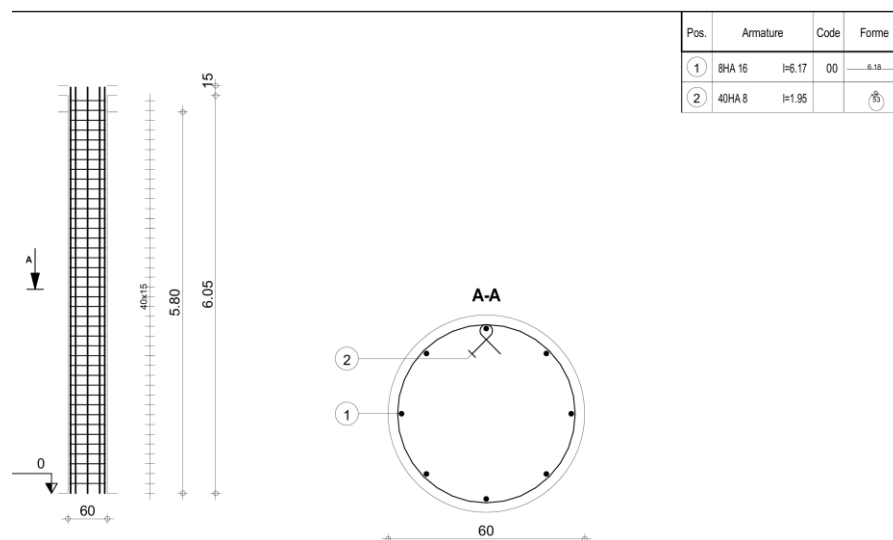


Figure 0-7: Plan de ferrailage du poteau circulaire

B.3 Poutre inclinée

Fondation (P5) - Plancher 2 (P9)

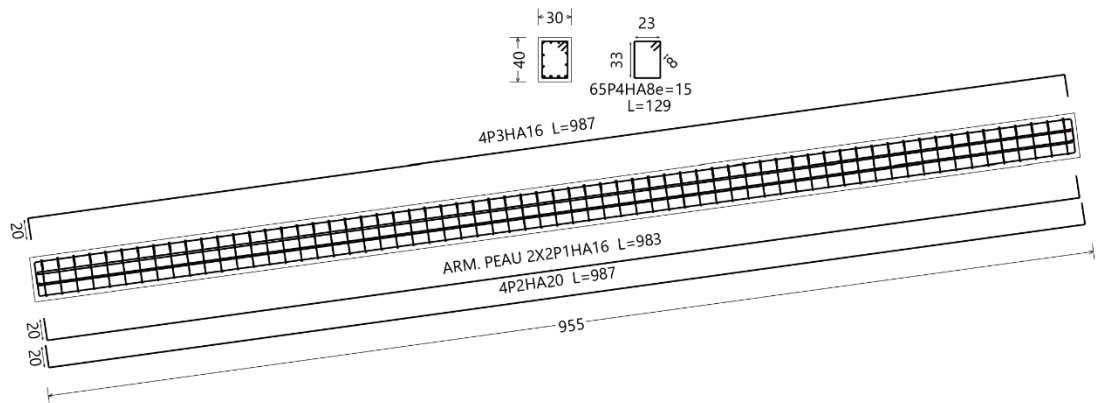


Figure 0-8: Plan de ferrailage de la poutre inclinée

B.4 Poutre à section variable

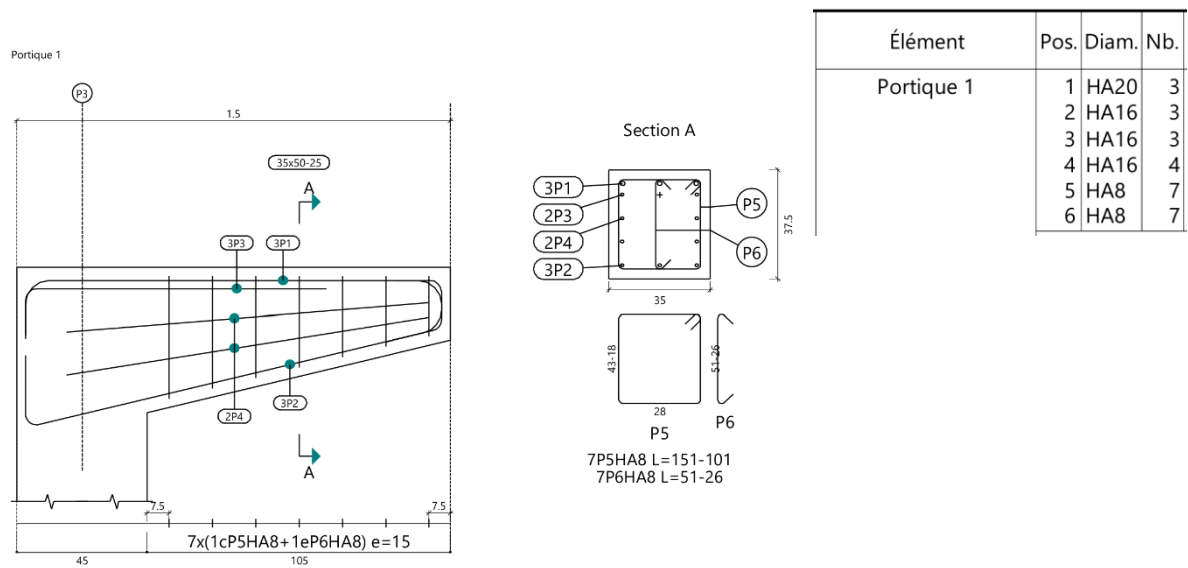


Figure 0-9: Plan de ferrailage de la poutre à section variable