



ZiE
Fondation ZiE

Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering

THEME

EVALUATION DU LOGICIEL PICF-CYPE ET SON APPLICATION DANS LES CONDITIONS LOCALES AU BURKINA FASO

Mémoire pour l'obtention du diplôme de
MASTER EN INGÉNIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : Génie Civil

Présenté et soutenu publiquement en Juin 2011 par

Ali TRAORE

Travaux dirigés par :

Dr Ismaël GUEYE

Dr. Raffaele VINAÏ

Enseignants au ZiE

UTER ISM

Promotion 2011

DÉDICACES

- À mes parents **Mme et Mr TRAORE**, pour le sacrifice énorme consenti à ma formation ;
- À mon frère **Mamoudou TRAORE**, pour les encouragements perpétuels, le soutien moral, la joie et la sécurité qu'il m'apporte ;
- A **Mme COMPAORE**, pour son infatigable soutien
- Au grand frère **SANOGO Ibrahim**
- A **El hadj SANA**
- À tous mes amis et camarades pour le soutien et la générosité indéfectible

« Il n'est jamais tard de devenir ce que l'on aurait pu être. »

REMERCIEMENT

Je ne pourrais finir ce travail sans dire encore une fois merci au DIEU tout puissant ALLAH de m'avoir donné la foi, la force et le courage pour atteindre ce niveau actuel.

Que permission nous soit donnée d'exprimer notre gratitude à tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué au bon déroulement de cette formation. Plus particulièrement, nos encadreurs :

- **Dr. Ismaïla GUEYE et M. VINAÏ** Enseignants au 2iE, pour leur assistance, leur disponibilité et tous les conseils prodigués tout au long du mémoire.
- **Mr Moussa TRAORE** Directeur Général de FASO KANU DEVELOPPEMENT, qui nous a accepté dans sa structure
- **Mr. OUATTARA Thierry Hamed**, Directeur Général Adjoint de FASO KANU DEVELOPPEMENT, qui a proposé le thème de mémoire.

Nous remercions également :

- **M. Salia SANOU**, pour nous avoir conduits et recommandés auprès de l'Entreprise FASO KANU DEVELOPPEMENT ;
- L'équipe pédagogique du 2iE pour l'enseignement et leur disponibilité à assurer notre formation professionnelle.
- **Mr COULIBALY FOUSSEINI**, ingénieur Génie Civil à FASO KANU DEVELOPPEMENT, pour sa disponibilité à répondre à toutes nos questions et à nous fournir tous les documents nécessaires au bon déroulement de ce mémoire.
- L'ensemble du personnel de FASO KANU DEVELOPPEMENT, notamment Mme DOUMBIA, **Mr Adama BAGAYOKO et Mr Achille**, pour leur disponibilité et leurs conseils qui nous ont beaucoup aidés dans la réalisation de ce travail ;

Enfin, nous remercions :

- Nos parents, frères et sœurs et toute la **grande famille TRAORE**;
- Tous nos amis, en particulier, **Emmanuel SABA, Alassane BARRY**, pour leur soutien
- **Mr KO Babou** des constructions SUZY, pour sa disponibilité malgré ses multiples tâches
- Tous les étudiants du 2iE pour l'ambiance et l'esprit de paix et d'harmonie qu'ils ont su préserver au sein de l'Institut, et plus particulièrement la troisième promotion de Master du 2iE.

Avant-propos

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) est l'une des plus grandes écoles d'ingénierie en Afrique. sa mission est de former des Techniciens et des Ingénieurs compétents dans le domaine de l'Eau, de l'Environnement, de l'Énergie et du Génie Civil. C'est par Conscience de cela et dans le but de parfaire cette formation, que le 2iE a adopté la stratégie alliant la pratique et la théorie. Le travail pratique a été instauré dans le programme académique. A la fin du cycle de Master, un travail de mémoire de fin d'étude, pouvant être réalisé soit en Entreprise, soit en laboratoire ou encore en bureau d'étude.

C'est dans le cadre de ce mémoire que le bureau d'étude FASO KANU DEVELOPPEMENT nous a confié une étude dont le thème est : « **Evaluation du logiciel de calcul de pont-cadre PICF – CYPE et son application dans les conditions locales au BURKINA FASO** ». Le présent rapport a donc été rédigé, ayant pour objectif de proposer à l'Entreprise la solution nécessité d'achat ou non de la licence du logiciel PICF-CYPE.

Ce rapport fait état de complément de notre formation en Master d'Ingénierie du Génie Civil.

Auteur : Ali TRAORE

Encadreur externe : M.OUATTARA Thierry

Encadreurs interne : Dr.Ismaila GUEYE

Hamed

Dr. Raffael VINAI

(FASO KANU DEVELOPPEMENT)

THEME : Evaluation du logiciel de calcul de pont-cadre PICF – CYPE et son application dans les conditions locales au BURKINA FASO

RESUME

Les ingénieurs, pour se faciliter la tâche tout en améliorant les résultats des calculs pour mieux sécuriser les ouvrages d'art et par-dessus tout protéger les utilitaires ont conçu des programmes permettant de dimensionner les ouvrages d'art.

Ces programmes, pour s'assurer de leur fiabilité ont fait l'objet de plusieurs études comparatives tant sur le plan technique que sur le plan économique.

Pour se faire il faudrait définir un barème de notation pour une éventuelle appréciation.

Dans ce travail, il a donc été question de dimensionner un pont cadre d'une part par le calcul manuel et d'autre part avec un logiciel afin d'en sortir une comparaison aussi bien économique que technique. Enfin, par le résultat obtenu, grâce à une analyse répondre à la question de la nécessité d'acquisition du logiciel CYPE pour le bureau d'étude FKD.

Afin d'y parvenir, il a été question dans un premier temps d'essayer de trouver un ouvrage dans les conditions locales du Burkina Faso qui sera dimensionner par deux méthodes que sont l'utilisation du logiciel et le calcul manuel.

Ensuite, il s'est agit de faire une analyse technico économique des résultats présentés par les deux méthodes. Ces résultats portent sur le ferrailage calculé et la quantité de fer à utiliser. A côté de ces deux paramètres, il faut ajouter le plan de ferrailage.

Enfin, il fallait se prononcer sur la question d'utilité du logiciel CYPE pour FKD, et proposé un guide de dimensionnement.

Mots clés :

Analyse technico-économique, Dimensionnement, licence du logiciel, guide de dimensionnement

Author: Ali TRAORE

Responsible Professors: Dr. Ismaïla GUEYE

External tutor: M.OUATTARA Thierry

Hamed

Dr. Raffael VINAIÏ

(FASO KANU DEVELOPPEMENT)

ABSTRACT

Engineers, to facilitate the task while improving the results of calculations to better secure the works of art and above all protect the utilities have designed programs to design the structures.

These programs, to ensure their reliability have been the subject of several comparative studies both technically and economically.

To do this we should define a scoring system for possible appreciation.

In this work, so it was matter of size a bridge as part of a manual calculation by hand and partly with software to get out a comparison both economically and technically. Finally, by the result obtained through an analysis addressing the problem of buying the license for the software design of bridge frame

To achieve this, we initially try to find work in local conditions in Burkina Faso who will size by two methods are the use of the software and manual calculation.

Then he acts to make a technical and economic analysis of the results presented by the two methods. These results are calculated reinforcement and the amount of iron to use. Besides these two criteria must be added in terms of reinforcement or at least laying.

Finally, we comment on the issue of purchasing the software license CYPE, and proposed a sizing guide with it.

Keywords:

Techno-Economic Analysis, Dimensioning, software license, sizing guide.

SOMMAIRE

DÉDICACES.....	III
REMERCIEMENT.....	IV
AVANT-PROPOS.....	V
RESUME	VI
ABSTRACT	VII
SOMMAIRE	VIII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES ABREVIATIONS.....	XI
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE GENERALE.....	3
1. INTRODUCTION.....	3
2. PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE	3
2.1. Contexte général	3
2.2. Description de la méthode.....	4
2.3. Contraintes lié au travail demandé	4
2.4. Objectif.....	4
CHAPITRE2 : APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	5
1. PRESENTATION DU LOGICIEL	5
1.1. Les actions :	5
1.2. Les résultats :.....	5
1.3. Les extensions.....	6
1.4. La présentation en 3D.....	6
2. LA RECHERCHE DOCUMENTAIRE.....	7
3. LA COLLECTE DES DONNEES.....	7
4. DONNEES RECUEILLIES.....	8
4.1. Les données géotechniques	8
4.2. La géométrie :.....	8
4.3. L'hydraulique et l'hydrologie :	8
5. ETUDES SUPPLEMENTAIRES	8
6. DEFINITION DU CRITERE DE COMPARAISON	9
CHAPITRE3 : DONNEES DE L'ETUDE.....	10
CHOIX ET JUSTIFICATION DE L'OUVRAGE	10
CHAPITRE 4 : LES RESULTATS OBTENUS PAR LES DIFFERENTS CALCULS.....	12
1. LE DIMENSIONNEMENT PAR LE CALCUL MANUEL.....	12
1.1. Le pré dimensionnement	12

2.	LE DIMENSIONNEMENT.....	12
2.1.	<i>Hypothèses de calcul</i>	12
2.2.	<i>Règlements</i>	13
2.3.	<i>Aciers</i>	13
2.4.	<i>Sol de fondation</i>	13
3.	PRINCIPE ET METHODE DE CALCUL DES SOLLICITATIONS.....	13
3.1.	<i>Données diverses</i>	14
4.	SOLlicitationSET CHOIXD'ARMATURES	16
4.1.	<i>Schéma statique</i>	16
4.2.	<i>Détermination des actions</i>	17
4.3.	<i>Détermination des sollicitations</i>	18
4.4.	<i>Détermination des armaturesdes différents éléments</i>	19
5.	LE DIMENSIONNEMENT AVEC LE LOGICIEL PICF-CYPE	21
5.1.	<i>Le pré-dimensionnement</i>	21
5.2.	<i>Les charges appliquées sur le tablier</i>	23
5.3.	<i>Murs en aile :</i>	24
CHAPITRE5 : ETUDE COMPARATIVE : ANALYSE TECHNICO- ECONOMIQUE DES DEUX METHODES		25
1.	LES PRINCIPES DE CALCUL DU LOGICIEL	25
2.	METHODE DE CALCUL.....	26
3.	LE FERRAILLAGE PROPOSE PAR LE LOGICIEL.....	26
4.	LA FIABILITE DES RESULTATS.....	27
5.	L'ADAPTABILITE DU LOGICIEL DANS LES CONDITIONS DU BURKINA FASO	27
6.	LES AVANTAGES DU LOGICIEL PICF-CYPE	27
7.	LES INCONVENIENTS DU LOGICIEL.....	28
CHAPITRE6 : GUIDE D'UTILISATION : DIMENSIONNER AVEC CYPE.....		29
1.	LA CONFIGURATION PREMIERE:	29
2.	L'INTRODUCTION DES DONNEES	29
3.	LA DERNIERE CONFIGURATION	29
4.	LE DIMENSIONNEMENT	30
5.	LES MODIFICATIONS	30
6.	L'EXPORTATION	30
CONCLUSION		31
RECOMMANDATIONS		33
BIBLIOGRAPHIE		34
ANNEXES.....		35

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Sollicitations dues aux actions permanentes.....	18
Tableau 2 : Sollicitations dues aux actions variables.....	19
Tableau 3 : Sollicitations pour le calcul des aciers.....	19
Tableau 4 : Sollicitations pour le choix des aciers du tablier.....	19
Tableau 5 : Sollicitations pour le choix des aciers du radier.....	20
Tableau 6 : Sollicitations pour le choix des aciers du piedroits.....	20
Tableau 7 : Choix d'armatures pour le ferrailage du dalot.....	21

LISTE DES ABREVIATIONS

- PICF : Pont Intérieur à Cadre Fermé
- ZiE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et l'Environnement
- ELU : Etat Limite Ultime
- ELS : Etat Limite de Service
- APD : Avant-Projet Détaillé
- RN : Route National
- CPC : Cahier des Prescriptions Communes
- MPa : Méga Pascal
- kN : Kilo Newton
- MN : Méga Newton
- BAEL : Béton Armé aux Etats Limite
- FKD : Faso Kanu Développement

INTRODUCTION GENERALE

La conception des ponts-cadre est en constante évolution grâce à l'avènement de logiciels présentant une qualité de conception et des performances croissantes, au développement de méthodes de construction à la fois plus précise et plus sophistiquées, et à la création de formes originales apportant de nouvelles solutions aux problèmes posés de franchissement des obstacles les plus divers. Ainsi, il est rare que la prise en compte de toutes les différentes contraintes conduise à un temps unique de dimensionnement pour un franchissement donné. Dans la majorité des cas, il faut envisager un temps de travail qui dure plusieurs jours.

Le présent rapport porte sur l'étude comparative de deux méthodes de dimensionnement d'un dalot.

D'après les différentes expériences, le dimensionnement avec le logiciel s'avère plus rapide et présente plus de précision qu'un dimensionnement fait par le calcul manuel. En témoigne le grand écart entre le temps mis pour effectuer un calcul à l'aide d'une machine à calculer et celui pris pour opérer un calcul manuel.

Ainsi et d'ores et déjà, il nous paraît possible de conclure que le calcul à l'aide du logiciel est plus avantageux que celui fait manuellement. Il serait donc judicieux, voire impératif pour l'entreprise d'obtenir sa licence, si elle veut gagner en temps. Cependant, il est nécessaire de noter que cet état de fait n'exclut pas de facto de calcul manuel. En effet, le logiciel n'inclut pas par exemple de paramètres externes tels que le climat, la région où se situe l'ouvrage ou encore d'autres critères qui peuvent influencer sa réussite.

C'est pourquoi, cette étude qui portera sur le projet de dimensionnement d'un dalot à ouvertures multiples fera l'objet d'une étude comparative des deux méthodes de dimensionnement pour plus de précisions sur les paramètres ci-dessus énumérés.

Ainsi, nous proposons de dimensionner d'abord ce dalot par le calcul manuel. Ensuite, il s'agira pour nous de procéder par des calculs à travers le logiciel PICF-CYPE. Ceci nous permettra en dernier ressort de tirer une conclusion pouvant répondre à la question de la nécessité d'achat de la licence dudit logiciel qui pourrait se poser en ces termes : Quelle est la motivation première de l'entreprise à choisir ce logiciel de calcul de pont, par rapport à l'existence de multiples logiciels de calcul ? Les résultats de l'étude susdite seront-ils vérifiés dans le cas de ce dalot pris pour exemple ?

L'objectif sous-jacent de cette étude étant de proposer à FASO KANU DEVELOPPEMENT la solution la mieux adaptée à la rapidité et à l'efficacité de son action, une étude comparative, voire même technico-économique des deux cas s'impose.

CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE GENERALE

1. Introduction

L'avènement des méthodes de dimensionnement numériques est intrinsèquement lié au développement de la conception et aux progrès réalisés dans la méthode de construction. Au Burkina Faso, les types de pont varient peu, et l'on a tendance à plutôt miser sur les dalots à ouvertures multiples. Nous pouvons donc voir l'exemple de l'intersection RN3 RN4 dans la ville de Ouagadougou où un dalot a été préféré à un pont.

Ainsi, pour un ouvrage donné, plusieurs méthodes de dimensionnement sont possible par ricochet, plusieurs théories de dimensionnement.

Tout en prenant en compte cette remarque, et en gardant à l'esprit que plusieurs logiciels existent pour le dimensionnement avec chacun ayant des paramètres et des caractéristiques particulières, pouvant intéresser selon les résultats attendus. Nous nous contenterons de faire une comparaison de dimensionnement à travers une étude technico économique.

C'est sur ces incertitudes que la tâche nous est été donnée par le bureau d'étude FASO KANU DEVELOPPEMENT de faire une étude comparative tant bien sur le plan économique que sur le plan technique afin de se prononcer sur la nécessité d'achat de la licence.

2. PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE

2.1. Contexte général

Dans le cadre de sa recherche d'un logiciel de calcul de pont cadre (dalot) fréquemment utilisé au Burkina Faso dans les constructions routières, le bureau d'étude FASO KANU DEVELOPPEMENT envisage l'évaluation du logiciel PICF-CYPE, son adaptation aux conditions et modèles locaux de calcul et éventuellement la formation de son personnel à l'interne.

Avec l'évolution de la technologie, il est probable que les logiciels les plus récents soient les plus performants et plus efficace. Le logiciel PICF-CYPE est récent et il nous reste à vérifier sa performance à travers son évaluation.

Comme pour tout bureau d'études, l'objectif est de gagner en temps et dans la performance pour être crédible aux yeux des maîtres d'ouvrage, bref les clients.

C'est dans ce contexte que le thème de stage nous a été confié pour pouvoir répondre à la problématique posée ci-dessus.

2.2. Description de la méthode

Notre travail consistera à évaluer le logiciel de calcul de pont-cadres dénommé PICF-CYPE. Pour se faire, nous avons choisi de faire un dimensionnement d'une part avec le calcul manuel et d'autre part avec ledit logiciel. Des différents résultats obtenus, nous allons les analyser, interpréter pour en ressortir la méthode la mieux à adapter pour un bureau d'étude tel FASO KANU DEVELOPPEMENT.

Pour cette étude, nous avons pris un exemple de dalot à ouvertures multiples (16 ouvertures) pour le dimensionnement dans les deux cas. Ce cas nous permettra de voir le comportement du logiciel face à un dimensionnement d'ouvrage dans toutes ses formes vue son importance (les dimensions).

2.3. Contraintes lié au travail demandé

Les contraintes liées travail à fournir sont plutôt d'ordre formative et de temps.

En effet, aucune formation même information essentiel sur le logiciel n'était disponible. Il nous fallait donc l'apprendre seul avec pour seul formation l'aide du logiciel qui est incorporé. Vue le temps que nous disposions pour notre stage, il était difficile de fournir un guide d'utilisation du logiciel à temps et du même coup former le personnel technique de FASO KANU DEVELOPPEMENT définit comme objectif à atteindre dans les Termes de Référence.

2.4. Objectif

L'étude telle que décrit plus haut, a pour but en général de justifier l'importance du logiciel PICF-CYPE pour FKD.

Afin d'y parvenir, il faut se baser sur des critères bien spécifiques tels que :

- Un ouvrage qui sera dimensionné par le calcul manuel et avec CYPE pour voir le comportement du logiciel
- Déterminer les différents paramètres que chaque type de dimensionnement prend ou pas en compte
- Fournir une évaluation multicritère de l'outil de dimensionnement
- Répondre à la question de la nécessité du logiciel pour FKD.

Chapitre 2 : APPROCHE METHODOLOGIQUE

Dans ce chapitre il sera question de comparaison des différents paramètres pris en compte par le logiciel par rapport à ceux que l'on pourrait considérer en faisant le dimensionnement par le calcul manuel. En plus de cela, on ajouterait une comparaison des différents résultats obtenus et plus particulièrement le ferrailage.

Pour ce faire, et pour que tout soit pris en considération, nous prendrons en compte tous les aspects et définirons un schéma de travail qui répondra à nos attentes ou du moins à ceux de FKD.

1. Présentation du logiciel

PICF-CYPE est un logiciel de calcul ou du moins de dimensionnement des ouvrages parmi lesquels on trouve celui relatif aux pont-cadre. Ce dernier fera l'objet de notre étude. Le logiciel utilise la méthode de calcul par éléments finis triangulaires de type lamelle épaisse tridimensionnelle qui prend en compte la résistance à l'effort tranchant. Les normes pouvant être prises en compte pour la justification et le dimensionnement des armatures des sections par le logiciel CYPE 2009 sont les suivantes:

-  BAEL 91 modifié 99 (France)
-  EHE (Espagne)
-  REBAP (Portugal)

Pour la génération des actions le logiciel prend en compte une des normes suivantes:

-  CFC, Fascicule 61 (France)
-  IQP-98 et ROM 0.2-90 (Espagne)
-  RSA (Portugal)

1.1. Les actions :

Les actions prises en compte par le logiciel sont entre autres le poids propre, la poussée du terrain, les charges appliquées sur le tablier (convois civils et militaires).

1.2. Les résultats :

La note de calcul présentée comprend :

- ▶ Les normes et les matériaux utilisés par le logiciel
- ▶ La géométrie :
- ▶ Le terrain : c'est la valeur du module de réaction, la contrainte admissible, le poids volumique, l'angle de frottement interne et celui de transmission des charges
- ▶ Les actions générées : les actions générées sont les surcharges, le poids propre et les charges en bande
- ▶ La combinaison : c'est les résultats des différentes sollicitations à l'ELU et à l'ELS entre les actions c'est-à-dire les sollicitations.
- ▶ Le ferrailage : c'est le plan de ferrailage et les diamètres des différents fers.
- ▶ Le quantitatif : c'est la quantité de fer pour chaque élément du dalot

A part cela, nous avons le plan de coffrage ainsi que le plan de ferrailage de tous les éléments constitutif. Nous pouvons donc l'exporter sous plus d'un format comme AutoCad, PDF, ...

1.3. Les extensions

Après modélisation et calcul, les résultats fournis par le logiciel peuvent être donnés sous plusieurs formats, parmi lesquels

- Le format Autocad : les plans de ferrailage son extensible en Autocad ; ceci nous permet de modifier certaines présentations et de faire des mises en formes à notre guise. Que ce soit la couleur ou l'épaisseur de certains traits.
- Le format PDF : pour une impression facile
- Le format JPG : étant un format image on peu visualiser nos résultats sous forme d'image.

1.4. La présentation en 3D

Cette présentation permet de voir et d'apprécier la structure en 3D dans toutes ses formes et tous ses côtés.

2. La recherche documentaire

Ce fut la première étape avant tout contact avec l'outil de dimensionnement qu'est le logiciel. La recherche documentaire s'est accentuée sur la recherche de tout document qui serait lié au logiciel PICF-CYPE et toutes les informations qui pouvaient concerner le dalot pris pour exemple.

Ainsi, la recherche nous a permis d'avoir les documents suivants :

- ✓ les méthodes de dimensionnement des ponts-cadre
- ✓ méthode utilisé par le logiciel CYPE pour le dimensionnement des ponts-cadre
- ✓ des notes de calcul fourni par CYPE pour le dimensionnement d'un pont-cadre
- ✓ des ouvrages exposant la méthodologie de conception et de dimensionnement des ouvrages d'arts
- ✓ des explications des personnes ayant déjà utilisé le logiciel CYPE
- ✓ des informations sur les dimensions du dalot à dimensionner
- ✓ des données géotechniques, hydrologiques et hydrauliques sur le dalot

C'est à partir de ces documents que nous avons reçus, qu'il ressortira la méthodologie de dimensionnement et le dimensionnement par le logiciel CYPE. En plus de cela nous pouvons ajouter le critère d'évaluation du dit logiciel.

3. la collecte des données

Elle a été faite au sein du bureau d'étude FASO KANU DEVELOPPEMENT, d'autres bureaux d'étude ayant déjà utilisé le logiciel CYPE. Cette collecte s'est soldée par l'obtention de :

- ✓ Fascicule 61 titre II du Ministère Français de l'Équipement et des Transports
- ✓ Manuel d'utilisation de PICF-CYPE (version papier)
- ✓ Exemple d'ouvrage d'art à dimensionner
- ✓ L'APD de l'intersection RN3 RN4 comportant les détails du dalot à 16 ouvertures réalisé en projet intégrateur.

4. Données recueillies

Les données que nous avons pu recueillir concernent le plus les informations sur l'ouvrage choisi pour être dimensionné et l'outil de dimensionnement. C'est ainsi que nous avons eu des informations concernant la géotechnique, l'hydraulique et l'hydrologie concernant le dalot d'une part et les informations sur le comment dimensionner avec CYPE d'autre part. Ce qui nous a donné :

4.1. Les données géotechniques

Les données géotechniques sont entre autre la contrainte admissible du sol d'assise, le module de réaction, l'existence et le type de remblai.

4.2. La géométrie :

La géométrie concerne les charges appliquées et le béton armé. Il faut entendre par cela les charge sur le dalot finit, l'enrobage des armatures à considérer, la taille du plus gros granulats.

4.3. L'hydraulique et l'hydrologie :

C'est essentiellement la charge hydraulique, et le tirant d'eau. Le plus important c'est les dimensions du dalot c'est à dire les dimensions des ouvertures.

5. Etudes supplémentaires

Comme dans tout projet, nous avons eu à effectuer des études hors thème que nous avons nommé études supplémentaires. Ces études ont essentiellement porté sur :

L'ouvrage à dimensionner : il fallait trouver un ouvrage qui allait nous permettre d'apprécier au mieux le logiciel ; un ouvrage qui allait nous permettre de voir et d'apprécier le comportement du logiciel. Mais malheureusement, l'entreprise d'accueil n'avait un type d'ouvrage répondant à ces critères. Il nous a fallut donc trouver en chercher un.

Le logiciel : concernant le logiciel, c'était une première rencontre. Sans aucune formation, compte tenu de cette situation, il nous fallait apprendre le logiciel et soi-même. Cela a été en quelque sorte une autre lutte de longue haleine.

6. Définition du critère de comparaison

Pour une comparaison donnée, il faut des éléments de comparaison. C'est dans cette optique que nous avons défini des critères de comparaison. Ces critères sont d'ordre à pouvoir comparer les valeurs, les quantités, et surtout l'économie faite.

Pour cette comparaison soit la plus efficace possible, nous avons intégré plusieurs paramètres et des critères seront définis. Ces critères sont :

- La fiabilité des calculs
- Les paramètres pris en compte
- Les résultats
- L'adaptabilité avec nos conditions au Burkina Faso

Nous pouvons d'ores et déjà retenir que les maîtres mots seront : adaptabilité, fiabilité et économie. Et c'est ceux-là même qui feront l'objet de notre étude et qui seront développer dans d'autres chapitres plus loin.

Chapitres : DONNEES DE L'ETUDE

A l'arrivée dans le bureau d'étude, le seul document disponible pour l'étude, était l'aide proposée par le logiciel CYPE.

En ce qui concerne l'ouvrage pris pour être dimensionné, il vient du projet de construction de la liaison RN3-RN4 dont certaines données étaient déjà disponibles. Ces données sont entre autre les résultats des sondages de la voie, la carte du bassin versant, les différents débits, l'APD réalisé en projet intégrateur au sein du 2iE.

Dans l'APD fourni par le projet, il était possible d'avoir les différentes dimensions des ouvertures du dalot à dimensionner.

De même, ce document a permis de comparer les deux résultats obtenus c'est-à-dire l'un obtenu par le dimensionnement par le calcul et l'autre par le calcul avec le logiciel PICF-CYPE. En ce sens qu'un troisième calcul venait s'ajouter ce qui permettait d'étendre le cercle de comparaison et d'apprécier au mieux le résultat qu'a fourni le logiciel afin de pouvoir l'évaluer. C'est cette évaluation même qui fera l'objet de l'étude en d'autres termes, elle définit le thème du présent mémoire.

Choix et justification de l'ouvrage

L'ouvrage que nous avons choisi, est un dalot à 16 ouvertures situé sur l'intersection entre la RN3 et la RN4 de la ville de Ouagadougou au BURKINA FASO.

Cet ouvrage a été choisi pour être dimensionné et par le calcul manuel et par le calcul avec le logiciel PICF-CYPE. De par sa situation géographique, l'ouvrage présente d'autres avantages pour notre étude. Ces avantages sont de différents types à savoir :

- **Le nombre d'ouvertures** : l'ouvrage présentant plusieurs ouvertures nous permet de voir le comportement du logiciel par rapport aux moments créés par les charges. Vu que les charges seront plus importantes que lorsque le dalot est à une seule ouverture, nous avons voulu voir le comportement du logiciel face à cette situation.

- **La largeur de la chaussée** : elle est de 21m pour ce dalot. Cette largeur nous permet de placer plusieurs surcharges toujours dans le but de voir et de comprendre le fonctionnement du logiciel. Avec 21m, on obtient une largeur chargeable de 19m. Nous permettant de placer plus d'un tandem.
- **La longueur du dalot** : la longueur totale du dalot est d'environ 85,1m. Cette importante longueur nous permet de placer plusieurs convois de camions essieux, donc plusieurs convois ce qui génère d'importants calculs sollicitant plus le logiciel.
- **La situation géographique** : la liaison RN3-RN4, où est situé le dalot, est une zone industrielle du Burkina ; c'est donc dire que la voie sera aussi emprunté par des véhicules poids lourds. Cette situation permet de dire que le dalot en question sera beaucoup sollicité.
- **La disponibilité des données** : des études ont déjà été réalisées sur cet ouvrage, ce qui permet d'avoir toutes les informations nécessaires sur l'ouvrage pour le dimensionnement aussi bien manuellement qu'avec le logiciel.

Au vu de la disponibilité de toutes ces données sur un tel ouvrage, il est évident que pour une évaluation d'un outil de dimensionnement, ce dalot serait le mieux indiqué. C'est dans cette optique que son étude par le logiciel CYPE a fait l'objet de notre thème : « Evaluation du logiciel de calcul des ponts cadre PICF-CYPE et son application dans les conditions locales au Burkina Faso.

Chapitre 4 : LES RESULTATS OBTENUS PAR LES DIFFERENTS CALCULS

1. LE DIMENSIONNEMENT PAR LE CALCUL MANUEL

1.1. Le pré dimensionnement

1.1.1. Conception générale

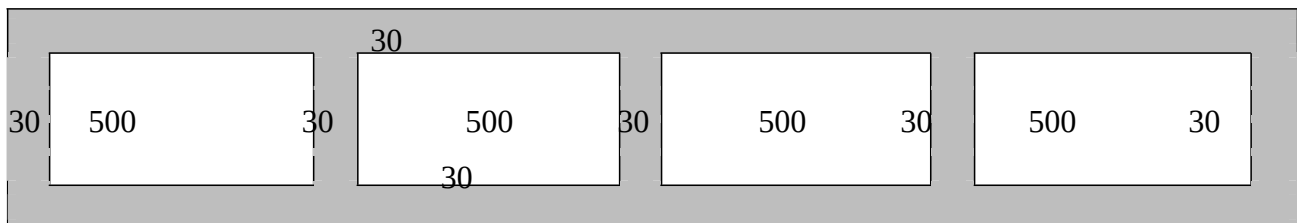
Nous proposons de construire un ouvrage avec des joints tous les 25m maximum (compte tenu de la dilatation du béton), soit quatre (04) batteries de section 4 x 5 x2,50.

1.1.2. Eléments de Pré-dimensionnement

L'épaisseur des piédroits, de la traverse supérieure et du radier est donnée par la formule de **pré-dimensionnement** suivante :

$$E(m) = l/32 + 0,125 = 5/32 + 0,125 = 0,28 \approx 0,30 \text{ m.}$$

C'est un ouvrage constitué de dalle, des piédroits et de radier solidarisés, de portée de 5 m, et de 16 ouvertures avec 17 piédroits de 0,30 m ; Ce qui fait au total 85,10 m de portée.



1.2 LE DIMENSIONNEMENT PROPREMENT DIT

1.2.1 Hypothèses de calcul

✓ Les calculs de ferrailage sont menés suivant les règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant la méthode des états limites dites règles BAEL 91 et Additif 99.

✓ Les surcharges routières sont définies conformément aux prescriptions du titre II du fascicule 61 du cahier des prescriptions communes (C.P.C) français régnant en la matière.

✓ Les ouvrages sont calculés par rapport au convoi de camions de type Bc, Bt, et Br.

1.2.2 Règlements

- ✚ Règles BAEL 91 révisé en 99
- ✚ Fascicules 61 et 62 TITRE II du Ministère Français de l'Équipement et des Transports
- ✚ Camions de type Bc ; Bt et Br

1.2.3 Aciers

- ✚ Aciers à haute adhérence (HA) de nuance Fe E 400
- ✚ Limite d'élasticité garantie Fe = 400 MPa
- ✚ Coefficient de sécurité : $\gamma_s = 1.15$
- ✚ Coefficient d'adhérence : $\eta = 1,6$
- ✚ Fissuration préjudiciable
- ✚ Enrobage : 3cm.

1.2.4 Sol de fondation

- ✚ Poids volumique des terres : $\gamma_d = 20 \text{ kN/m}^3$
- ✚ Coefficient de poussée : $K_p = 0,33$
- ✚ Surcharges de remblai (50 cm de remblai) : $q = 10 \text{ kN/m}^2$
- ✚ Contrainte admissible : $\delta_a = 0,15 \text{ MPa}$

2 PRINCIPE ET METHODE DE CALCUL DES SOLLICITATIONS

De manière générale, les études seront faites par bande d'un mètre de dalot ($b = 1\text{m}$).

Pour le calcul des sollicitations dans les éléments de structure du cadre simple, nous considérerons les différents cas de charges : sous actions permanentes d'une part, et sous surcharge d'exploitation d'autre part.

2.2 Données diverses

Le pont cadre est de **classe 1**. Avec les données suivantes :

- $a_1 = 1$ dans les deux cas envisagés: une ou deux voies chargées.
- $v_0 = 3,5$ d'où, $a_2 = 3,5/3,5 = 1$.
- $b_c = 1,1$: deux files, et **0,8**: quatre files.
- $b_t = 1$.

Les coefficients de majoration dynamiques

$$\delta = 1 + 0,4 / (1 + 0,2L) + 0,6 / (1 + G/S)$$

2.2.2 Système A

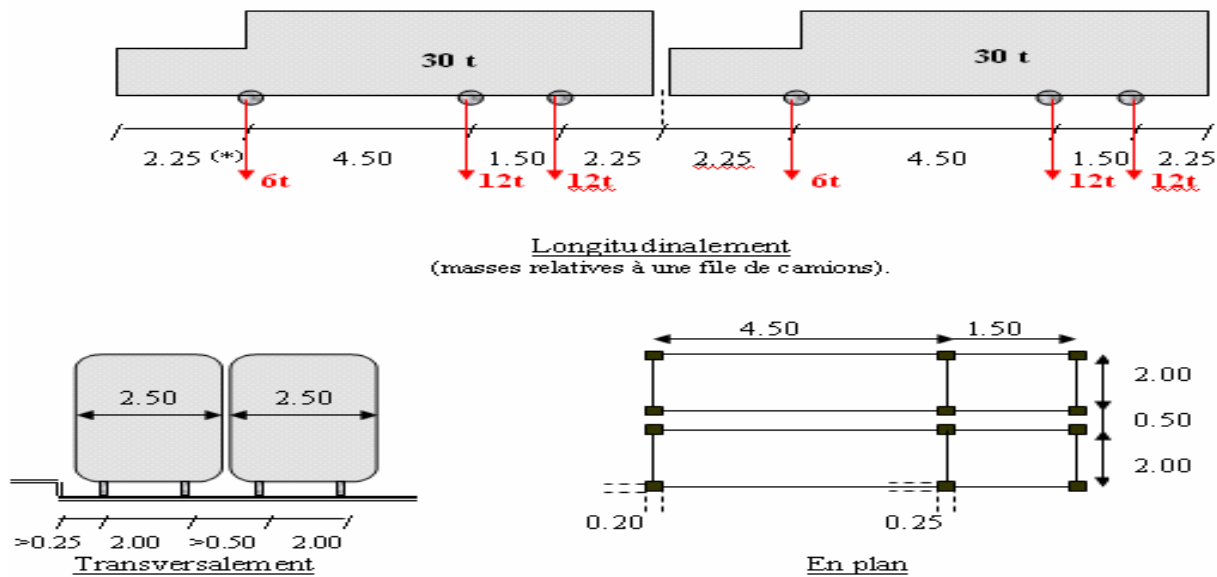
$$A(l) = [230 + 36000] / (L + 12) \text{ en Kg/m}^2$$

Avec **L** = longueur surchargée de l'ouvrage : **21,5m**

$$A = a_1 \times a_2 \times A(l)$$

Pour deux voix chargées $a_1 = a_2 = 1$, d'où $A = 1,304 \text{ t/m}^2$. Soit $q_A = 1,304 \text{ t/ml}$

2.2.3 Système Bc



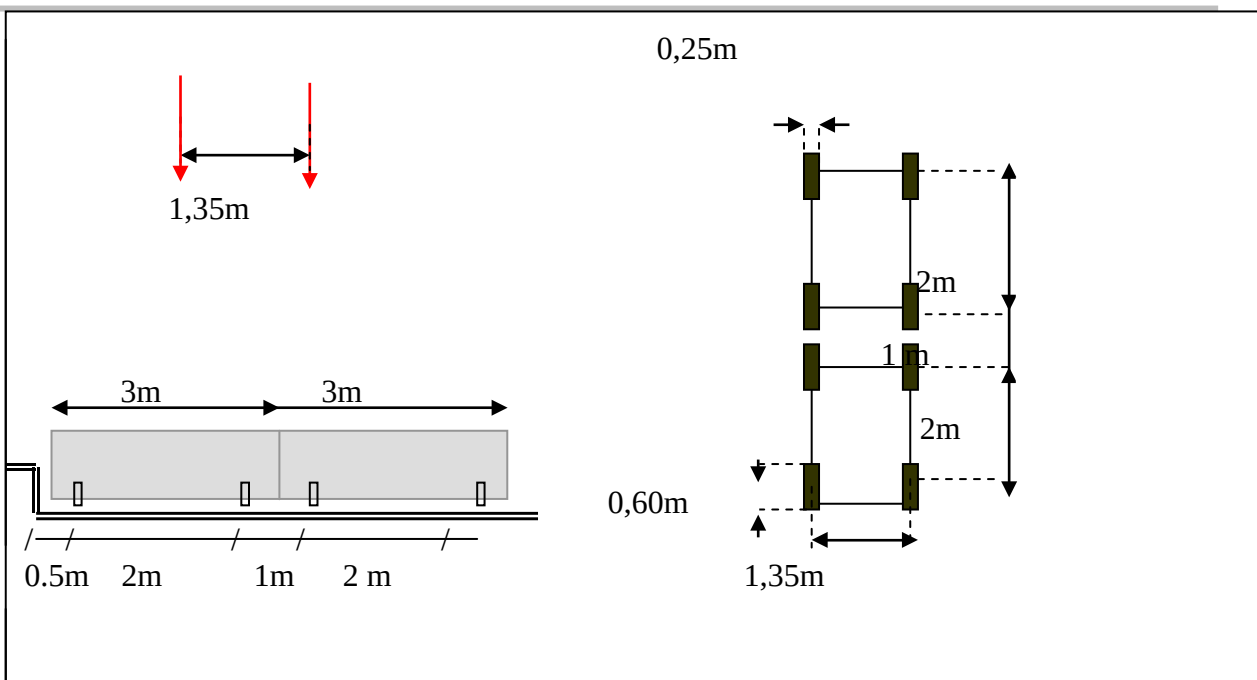
Encombrement total: $21 \times 5 = 105 \text{ m}^2$

– Total impact : 4 essieux de 6 tonnes + 8 essieux de 12 tonnes = **120 tonnes**

Soit une charge surfacique $q_{Bc} = 1,14 \text{ t/m}^2$

Après application des coefficients $bc = 1,1$ et $\delta = 1,18$ on a : $q_{Bc} = 1,484 \text{ t/m}^2$

2.2.4 Système Bt



Selon le principe précédant on a $q_{Bt}=5,766\text{t/m}^2$

Après application des coefficients $bc= 1,0$ et $\delta=1,42$ on a : $q_{Bt}= 6,516 \text{ t/m}^2$.

2.2.5 Système Br

Le rectangle de la roue peut être placé n'importe où sur la largeur roulable de manière à produire l'effet le plus défavorable.

Selon le principe précédant on a $q_{Br}= 5,556\text{t/m}^2$.

Après application des coefficients $bc= 1,0$ et $\delta= 1,09$ on a : $q_{Bt}= 6,056 \text{ t/m}^2$.

Après application des coefficients $bc= 1,0$ et $\delta= 1,17$ on a : $q_{Bt}= 4,899 \text{ t/m}^2$.

2.2.6 Les charges sur les trottoirs

Ces charges sont à considérer au cas où un véhicule pourrait emprunter le trottoir pendant que la chaussée est en réparation ou en réfection.

a. Les charges locales

Le système local comprend une charge uniformément répartie d'intensité q_{tr} de valeur:

$$q_{tr}= 450 \text{ kg/m}^2$$

b. Les charges générales

$$q_{tr}= 150 \text{ kg/m}^2$$

3 Sollicitations et choix d'armatures

3.2 Schéma statique

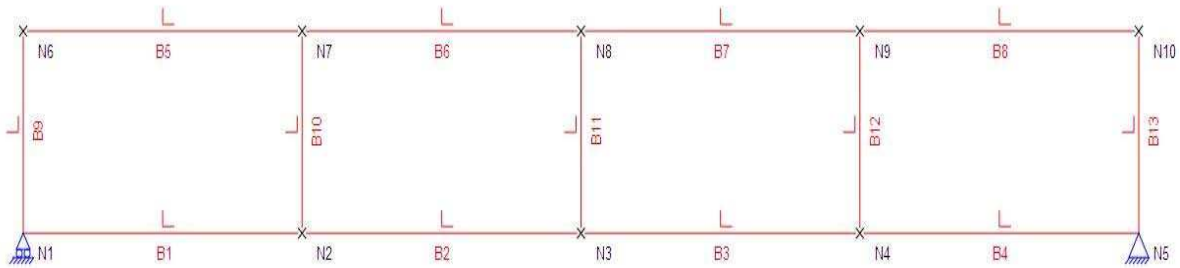


Figure 1: Schéma statique de calcul

3.3 Détermination des actions

Les combinaisons de charges adoptées pour le calcul des sollicitations à l'ELS sont les suivantes :

$$M_{ser} = G_{max} + 1,60 Q_{max}$$

Les valeurs d'entrée de calcul sont:

G_{max} (tablier+ revêtement)= 1,00 t/ml

G_{max} (poussée des terres) = 1,73 t/ml

Q_{max} (roulante) = 6,516 t/ml (la plus défavorable étant celle du système Bt)

Q_{max} (remblais) = 0,33 t/ml

Les différents chargements et sollicitations qui en découlent sont représentées comme suit pour :

3.3.2 Actions permanentes

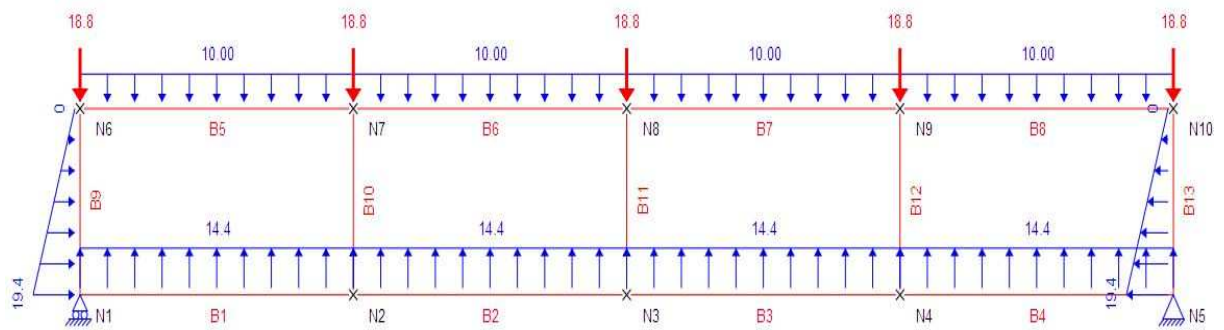


Figure 2 : Chargement due aux actions permanentes

3.3.3 Actions variables

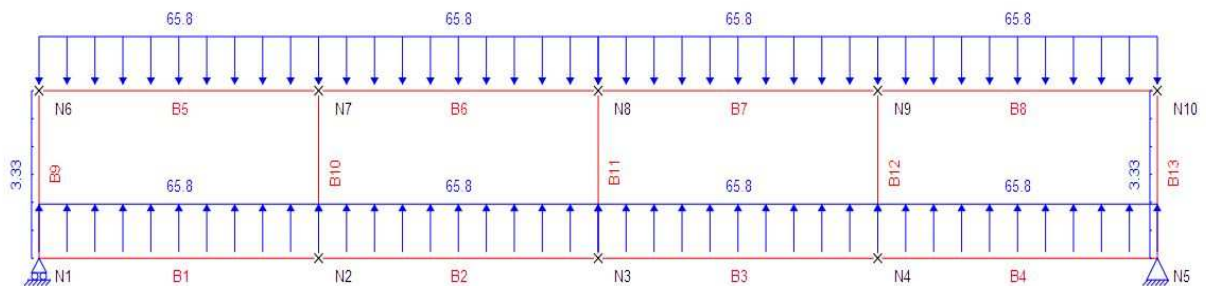


Figure 3 : Chargement due aux actions variables

3.4 Détermination des sollicitations

3.4.2 Sollicitations permanentes

Les valeurs de calcul sont récapitulées dans le tableau ci-dessous

Tableau 1 : Sollicitations dues aux actions permanentes

Désignation	Moment maximal (m.kN/ml)		Effort normal (kN/ml)
	Appui	Travée	
Tablier	-36,80	17,00	-36,50
Piédroit	-31,90		-39,00
Radier	37,50	20,60	-36,50

IV.3.2. Sollicitations variables

Tableau 2 : Sollicitations dues aux actions variables

Désignation	Moment maximal (m.kN/ml)		Effort normal (kN/ml)
	Appui	Travée	
Tablier	-180,60	103,60	-4,66
Piédroit	-79,60		-155,20
Radier	180,60	103,60	-4,66

Enfin de compte, les valeurs de sollicitations qui seront prises en compte pour le calcul des sections d'armatures sont les suivantes :

Tableau 3 : Sollicitations pour le calcul des aciers

Désignation	Moment maximum		Effort normal
	Appui	Travée	
Tablier	-253,52	141,32	-42,09
Piédroit	-127,42		-225,24
Radier	254,22	144,92	-42,09

3.5 Détermination des armatures des différents éléments

3.5.2 Tablier

Tableau 4 : Sollicitations pour le choix des aciers du tablier

Désignation		Appui	Travée
Sollicitations			
A l'ELU	Mu en MN.m	-0,34045	0,18975
	Nu en MN	0,05678	0,05678
A l'ELS	Mser(G) en MN.m	-0,25352	0,14132
	Nser(G) en MN	0,04209	0,04209
l'excentricité (e)	Mser(G)/Nser(G)	6,02300	3,35741
Conclusion		Flexion simple	Flexion simple
As (cm ² /ml)		42,4	24,2

Condition de non fragilité: $A_{smin} = 0,23 \times b \times d \times f_{t28}/f_e = 2,98 \text{ cm}^2/\text{ml}$

3.5.3 Radier

Tableau 5 : Sollicitations pour le choix des aciers du radier

Désignation		Appui	Travée
Sollicitations			
A l'ELU	M_u en MN.m	-0,341	0,195
	N_u en MN	0,041	-0,056
A l'ELS	$M_{ser(G)}$ en MN.m	-0,254	0,145
	$N_{ser(G)}$ en MN	0,030	-0,042
l'excentricité e	$M_{ser(G)}/N_{ser(G)}$	8,36	-3,48
Conclusion		flexion simple	flexion composée
As (cm ² /ml)		42,4	30,2

Condition de non fragilité: $A_{smin} = 0,23 \times b \times d \times f_{t28}/f_e = 2,98 \text{ cm}^2/\text{ml}$

3.5.4 Piédroit

Tableau 6 : Sollicitations pour le choix des aciers des piédroits

Désignation		Travée
Sollicitations		
A l'ELU	M_u (MN.m)	0,085
	N_u (MN)	0,240
A l'ELS	$M_{ser(G)}$ (MN.m)	0,063
	$N_{ser(G)}$ (MN)	0,24
l'excentricité e	$M_{ser(G)}/N_{ser(G)}$	0,265
Conclusion		flexion composée
As (cm ² /ml)		15,1

Condition de non fragilité: $A_{smin} = 0,23 \times b \times d \times f_{t28}/f_e = 2,98 \text{ cm}^2/\text{ml}$

En récapitulatif à tous les calculs ci-dessus effectués, nous avons :

Tableau 7 : Choix d'armatures pour le ferrailage du dalot

Désignation		As calculé (cm ² /ml)	Choix	As retenu (cm ² /ml)	Disposition
Tablier	Appuis	42,4	27 HA14	46,18	3 lits esp = 12 cm
	Travée	24,2	18 HA14	30,78	2 lits esp = 12 cm
Radier	Appuis	42,4	27 HA14	46,18	3 lits esp = 12 cm
	Travée	30,2	18 HA14	30,78	2 lits esp = 12 cm
Piédroit	Appuis	15,1	10 HA14	15,39	esp = 12cm

Les plans de ferrailage sont présentés en annexe dans l'ordre suivant :

Annexe1 : ferrailage tablier

Annexe2 : ferrailage module

Annexe3 : ferrailage radier

Annexe4 : ferrailage mur en aile

Annexe5 : ferrailage dalle de transition

4 Le dimensionnement avec le logiciel PICF-CYPE

4.2 Le pré-dimensionnement

Nous considérerons les même pré-dimensionnements que celui utilisé pour le dimensionnement par le calcul manuel.

Nous obtenons donc les valeurs suivantes déjà calculées :

Epaisseur piédroit, tablier et radier= 0,30m

Après dimensionnement, nous obtenons la note de calcul suivante :

Batterie de quatre (04) ouvertures

LE TERRAIN

Module de réaction: **100000.0 kN/m³**

Contrainte admissible sol d'assise: **200.00 kN/m²**

Poids volumique: **20.0 kN/m³**

Angle de frottement interne: **38 degrés**

Cohésion: **0.00 kN/m²**

Pourcentage de frottement terrain-mur: **0 %**

Angle de transmission des charges: **45 degrés**

Le tableau suivant récapitule les efforts, les moments et les aciers

4.3 Les charges appliquées sur le tablier

Nous avons utilisé différents types de convoi, à savoir les convois de type Bc, Br, Bt. On obtient les résultats suivants par élément :

Panneau	Position	Direction	Armature de base	Renfort		
Tablier	Supérieur	Longitudinal	Ø16c/25, Patte d'ancrage=56cm			
		Transversal Perpendiculaire Au piedroit droit	Ø12c/20, Patte d'ancrage=21cm	Piedroitgauche:Ø10 -Longueur=1.19m, Patte=14cm	Piedroitdroit:Ø12 -Longueur=1.27m, Patte=21cm	Renforts1:Ø20 -Murs1à1 -Longueur ini.=1.88m -Longueur fin.=1.64m Renforts2:Ø16 -Murs2à2 -Longueur ini.=1.74m -Longueur fin.=1.77m Renforts3:Ø16 -Murs3à3 -Longueur ini.=1.62m -Longueur fin.=1.87m
	Inférieur	Longitudinal	Ø12c/20, Patte d'ancrage=42cm			
		Transversal Perpendiculaire au piedroit droit	Ø16c/15, Patte d'ancrage=18cm			
Radier	Inférieur	Longitudinal	Ø12c/20, Patte d'ancrage=42cm			
		Transversal Perpendiculaire au piedroit droit	Ø12c/20, Patte d'ancrage=21cm	Renforts1:Ø12 -Murs1à1 -Longueur ini.=1.36m -Longueur fin.=1.36m Renforts2:Ø12 -Murs2à2 -Longueur ini.=1.36m -Longueur fin.=1.12m Renforts3:Ø12		
	Supérieur	Longitudinal	Ø12c/25, Patte d'ancrage=42cm			
		Transversal Perpendiculaire au piedroit droit	Ø12c/15, Patte d'ancrage=13cm			
Piedroit gauche	Arrière	Vertical	Ø12c/25, Patte d'ancrage=21cm -Attente=0.25m -Longueur patte d'ancrage en pied=21cm	Renfortsupérieur:Ø10 -Longueur=1.41m, Patte=14cm Renfortinférieur:Ø10 -Attente=0.21m -Longueur patte d'ancrage En pied=14cm		
		Horizontal	Ø12c/25, Patte d'ancrage=42cm			
	Avant	Vertical	Ø10c/20, Patte d'ancrage=11cm -Attente=0.21m -Longueur patte d'ancrage En pied=11cm			
		Horizontal	Ø12c/25, Patte d'ancrage=42cm			

4.4 Murs en aile :

Armature horizontale: Ø10c/20 Armature longitudinale inférieure: Ø12c/25, patte d'ancrage=13cm Armature longitudinale supérieure: Ø12c/25, patte d'ancrage=13cm		
Tronçon	Armature verticale	Armature semelle
1	Armature verticale arrière: Ø10c/15 - Recouvrement =0.40m - Patte d'ancrage =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant: Ø12c/25 - Recouvrement =0.30m - Patte d'ancrage =20cm - Ancrage face supérieure =0.13m	Transversal inférieur: Ø12c/25 Transversal supérieur: Ø12c/25
2	Armature verticale arrière: Ø10c/20 - Recouvrement =0.40m - Patte d'ancrage =20cm - Ancrage face supérieure =0.14m Armature verticale avant: Ø12c/25 - Recouvrement =0.30m - Patte d'ancrage =20cm - Ancrage face supérieure =0.13m	Transversal inférieur: Ø12c/25 -Longueur patte d'ancrage arrière=13cm -Longueur coude avant=13cm Transversal supérieur: Ø12c/25 -Longueur patte d'ancrage arrière=13cm -Longueur coude avant=13cm

NB : les détails de la note de calcul seront présentés en annexe6 et le ferrailage en annexe7.

Après les différent calculs, deux types de résultats se présentent à savoir : le résultat obtenu par le calcul manuel et celui obtenu par le calcul avec le logiciel. Ayant ces deux résultats, nous pouvons à travers une analyse technico économique faire une comparaison des deux méthodes de dimensionnement.

Chapitre 5 : ETUDE COMPARATIVE : ANALYSE TECHNICO-ECONOMIQUE DES DEUX METHODES

Le principe de cette étude tel que nous l'avons énoncé précédemment, relatif à la présentation de la méthodologie de travail est de comparer deux méthodes tant du point de vue de la fiabilité du logiciel, que son adaptation dans nos conditions au Burkina Faso et surtout son utilité pour un bureau d'étude burkinabé tel FASO KANU DEVELOPPEMENT. Les résultats de ferraillage, le coût de réalisation Les résultats de dimensionnement par les deux méthodes ont été présentés de manière succincte précédemment. Le ferraillage, les paramètres pris en compte seront quelques éléments qui seront utilisés dans cette partie comme barème, en vue de faire une analyse des éléments qui font la différence entre ces deux méthodes, et de proposer à l'entreprise, la décision la mieux à adopter concernant la problématique de l'utilité du dit logiciel.

Pour que cette comparaison soit la plus efficace possible, quelques critères de comparaison ont été définis qui sont entre autre :

- Le principe de calcul du logiciel ;
- Le ferraillage proposé par le logiciel ;
- La fiabilité des résultats ;
- L'adaptabilité du logiciel dans les conditions du Burkina Faso.

Tout au long de cette partie, nous développerons ces éléments.

1. Les principes de calcul du logiciel

Le logiciel utilise la méthode de calcul par les éléments finis triangulaires de type lamelle épaisse tridimensionnelle qui prend en compte la résistance à l'effort tranchant. Les éléments comportent 6 nœuds situés sur chaque sommet et au centre de chaque côté et ayant chacun 6 degrés de liberté.

Il est possible d'introduire des convois de charge en différentes positions en indiquant graphiquement le parcours de l'axe et le nombre de positions du convoi, des charges en bande, des charges sur les dalles, etc.

Réglementation appliquée :

Comme il avait déjà été précisé dans les chapitres précédents, Les normes pouvant être prises en

compte pour la justification et le dimensionnement des armatures des sections sont les suivantes:

- BAEL (France)
- EHE (Espagne)
- REBAP (Portugal)

Les matériaux sélectionnables répondront aux exigences de ces différentes normes.

Afin de compléter la conception, des dispositions de la norme EC-2 (Eurocode), des critères de CYPE Ingenieros et de divers auteurs ont aussi été pris en compte.

Le programme permet de définir comme charges additionnelles appliquées au plan de roulement les charges suivantes : surcharge supérieure, charges réparties ou en bande, convois de charge

Nota :

Les effets sur le pont-cadre des charges thermiques, des charges de freinage et de l'action des séismes ne sont pas pris en compte.

5 Méthode de calcul

Les principes de la Mécanique Rationnelle et les théories classiques de la Résistance des Matériaux et de l'Elasticité ont été considérés pour l'obtention des sollicitations.

6 Le ferrailage proposé par le logiciel

Le logiciel propose un plan de ferrailage en fonction des résultats du dimensionnement. Mais il est possible de modifier ce ferrailage ; c'est-à-dire modifier les diamètres proposés en baisse ou en hausse. Il faut savoir qu'il est impossible de modifier la disposition des aciers. Pour pouvoir le faire, la seule alternative est celle de la version exportée.

Il faut noter que CYPE propose un ferrailage optimal après calcul des différentes sollicitations auxquelles le dalot est soumis.

Comparativement, le calcul manuel donne un ferrailage qui nous reviendra beaucoup plus cher. En ce sens que le prix de l'acier varie en fonction du diamètre, donc plus on a un nombre important de gros diamètres, plus on dépensera plus pour les aciers. En témoigne le tableau comparatif des piédroits montrant les prix des deux méthodes.

7 La fiabilité des résultats

Après comparaison avec les résultats provenant des calculs manuels, constat a été fait que le dimensionnement fait avec le logiciel CYPE donne des résultats proches de ceux de dimensionnement fait par le calcul manuel. Ceci laisse affirmer la crédibilité voir la fiabilité des résultats du logiciel.

Par contre, le risque que présente le calcul manuel est l'erreur. En ce sens que par inadvertance une erreur de signe peu survenir. Cette erreur va engendrer des résultats qui sont faux avec toutes les conséquences possibles.

8 L'adaptabilité du logiciel dans les conditions du Burkina Faso

Vue les différents paramètres que le logiciel prend en compte, et vue les conditions du Burkina Faso ; aussi bien géotechnique que climatique, on peut confirmer sans crainte aucune l'adaptabilité du logiciel PICF-CYPE dans le contexte du Burkina Faso.

De cette analyse et des ces différentes remarques, nous pouvons dégager les avantages et les inconvénients du logiciel en étude.

9 Les avantages du logiciel PICF-CYPE

Au vue des résultats obtenus par le dimensionnement avec le logiciel, nous pouvons dégager comme avantages les éléments suivants :

- ✓ Point de vue économie : en ce qui concerne ce point, nous avons constaté qu'avec le logiciel on économise en temps et en coût. En ce sens que nous avons besoin de moins d'une dizaine de minute pour établir une note de calcul d'un dalot donné, et le ferrailage proposé est moins coûteux par rapport à celui proposé par le calcul manuel.

- ✓ Point de vue fiabilité : les résultats obtenus par le dimensionnement avec le calcul manuel sont à quelques valeurs près, similaires. Cette similarité nous laisse dire que le logiciel donne des résultats fiables. Car avec le calcul manuel nous avons tendance à sur dimensionner pour se mettre à l'abri ou du moins pour aller dans le sens de la sécurité. De plus avec la méthode de calcul utilisé, le logiciel donne des résultats à partir des calculs minutieux donc fiables.

- ✓ Du point de vue adaptabilité, l'analyse des paramètres pris en compte par le logiciel montre que nous pouvons en toute quiétude l'utiliser au Burkina Faso

Il faut noter que le logiciel n'a pas que des avantages, il présente quelque insuffisance qui pourrait

s'ériger en inconvénient pour son utilisation.

Pour mieux élucider ces avantages, le tableau comparatif suivant a été proposé pour un élément du dalot qu'est le piédroit.

diamètre	Quantité (en kg)		prix (en Fcfa)	
	calcul manuel	calcul avec CYPE	calcul manuel	calcul avec CYPE
6				
8				
10	22,34	332,43	15250	305000
12	964,14	873,84	610000	610000
14	790,02		1290000	
16				
20				
total	1181,49	1206,27	1270250	915000

De ce tableau comparatif, il est clair que le calcul manuel a tendance à sur dimensionner pour se mettre du côté sécuritaire. Une différence de trois cent cinquante-cinq mille deux cent cinquante se présente, ce qui n'est pas du tout négligeable.

10 Les inconvénients du logiciel

Il a été constaté que le logiciel ne prends pas en compte certains paramètres comme les charges thermiques, les charges de freinage et l'action des séismes. Il est vrai que le Burkina Faso ne se situe pas dans une zone sismique ni glaciale mais il ne faut pas négliger l'effort de freinage dans un dimensionnement d'ouvrage d'art.

Certes, les principes de calcul et de fonctionnement du logiciel ont été donnés mais cela ne suffit pas à l'utiliser. C'est dans le but de connaître d'avantage le logiciel et dans le souci de mieux l'utiliser afin de donner des résultats fiables, un cheminement pour dimensionner un ouvrage quelconque avec PICF-CYPE a été proposé.

Chapitre 6 : GUIDE D'UTILISATION : DIMENSIONNER AVEC CYPE

Comme pour tout logiciel, afin de pouvoir l'utiliser à des fins auxquelles il a été conçu, nous nous proposons de un cheminement pour dimensionner avec CYPE.

1. La configuration première:

Elle concerne les premières manipulations à faire dès l'ouverture du programme.

D'abord on met la langue qui nous est favorable car PICF-CYPE comprend trois (03) langues. Ensuite on définit le système d'unité qui convient. Une fois tout ça fait, nous pouvons donc commencer à introduire les données concernant le dalot.

11 L'introduction des données

L'introduction des données est une étape très simplifiée. En effet le programme dispose de plusieurs assistants qui aideront pour l'introduction des données pour les cas courants de ponts-cadres droits, biais et généraux CYPE nous propose un guide pour chaque type d'ouvrage choisit. il nous suffira de mettre les dimensions des différents éléments que le logiciel lui-même cite avec dessin à l'appui.

12 La dernière configuration

Elle est considérée comme on l'appelle dans le jargon « les dernières retouche » avant de lancer le dimensionnement. Ces dernières retouches sont entre autre : le pourcentage d'armatures à utiliser pour chaque type.

Elle concerne aussi les matériaux tels que le béton (B25, 30,...), l'acier (Fe E400, 500,...)

A côté de ces deux on ajoute les données générales. Ces données concernent le terrain, les données géotechniques, la géométrie, les charges et des paramètres béton armé présentés en annexe n°6.

Il faut noter que lorsqu'on a un dalot multicellulaire, il va falloir générer ces ouvertures car à l'introduction des données on introduit la longueur et la largeur totale en considérant le dalot comme étant à une seule ouverture. C'est après avoir généré le modèle qu'on passe à la subdivision des cellules.

En plus de ces différentes configurations, il ya l'introduction des surcharges routières. Pour se faire, il

suffit d'éditer un convoi de charge dans la barre d'outils ; le programme présente une charge par défaut et il est possible d'importer d'autres types de charges à partir de la bibliothèque.

Les détails pour y parvenir sont en annexe n°7: les fonctions de CYPE

13 Le dimensionnement

C'est à ce niveau que tous les calculs seront effectués. C'est la partie où la note de calcul sera établit. En un clic, on calcul notre ouvrage, on établit la note de calcul et on génère le plan de ferrailage ainsi que la quantité nécessaire.

14 Les modifications

Une fois le dalot calculé, il est toujours possible de modifier certaines dimensions qu'on pourrait trouver un peu trop exagérées.

15 L'exportation

L'exportation consiste à enregistrer les plans de l'ouvrage proposé par le logiciel vers d'autres types de formats. Ainsi donc, avec PICF-CYPE, nous avons l'opportunité d'exporter les différents plans en DXF, DWG et PDF. De plus, la note de calcul quant à elle, on peut l'exporter aussi en différentes extensions comme : PDF, Txt, et bien d'autres.

Afin de permettre une meilleure compréhension des explications ci-dessus, et de permettre sa mise en pratique, nous avons proposé en annexe une application de ces étape. Cette application est tout simplement la manipulation à faire pour y parvenir.

Il faut noter que ceci n'est pas un guide proprement dit, mais nous avons proposé un document en guise de guide d'utilisation au bureau d'étude **FASO KANU DEVELOPPEMENT**. Ce document servira de manuel pour les techniciens et verra son importance réelle après la formation prévue au sein du bureau d'étude.

CONCLUSION

L'élaboration d'une note de calcul d'un pont cadre nécessite une connaissance approfondie d'une méthode de calcul, une grande concentration et un temps de travail beaucoup plus important. L'ingénieur chargé de l'étude doit tenir compte de toutes les données, naturelles et fonctionnelles liées au site et à la destination de l'ouvrage.

Dans le cadre de notre étude, il a été question d'évaluer un outil de dimensionnement en l'utilisant pour dimensionner un dalot situé à l'intersection de la RN 3 et la RN 4; ce dalot se situe à l'entrée d'une zone industrielle. Pour mener à bien cette étude, il a fallu trouver un barème afin de pouvoir noter le logiciel. Et c'est dans cette optique qu'il a été décidé de faire une comparaison avec la méthode la plus ancienne, à savoir le calcul manuel. La première étape aura été de situer le problème dans son contexte général.

Cette approche a été effectuée en se mettant dans le contexte actuel de la concurrence existant entre les bureaux d'études d'une part et les résultats attendus par les maîtres d'ouvrage d'autre part. Ensuite, il a fallu définir les attentes de l'Entreprise tout en présentant les avantages et les limites du logiciel objet de cette étude.

L'étape suivante était de définir une approche méthodologique pour l'étude, afin de pouvoir présenter le logiciel, de collecter les données et définir un critère de d'évaluation. Cette étape nous a permis d'en ressortir un ensemble de contraintes liées à l'étude et de dégager certains handicaps que présentent une méthode donnée par rapport à une autre.

Le dimensionnement avec le logiciel et par le calcul manuel a été fait et les différents ferraillements ont été proposés pour chaque méthode. Les plans de ferraillement, les diamètres et les quantités utilisés ont été comparés. Ceci dans le but de repérer la méthode la plus avantageuse.

Une analyse comparative d'un élément du dalot a permis de constater une différence de prix non négligeable de trois cent cinquante-cinq mille deux cent cinquante (355250) FCFA, ce qui permet d'affirmer que le logiciel CYPE permet d'économiser plus.

La réponse à la question de l'entreprise se dégagerait donc plus clairement après une telle analyse qui se veut comparative. Elle sera donc positive, c'est-à-dire que FASO KANU DEVELOPPEMENT peut lever le doute sur la nécessité et l'importance du logiciel CYPE pour le bureau au vu de tous les avantages que présente cet outil de dimensionnement.

Le présent rapport, à travers l'étude comparative, prouve bien l'avantage de l'utiliser dans les conditions locales du Burkina Faso.

RECOMMANDATIONS

Les différentes étapes d'étude de dimensionnement d'un pont cadre sont connues. Ces étapes passent par différentes études préliminaires avant d'atteindre le calcul BA en question. Elles sont entre autre les études géotechniques, les études hydraulique et hydrologique.

Un logiciel de dimensionnement permet de gagner en temps et d'éviter les surdimensionnements. Il est donc important pour un bureau d'étude d'avoir un outil de ce genre. Il faut dire qu'une chose est de l'avoir et une autre est de savoir l'utiliser. C'est dans cette optique qu'au terme du présent mémoire, des souhaits ont été exprimés à l'endroit de FKD allant dans le sens de la formation des techniciens. Sans aucune formation sur le logiciel, il ne sera d'aucune utilité pour le bureau. Mais cela passe par l'acquisition de la licence car la version limitée ne donne pas accès à toutes les fonctionnalités du logiciel.

Il faut rappeler également que certains calculs sont à faire manuellement car ils représentent des études à part entière. Donc une connaissance dans ces domaines s'impose.

Enfin, le logiciel a été utilisé dans le cas défavorable dans cette étude. Il faut noter que pour un dalot ayant un nombre d'ouvertures moins que le cas présent, le résultat est toujours valable. Et comme il a été : « dit qui peut le plus peut le moins », on adoptera désormais les résultats de CYPE.

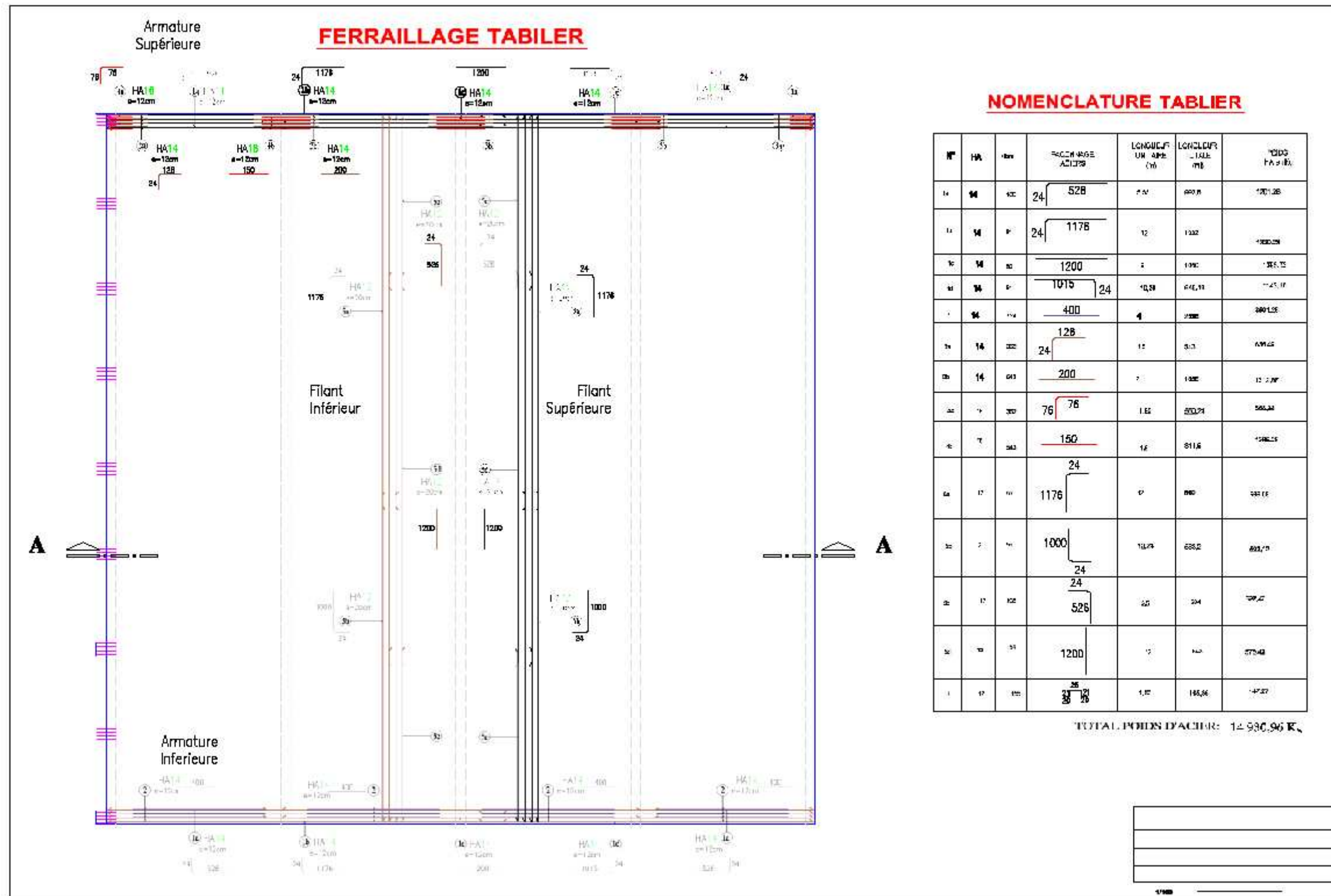
BIBLIOGRAPHIE

1. **BERNARD-GELY Anne et CALGARO Jean-Armand** Conception des ponts [Livre]. - Paris : Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, 1994. - 360 p..
2. **GUEYE Ismïala** Cours de Géotechnique : Reconnaissance des sols, Fondations superficielles. - Ouagadougou : 2iE, 2006. - Vol. 2.
3. **SETRA** Ouvrages de soutènement, mur [Revue]. - [s.l.] : Ministère de l'Equipeement du Transport et du Tourisme : Direction des Routes et de la Circulation Routière. - 83.
4. **BIAOU Angelbert** Cours d'hydraulique Routière : dimensionnement hydraulique des ouvrages, Ouagadougou : 2iE, 2010
5. **HEMA Bakary**Cours de pont Ouagadougou : 2iE 2010/2011
6. CYPE manuel d'utilisation
7. **Jean-Armand CALGARO** projet et construction des ponts [Livre]; Généralité, Fodation, Appuis, Ouvrages Courants, Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées
8. **Harounada A. DICKO** le béton armé [Livre]; cours élémentaire Bamako :ENI-2001
9. **Michel FAURE** Routes ; tome1[Livre];les cours de l'ENTPE ; ALEAS Editeur,Octobre 1997

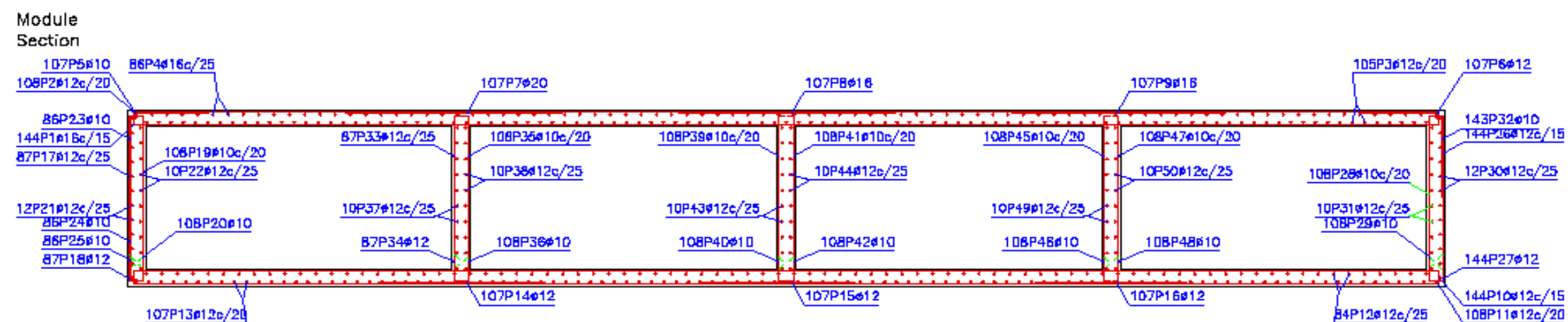
ANNEXES

ANNEXE 1 : Ferrailage Tablier.....	36
ANNEXE 2 : Ferrailage Module.....	37
ANNEXE 3 : Ferrailage Radier	39
ANNEXE 4 : Ferrailage Mur en Aile.....	40
ANNEXE 5 : Ferrailage Dalle de Transition	41
ANNEXE 6: Note de calcul par le logiciel CYPE	42
ANNEXE 7: Note de calcul par le logiciel CYPE.....	50

ANNEXE 1 : Ferrailage Tablier

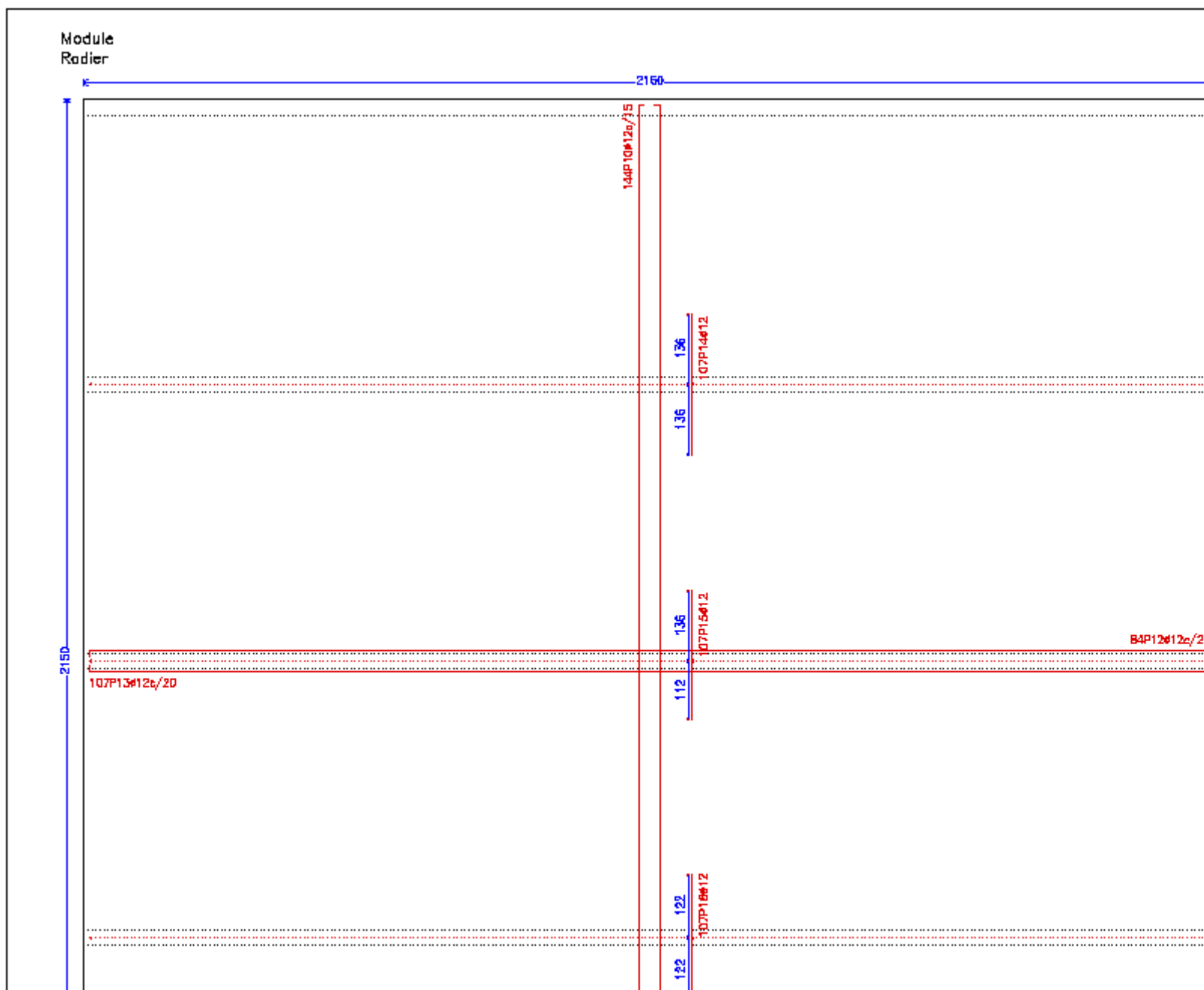


ANNEXE 2 : Ferrailage Module



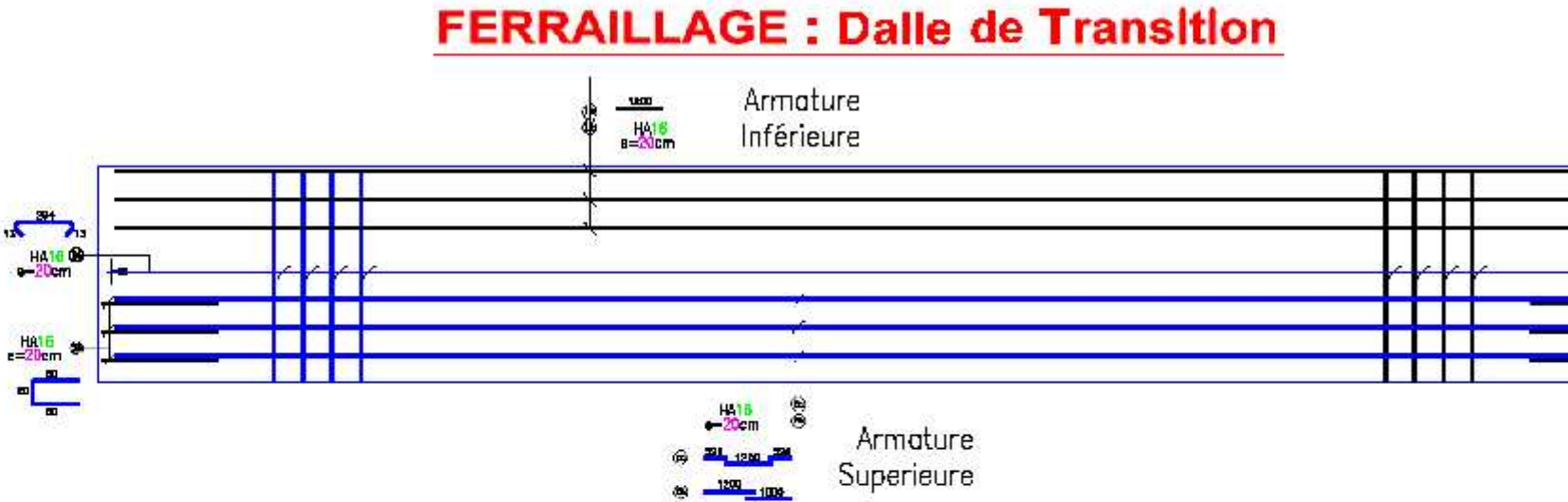
16	12	107	2.45		245	282.08	0.88	232.88		
17	12	87	2.84	21	273	255.98	0.88	227.27		
18	12	87	0.70	21	49	81.11	0.88	54.25		
19	10	108	2.84	11	273	307.15	0.82	189.37		
20	10	108	0.58	11	49	80.77	0.82	37.46		
21	12	12	22.37	19 23	2153	288.49	0.89	238.37		
22	12	10	22.37	18 25	2153	223.75	0.88	198.84		
23	10	88	1.55	14	141	133.11	0.82	82.07		
24	10	88	1.41		141	121.69	0.82	79.03		
25	10	88	0.59	14	49	59.78	0.82	31.31		
26	12	144	2.94	21 21	273	423.70	0.89	378.17		
27	12	144	0.70	21 21	49	101.14	0.89	89.79		
28	10	108	2.84	11	273	307.15	0.82	189.37		
29	10	108	0.58	11	49	80.77	0.82	37.46		
30	12	12	22.37	19 23	2153	288.49	0.88	238.37		
31	12	10	22.37	18 25	2153	223.75	0.89	198.84		
32	10	143	1.55	14	141	281.34	0.82	138.48		
33	12	87	2.87	13	273	248.34	0.89	221.37		
34	12	87	0.83	13	49	54.46	0.89	48.35		
35	10	108	2.84	11	273	307.15	0.82	189.37		
36	10	108	0.58	11	49	80.77	0.82	37.46		
37	12	10	22.37	19 23	2153	223.75	0.89	198.84		
38	12	10	22.37	19 23	2153	223.75	0.89	198.84		
39	10	108	2.84	11	273	307.15	0.82	189.37		
40	10	108	0.58	11	49	80.77	0.82	37.46		
41	10	108	2.84	11	273	307.15	0.82	189.37		
42	10	108	0.58	11	49	80.77	0.82	37.46		
43	12	10	22.37	20 23	2153	223.75	0.89	198.84		
44	12	10	22.37	20 23	2153	223.75	0.89	198.84		
45	10	108	2.84	11	273	307.15	0.82	189.37		
46	10	108		11	49	80.77	0.82	37.46		
47	10	108		11	273	307.15	0.82	189.37		
48	10	108		11	49	80.77	0.82	37.46		
49	12	10		20 23	2153	223.75	0.89	198.84		
50	12	10		20 23	2153	223.75	0.89	198.84		
						ø10	3244.81	0.82	2800.51	
						ø12	18897.21	0.88	18777.14	
						ø16	5826.75	1.58	9194.99	
						ø20	377.23	2.47	930.30	
Fe E400						Poids total		28902.84		
						Poids total avec chute (10.00%)				31793.83

ANNEXE 3 : Ferrailage Radier



ANNEXE 4 : Ferrailage Mur en Aile

ANNEXE 5 : Ferrailage Dalle de Transition



NOMENCLATURE DALLE DE TRANSITION

N°	HA	Nbr	LONGUEUR UNITAIRE ACIER	LONGUEUR UNITAIRE m	LONGUEUR TOTAL m	Poids HA en Kg
12a	11	12	528 1200 528	29.57	290.62	520.51
12b	12	12	1200 1200	22	262	485.14
14			284	11	312.5	587.5

