



**Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la ville de Niamey (Niger).**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE MASTER  
**SPECIALITE : GENIE DE L'EAU DE L'ASSAINISSEMENT ET DES AMENAGEMENTS  
HYDRO-AGRICOLS**

Présenté et soutenu publiquement le 23/07/2021 par  
Abdourahamane MOUSTAPHA MAMAN N° : 20150153

**Directeur de mémoire**

Pr. Adamah MESSAN

**Maître de stage**

M. Jamilou ALMOU LABO, conducteur des travaux du Réservoir R17  
à DENYS

**Jury d'évaluation:**

Président: **Pr Amadou Keïta**

Membres: **M. Célestin OVONO** (Examineur)

**Pr Adamah MESSAN** (Encadreur)

**Promotion [2020-2021]**

## DEDICACES

Je dédie ce travail à :

- Mes deux chers parents, pour tout leur sacrifice, leur amour, leur soutien et leur prière tout au long de mes études ;
- Mon oncle Liman Ali Hamissou et ma Tante Mme Aissa Diallo pour leurs soutiens financiers et leurs encouragements ;
- Monsieur Ousmane Elhadj Oumara qui m'a toujours soutenu à travers ses conseils et encouragements ;
- Monsieur Abdourahamane Mamadou Doussou qui m'orientait dans mes différents choix lors de mon parcours académique ;
- Mes frères et sœurs qui ont toujours été à mes côtés ;
- A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours académique, que ce travail soit le fruit de votre soutien infaillible.

## REMERCIEMENTS

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

Je voudrais dans un premier temps adresser toute ma reconnaissance et mes remerciements à mon directeur de mémoire, Pr. Adamah MESSAN, Professeur à 2iE, pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à :

- **M. DIDI Kadey**, Chef du département Hydraulique, Assainissement et Environnement du bureau d'études LAMCO INGENIERIE SARL, pour m'avoir donné l'occasion d'effectuer mon stage au sein de leur structure ;
- **M. Jamilou ALMOU LABO**, conducteur des travaux du Réservoir R17 à DENYS pour m'avoir encadré tout au long de mon stage sur le terrain malgré ses occupations ;
- **M. ALHAMED Wafazou Moussa**, chef de mission contrôle des travaux à LAMCO INGENIERIE SARL, qui a partagé ses connaissances et expériences dans ce milieu, tout en m'accordant sa confiance et une large indépendance dans l'exécution de missions valorisantes ;
- L'ensemble du corps professoral du 2iE pour leurs encadrements pédagogiques et de qualités reçus tout au long de ma formation ;
- Tout le personnel du bureau d'études LAMCO Ingénierie pour l'accueil qui m'a été réservé durant toute la période de mon stage ;
- Tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réussite de ce noble travail, que ce mémoire soit pour eux l'expression de ma profonde gratitude.

## RESUME

Le travail élaboré dans ce présent projet intitulé « Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la ville de Niamey (Niger)» a pour objectif principal de proposer un dimensionnement d'un château d'eau de 2500 m<sup>3</sup> afin d'assurer de façon durable l'approvisionnement en eau potable en quantité suffisante aux populations du Sud-Est de la ville de Niamey. L'étude technique a été menée en deux parties : la première partie qui nous a permis d'estimer le besoin en eau à l'horizon du projet et la détermination de la capacité utile du réservoir, et la deuxième partie a été dédiée au dimensionnement structural de l'ouvrage. Ce château d'eau a une cuve de forme cylindro-tronconique reposant sur une tour de 33.6 m de hauteur. Pour mener à bien le dimensionnement du château d'eau, nous sommes amenés à le décomposer en plusieurs éléments de structure que sont : le lanterneau, la coupole supérieure, la ceinture supérieure, la cuve tronconique, la ceinture inférieure, la cuve cylindrique, la coupole inférieure, la ceinture d'appui, la tour, la fondation et la cheminée d'accès. Le plan de coffrage du château comportant les différentes caractéristiques géométriques a été remis par le bureau d'études. L'étude des différents éléments de la structure a été menée conformément aux règlements définis par le BAEL 91 modifié 99, le DTU 13.12, le Fascicule 74 et les règles de NV65. La nature des aciers utilisés dans le ferrailage du château sont des aciers à Hautes Adhérences HA Fe500 et vont de diamètre HA8 à HA32. Le béton utilisé est dosé 350 Kg/m<sup>3</sup> afin d'assurer une bonne étanchéité de l'ouvrage (Ouvrage de Classe A). L'aspect environnemental est traité en identifiant les impacts négatifs et en proposant des mesures d'atténuation.

Le coût global de réalisation de l'ouvrage est évalué à un milliard huit millions huit cent quatre-vingt-quatorze mille six cent quarante-six CFA (1 008 894 646 F CFA TTC) mobilisant ainsi 760 m<sup>3</sup> de béton et 84 tonnes d'aciers.

Mots Clés :

---

- 1 – Besoin en eau
- 2 – Structure
- 3 – Château d'eau
- 4 – Aspect environnemental
- 5 – Niamey

## ABSTRACT

The work developed in this project entitled "Technical study of a reinforced concrete water tower of 2500 m<sup>3</sup> (R17) in the framework of the project of reinforcement and extension of the drinking water supply system of the city of Niamey (Niger)" has for main objective to propose a dimensioning of a water tower of 2500 m<sup>3</sup> in order to ensure in a sustainable way the supply of drinking water in sufficient quantity to the populations of the South-East of the city of Niamey. The technical study was carried out in two parts: the first part allowed to estimate the water needs on the project horizon and to determine the useful capacity of the reservoir, and the second part was dedicated to the structural dimensioning of the work. This water tower has a cylindrical-truncated tank resting on a 33.6 m high tower. To carry out the dimensioning of the water tower, we are led to break it down into several structural elements that are: the skylight, the upper dome, the upper belt, the truncated cone tank, the lower belt, the cylindrical tank, the lower dome, the support belt, the tower, the foundation and the access chimney. The formwork plan of the castle including the different geometric characteristics was given by the design office. The study of the various elements of the structure was conducted in accordance with the regulations defined by the BAEL 91 modified 99, the DTU 13.12, the Fascicule 74 and the rules of NV65. The nature of the steels used in the reinforcement of the castle are High Adhesion steels HA Fe500 and range from diameter HA8 to HA32. The concrete used is 350 Kg/m<sup>3</sup> to ensure a good watertightness of the structure (Class A structure). The environmental aspect is addressed by identifying the negative impacts and proposing mitigation measures.

The overall cost of the project is estimated at one billion eight million eight hundred and ninety-four thousand six hundred and forty-six CFA francs (1,008,894,646 CFA francs all tax included), involving 760 m<sup>3</sup> of concrete and 84 tons of steel.

Keywords

---

1 – Water requirement

2 - Structure

3 – Water tower

4 – Environmental aspect

5 – Niamey

## Sommaire

DEDICACES .....	ii
REMERCIEMENTS .....	ii
RESUME.....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTE DES ABREVIATIONS .....	vii
LISTE DES TABLEAUX .....	viii
LISTE DES FIGURES .....	ix
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE.....	2
1.1 Présentation de la structure d'accueil .....	2
1.2 Présentation de la zone d'étude .....	3
1.2.1 Situation géographique.....	3
1.2.2 Climat .....	3
1.2.3 Démographie .....	4
CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET .....	5
2.1 Contexte et problématique .....	5
2.2 Objectif de l'étude .....	6
2.3 Présentation du système d'AEP actuel de la ville de Niamey.....	6
2.4 Généralités sur les réservoirs.....	7
CHAPITRE III : METHODOLOGIE DU TRAVAIL .....	10
3.1 Matériels.....	10
3.2 Description de la méthodologie du travail .....	11
CHAPITRE IV : ETUDE TECHNIQUE .....	12
4.1 Première partie : Etude des besoins en eau et l'évaluation de la capacité du réservoir .	12
4.1.1 Etude des besoins en eau .....	12
4.1.2 Calcul des débits de dimensionnement .....	14
4.2 Deuxième partie :Dimensionnement de la structure du château d'eau .....	18
4.2.1 Conception géométrique du château d'eau .....	18
4.2.2 Présentation des éléments constitutifs du château d'eau.....	20
4.2.3 Hypothèse de l'étude .....	21
4.2.4 Dimensionnement des éléments structurels du château d'eau .....	22

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

4.3 Etude de la stabilité du château d'eau .....	58
4.3.1 Stabilité au poinçonnement .....	58
4.3.2 Stabilité au Renversement .....	58
4.4 Analyse Comparative des résultats .....	62
<b>CHAPITRE V : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIALE ET ETUDE FINANCIERE .....</b>	<b>65</b>
5.1 Etude d'impact environnemental et sociale.....	65
5.1.1 Cadre politique .....	65
5.1.2 Cadre juridique .....	66
5.1.3 Cadre institutionnel .....	67
5.1.4 Identification des impacts du projet .....	67
5.1.5 Evaluation et mesures d'atténuation et/ou de bonification des impacts.....	68
5.1.6 Plan de gestion environnementale et sociale .....	69
5.2 Etude financière.....	70
<b>CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS .....</b>	<b>71</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>72</b>
<b>ANNEXES .....</b>	<b>73</b>

## LISTE DES ABBREVIATIONS

- AEP** : Alimentation en Eau Portable
- AFD** : Agence Française de Développement
- BAEL** : Béton Armé aux Etats Limites
- BEI** : Banque Européenne d'Investissement
- BF** : Borne-Fontaine
- BP** : Branchement Privé
- ELS** : Etat Limite de Service
- ELU** : Etat Limite Ultime
- Ha** : Hectare
- Hab.** : Habitant
- HT** : Hors Taxe
- HA** : Haute Adhérence
- PGES** : Plan de Gestion Environnemental et Social
- PME** : Petite et Moyenne Entreprise
- INS** : Institut Nationale de la Statistique
- SEEN** : Société d'Exploitation des Eaux du Niger
- SPEN** : Société de Patrimoine des Eaux du Niger ;
- TTC** : Tout Taxe Comprise

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Répartition des travaux par lot	5
Tableau 2: Présentation de la capacité des unités de traitement	6
Tableau 3: Répartition des réservoirs par unité de traitement	7
Tableau 4: Organigramme de la Méthodologie du travail	11
Tableau 5: Estimation des Besoins en eau	14
Tableau 6: Résultat de calcul des débits	15
Tableau 7: Coefficient de consommation horaire	15
Tableau 8: Calcul de la capacité du réservoir	16
Tableau 9: Vérification du volume utile du réservoir	18
Tableau 10: Contrainte de calcul des aciers selon Fascicule 74	22
Tableau 11: Descente des charges et calcul des sollicitations de la dalle	23
Tableau 12: Résultat de dimensionnement de la dalle du lanterneau	25
Tableau 13: Résultat de dimensionnement de la coupole supérieure	31
Tableau 14: Résultat de dimensionnement de la ceinture supérieure	34
Tableau 15: Résultat de dimensionnement de la cuve cylindrique	35
Tableau 16: Résultat de dimensionnement de la ceinture inférieure	38
Tableau 17: Résultat de dimensionnement de la cuve tronconique	42
Tableau 18: Résultat de dimensionnement de la coupole inférieure	45
Tableau 19: Résultat de dimensionnement de la cheminée	49
Tableau 20: Résultat de dimensionnement de la tour	54
Tableau 21: Récapitulatif de dimensionnement de la semelle de fondation	57
Tableau 22: Résultat de vérification de la stabilité au poinçonnement	58
Tableau 23 : Comparaison des résultats	63
Tableau 24: Estimation du cout du PGES	69

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 :Zone d'impact du projet.....	3
Figure 3:Réservoir enterré.....	8
Figure 4: Réservoir surélevé .....	9
Figure 5 : Le plan côté du château .....	19
Figure 6: Présentation des éléments constitutifs du château d'eau .....	20
Figure 7:Schéma de lanterneau .....	22
Figure 8 : Representation des charges sur la couople superieure.....	29
Figure 9:Représentation des efforts sur la Ceinture supérieure .....	31
Figure 10: Représentation des efforts sur la ceinture inferieure .....	36
Figure 11:Représentation des efforts sur la cuve tronconique .....	39
Figure 12: Représentation des efforts sur la ceinture d'appui .....	45
Figure 13: Représentation de la semelle de la fondation .....	54
Figure 14: Diagramme de dimensionnement de la semelle .....	55
Figure 15:Sections de la structure exposées aux effets du vent .....	60

## INTRODUCTION

L'accès à l'eau potable, un des principaux objectifs du millénaire pour le développement (OMD) reste encore un luxe pour des millions de ménages dans le monde. En Afrique, la situation est encore plus préoccupante en raison du manque d'investissement dans le secteur de l'eau potable pour faciliter l'accès à toute la population. La ville de Niamey, capitale du Niger, comme toutes les grandes villes africaines enregistre une croissance soutenue de sa population créant ainsi des nouveaux besoins en eau portables notamment dans les quartiers périphériques alors que les ouvrages existants arrivent à peine à satisfaire les besoins actuels. Afin de développer les infrastructures de production, de stockage, d'adduction et de distribution d'eau potable dans la ville de Niamey, le projet « Goudel IV » a été initié par l'Etat nigérien à travers les services techniques de la Société des Patrimoines des Eaux du Niger (SPEN) et financé par des bailleurs de fonds. Le projet prévoit la réalisation d'une station de traitement, des ouvrages de stockages, d'adduction et de distribution. Il est donc bien évident que l'ensemble du problème ne peut pas être traité dans le cadre d'un seul mémoire de fin d'étude compte tenu de son immensité et aussi de sa complexité, c'est pourquoi nous allons nous intéresser dans le cadre de notre mémoire, au dimensionnement de l'un des deux châteaux d'eau qui a une capacité de stockage de 2500 m<sup>3</sup>. Dans le cadre de notre travail les points suivants seront traités:

- ✓ Etudes des besoins en eau et évaluation de la capacité du réservoir ;
- ✓ Dimensionnement du château d'eau ;
- ✓ Etude d'impact environnementale et sociale du projet ;
- ✓ Etude financière des travaux .

## **CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE**

### **1.1 Présentation de la structure d'accueil**

#### **1.1.1 Historique**

LAMCO Ingénierie est un bureau d'étude créé en mars 1991, conformément au droit nigérien en matière de Génie Civil. Il jouit de l'autorisation administrative N°112 du Ministère en charge de l'Équipement et des Infrastructures ; du Ministère de l'Eau, de l'Environnement et de la lutte contre la désertification.

#### **1.1.2 Domaines d'intervention et réalisations**

Le bureau d'étude intervient dans plusieurs domaines notamment celui du Génie Civil, du Bâtiment, de l'Hydraulique, et de l'Assainissement. Il a acquis une grande expérience dans le domaine des travaux routiers urbains et interurbains avec la réalisation de plusieurs études techniques, socio-économiques et environnementales. Il a effectué la surveillance et le contrôle de plus de 2000 km de routes au Niger et dans la sous-région. Dans le domaine de l'assainissement urbain il a eu à réaliser plusieurs projets dans plusieurs villes, villages, hameaux et campements du Niger, seul ou en collaboration avec d'autres bureaux d'études partenaires.

#### **1.1.3 vision et objectifs**

L'un des objectifs majeurs de ce bureau d'études est de mettre son expertise, son savoir-faire à la disposition de la communauté qu'elle soit nationale ou internationale, pour soutenir le développement et le progrès social.

En effet, depuis le lancement officiel de ses activités, LAMCO Ingénierie s'est résolument engagé aux côtés de l'Etat et de ses partenaires au développement, pour apporter sa contribution à l'effort de développement du Niger et de la sous-région. Cette option qui singularise ce bureau d'études, tire sa substance de la passion qui anime ses initiateurs, pour le développement et le bien-être de la population.

## 1.2 Présentation de la zone d'étude

### 1.2.1 Situation géographique

La ville de Niamey est située au bord du fleuve Niger dans la partie Sud-Ouest du Niger entre les parallèles 13°33' Nord et 13°24' Sud et les méridiens 2° et 29°15' Est. Elle est construite sur un plateau surplombant la rive gauche du fleuve Niger et sur une plaine alluviale de sa rive droite, entre 180 et 240 m d'altitude et couvre une superficie de 297,46 km<sup>2</sup>. La ville de Niamey, qui est la capitale politique du Niger, forme une enclave dans le département de Kollo. Elle est limitée au Nord – Est par la commune rurale de Hamdallaye, à l'Est par la commune rurale de Liboré, au Sud par la commune rurale de Bitinkodji et à l'Ouest par la commune rurale de Karma.

La zone d'implantation du château d'eau se situe dans la commune I de la ville de Niamey au quartier Diaspora. La carte de la localisation ville de Niamey est à l'annexel.

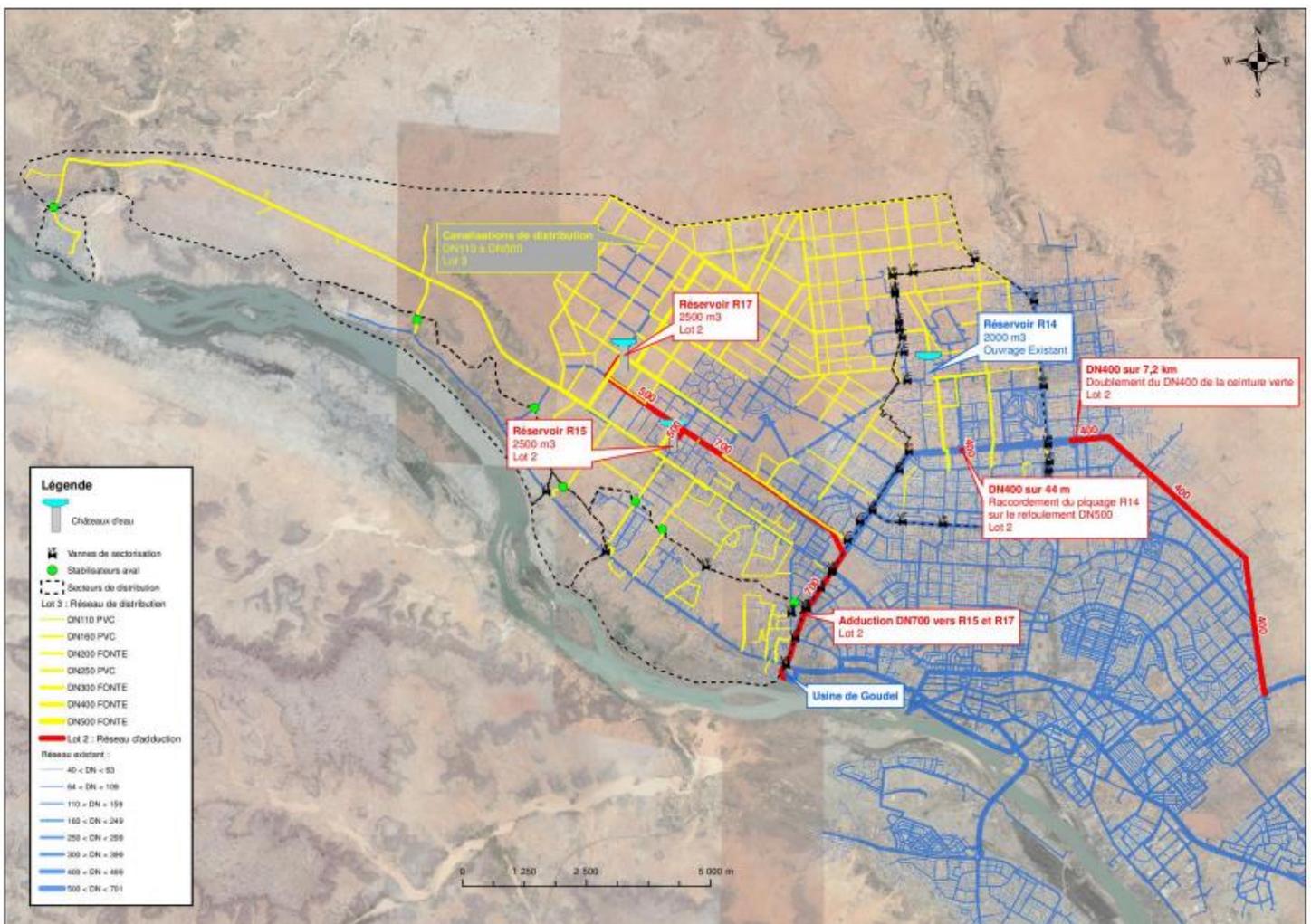


Figure 1 : Zone d'impact du projet

### 1.2.2 Climat

Le climat de la ville de Niamey est de type sahélien (semi-aride) avec une pluviométrie variant de 500 à 750 mm par an. D'octobre à fin novembre, le temps est souvent très chaud, avec des températures minimales voisines de 23 / 24 °C et des maximales comprises entre 35 et 38 °C. De fin novembre à fin février, les températures sont nettement moins élevées en cette période : les minimales peuvent s'abaisser jusqu'à 14 - 15 °C, voire 12 °C, tandis que, les maximales atteignent entre 28 et 33 °C. De mars à mai, la ville subit alors un temps caniculaire, avec des journées brûlantes (de 38 °C fin février jusqu'à 42 - 45 °C et même 43 °C en avril) et des nuits chaudes (en moyenne 30 à 32 °C). La saison des pluies, qui s'étend de la fin mai à la fin septembre, est marquée par un flux de sud-ouest :

### 1.2.3 Démographie

Durant ces dernières décennies, la ville de Niamey a connu une forte croissance démographique alimentée par le flux de l'exode rurale. Sa population est estimée 242 973 habitants selon le recensement générale de la population de 1977 période durant laquelle la ville couvrait une superficie de 44 km<sup>2</sup>. Au recensement général de la population de 2001, on dénombrait cette population à 707 951 habitants et 1 026 848 en 2012. La ville de Niamey comptait 1 802 910 habitants en 2018 sur une superficie de 255 Km<sup>2</sup>, soit la ville la plus peuplée du Niger. la ville de Niamey connaît un taux d'accroissement démographique annuel de l'ordre de 4,1 alors que celui du pays est de 3,83.

## CHAPITRE II : PRESENTATION DU PROJET

### 2.1 Contexte et problématique

Niamey, capitale du Niger, est une ville ayant une plus forte croissance de sa population. L'accroissement de la population et les politiques de lotissement ont entraîné une extension de la superficie de la ville, suscitant des besoins croissants d'amélioration et d'extension des infrastructures d'alimentation en eau potable. En 2013 le nombre de clients s'est accru de 21 %, du fait du succès de programmes de 81000 branchements particuliers et 882 bornes fontaines financés par l'Agence française de développement, la Banque mondiale et la SEEN.

L'extension de la desserte en eau (en volume et vers les quartiers périphériques de la ville) se trouve aujourd'hui limitée par la capacité maximale de production (115 000 m<sup>3</sup>/j) des infrastructures hydrauliques existantes, réparties entre l'usine de Yantala (30 000 m<sup>3</sup>/j) et l'usine de Goudel (85000 m<sup>3</sup>/j). Dans le but de contribuer à l'amélioration durable des conditions d'alimentation en eau potable, le Gouvernement de la République du Niger a sollicité et a obtenu des financements auprès de l'Agence Française de Développement (AFD) et de la Banque Européenne d'Investissement (BEI) pour la réalisation du projet dénommé Goudel IV. L'objectif principal de ce projet est le renforcement et l'extension de l'actuel système d'alimentation en eau potable, avec la construction d'une nouvelle filière de production d'eau potable au sein de l'usine de traitement d'eau potable de Goudel et le renforcement du réseau d'adduction et de distribution, afin de produire, transporter et distribuer 40 000 m<sup>3</sup> de volume d'eau supplémentaire par jour. Ce projet est reparti sur trois lots, et notre étude porte sur les travaux prévus dans le lot 2.

bleau 1: Répartition des travaux par lot

Lot	Descriptif
Lot 1	<ul style="list-style-type: none"><li>• Construction d'une station de traitement de 40 000 m<sup>3</sup></li></ul>
Lot 2	<ul style="list-style-type: none"><li>• Construction de deux Châteaux d'eau de 2500 m<sup>3</sup> chacun</li><li>• Réseau d'adduction</li></ul>
Lot 3	<ul style="list-style-type: none"><li>• Réseau de distribution</li></ul>

## 2.2 Objectif de l'étude

### 2.2.1 Objectif principal

L'objectif principal de cette étude est de dimensionner les principaux éléments constitutifs de la structure du château d'eau en vue d'assurer sa stabilité.

### 2.2.2 Objectifs spécifiques

Les objectifs spécifiques de cette étude sont :

- Evaluer les besoins en eau de la population et la capacité utile du réservoir ;
- Elaborer les plans d'exécution des éléments constitutifs de l'ouvrage ;
- Estimer le coût global des travaux de réalisation du réservoir ;
- Faire l'étude d'impact environnemental et social.

## 2.3 Présentation du système d'AEP actuel de la ville de Niamey

### Unités de traitements

L'alimentation en eau potable de la ville de Niamey est assurée par deux usines de traitement des eaux du fleuve Niger (Yantala et Goudel) totalisant une capacité nominale de production de 115000 m<sup>3</sup>/jour. L'usine de traitement d'eau de Yantala, construite dans les années 1950 comprend actuellement trois (3) filières avec une capacité de production de 30 000 m<sup>3</sup>/jour. L'usine de Goudel construite en 1978, a une capacité de production de 85 000 m<sup>3</sup>/jour et comporte aussi trois (3) filières indépendantes. Le tableau ci-dessous donne la capacité de production des filières pour chaque unité de traitement.

Tableau 2: Présentation de la capacité des unités de traitement

Unité	Filière	Année de construction	Capacité (m <sup>3</sup> /j)	Capacité totale (m <sup>3</sup> /j)
Yantala	Yantala 1	1952	5 000	30 000
	Yantala 2	1963	15 000	
	Yantala 3	1994	10 000	
Goudel	Goudel 1	1978	25 000	85 000
	Goudel 2	1994	30 000	
	Goudel 3	2007	30 000	

## Ouvrages de stockage

Après le traitement, l'eau traitée est directement refoulée vers les quinze (15) réservoirs que compte la ville dont un situé à 30 km de la ville et alimente le village de Kollo. La capacité totale de stockage de ces quinze réservoirs est de 25 800 m<sup>3</sup>. Les volumes de ces différents réservoirs et leur unité d'alimentation sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 3: Répartition des réservoirs par unité de traitement

Réservoir	Capacité (m <sup>3</sup> )	Alimentation	
		YANTALA	GOUDEL
R1	300		×
R2	1000		×
R3	1000		×
R5	2000		×
R6	600		×
R7	1000		×
R8	1000	×	
R9	3000	×	
R10	2×2100	×	
R11	2×2100		×
R12	2000	×	
R13	1000		×
R14	2000	×	
R Kollo	500		×
R16	2000		×

## Réseau d'adduction et de distribution

Le réseau de refoulement de l'alimentation en eau potable de la ville de Niamey est long de 75,22 kilomètres linéaires (Km) en fonte ductile de diamètre compris entre 150 mm et 700 mm. Le réseau de distribution est composé de conduites de diverses natures avec une longueur totale d'environ 1 053 kilomètres.

## 2.4 Généralités sur les réservoirs

### 2.4.1 Fonction d'un réservoir

Les réservoirs servent à stocker temporairement l'eau potable en attendant sa distribution. Ils permettent essentiellement de réguler la pression et le débit entre la phase de production (de la source vers le stockage) et la phase de consommation (du stockage à la consommation). Leur rôle est d'emmagasiner l'eau lorsque la consommation est inférieure à la production et de la restituer lorsqu'elle en devient supérieure.

## 2.4.2 Classification des différents types de réservoir

On peut classer les réservoirs en deux catégories par rapport à leurs positions au sol :

### ➤ Le réservoir au sol

Ces sont des réservoirs enterrés, semi-enterrés ou posés au sol. Ce type de réservoir grâce à la topographie permet de disposer d'un point haut pour garantir la charge requise, c'est cette solution qui est en général retenue car elle est la plus économique.



Figure 2: Réservoir enterré (Source : Cours Pr. Adamah MESSAN)

### ➤ Le réservoir surélevé

Communément appelé château d'eau, dans ce type de réservoir la différence de hauteur nécessaire entre l'eau stockée et les postes de distribution est obtenue par élévation de la cuve (sur une tour, des piliers, un mur ou tout autre ouvrage pouvant supporter la cuve), lorsque la topographie du terrain ne présente pas de point assez haut.



Figure 3: Réservoir surélevé (Source : NetAfrique.net)

Dans la mesure du possible, ces réservoirs sont placés en hauteur pour fournir passivement de la pression à l'utilisateur final. Le remplissage du réservoir se fait par une pompe d'alimentation de façon automatique afin de maintenir un niveau constant à l'intérieur de celui-ci. De plus, une grande hauteur de réservoir pénalise la phase de production mais favorise la phase de distribution de l'eau.

### 2.4.3 Les avantages d'un château d'eau

#### ⇒ **Sur le plan énergétique**

**En Adduction :** Les pompes d'alimentation fonctionnent à pression et à débit constants, donc avec un bon rendement. La consommation en énergie est faible lorsque les pompes fonctionnent aux heures de faible consommation "heures creuses".

**En distribution :** la distribution se fait de façon gravitaire avec un bon débit pour le consommateur tout en assurant une pression de service minimale. Il n'est donc pas nécessaire de disposer de pompe de surpression pour la distribution.

#### ⇒ **Sur le plan fiabilité**

Il permet de maintenir le service sur le réseau de distribution, tout en autorisant les interventions techniques sur la partie amont du réservoir. En cas de panne ou d'incendie il permet de garantir une réserve minimale.

## CHAPITRE III : METHODOLOGIE DU TRAVAIL

Cette partie consiste à faire une description de la démarche adoptée et les matériels utilisés pour mener à bien ce travail ,de la collecte des données à leurs analyses et traitements, jusqu'à la rédaction du document. de ce travail.

### 3.1 Matériels

Dans le cadre de notre étude les matériels utilisés sont essentiellement des logiciels :

#### **Excel (office 2019)**

Nous avons utilisé Excel 2019 pour établir un programme de dimensionnement de tous les éléments du château d'eau et l'ensemble des opérations de calcul.

#### **Autocad (2019)**

Le dessin des différents plans de ferrailage et schémas ont été réalisés sur Autocad.

#### **Google Earth Pro**

Ce logiciel nous a permis d'avoir une vue d'ensemble sur la zone d'étude afin de connaître la superficie et les quartiers impactés par notre projet.

#### **ArcGIS**

La carte de la zone d'étude a été réalisée sur le logiciel ArcGIS en utilisant la base de données du cours de SIG 2iE.

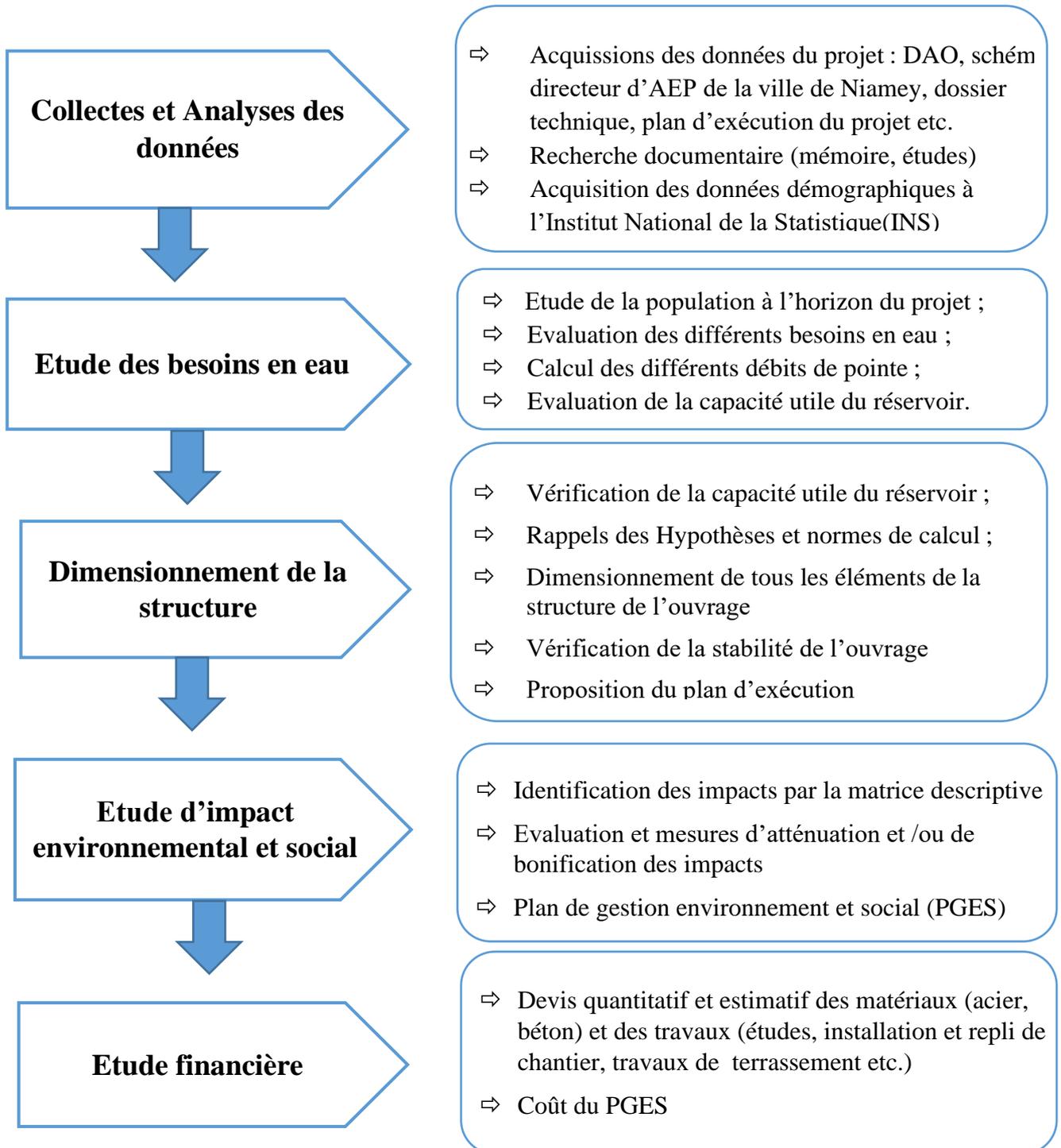
#### **Word (office 2019)**

Tout le document a été rédigé sur Word y compris les organigrammes et quelques tableaux.

### 3.2 Description de la méthodologie du travail

Les différentes étapes de la méthodologie adoptée pour mener à bien ce travail sont décrites dans l'organigramme qui suit :

Tableau 4: Organigramme de la Méthodologie du travail



## CHAPITRE IV : ETUDE TECHNIQUE

### Introduction

L'étude technique a été menée en deux parties : la première partie porte sur l'étude des besoins en eau de la population à l'horizon du projet afin d'évaluer la capacité utile du réservoir. La seconde partie est dédiée au dimensionnement structural et à la vérification de la stabilité de l'ouvrage.

### 4.1 Première partie : Etude des besoins en eau et l'évaluation de la capacité du réservoir

#### 4.1.1 Etude des besoins en eau

##### 4.1.1.1 Evaluation de la population à l'horizon du projet

Le projet couvre une superficie d'environ 72 km<sup>2</sup> dont la majeure partie n'est pas couverte par le réseau actuel. Pour garantir un bon service à la population, le réseau de distribution actuel sera raccordé au nouveau réseau qui sera alimenté par le château d'eau. Pour estimer les besoins en eau de la population nous allons partir sur l'hypothèse que toute la zone de notre étude sera alimentée par le nouveau château d'eau. L'estimation de la population se fera sur la base de la densité de la population de la ville de Niamey qui est de 50 habitants/ha en 2018 (source : INS) date d'études du projet. La projection de la population à l'horizon du projet sur ce secteur a été faite sur la base du taux d'accroissement de la population de la ville de Niamey qui est de 4,1 (source : Schéma Directeur d'AEP de la ville de Niamey). La population à l'horizon du projet (2024) a été estimée par la méthode de progression géométrique donnée par la formule suivante :

$$P_n = P_0 (1 + \alpha)^n$$

$P_n$  : Population après n années

$P_0$  : Population à l'année d'initiale

$\alpha$  : Taux d'accroissement de population

Le résultat du calcul est donné dans le tableau ci-après (Tableau 5).

#### 4.1.1.2 Estimation des besoins en eau potable

L'évaluation des besoins en eau d'une agglomération urbaine ou rurale n'est jamais faite avec certitude, car chaque catégorie de besoin en eau dépend de nombreux paramètres dont l'évolution dans le temps qui est très difficile à cerner. En général, les besoins en eau potable à satisfaire dans une ville sont de deux types : les besoins domestiques, et les besoins non domestiques.

##### ❖ Besoins domestiques

Il s'agit de la quantité d'eau utilisée pour les besoins domestiques quotidiens exprimée en m<sup>3</sup>/jour. La desserte en eau se fera par un réseau de distribution sur lequel seront raccordés des branchements privés (BP) et des bornes fontaines (BF). Le rapport du schéma directeur à l'échéance du projet évalue à 75 l/jour/hab. la consommation spécifique par BP et 32 l/jour/hab. par BF. Cette consommation est déterminée par la formule suivante :

$$B_{\text{domestique}} = P_t \times (C_{\text{BP}} \times \text{tx}_{\text{BP}} + C_{\text{BF}} \times \text{tx}_{\text{BF}})$$

$P_t$ : Population totale

$C_{\text{BP}}$ : Consommation spécifique par Bp

$C_{\text{BF}}$ : Consommation spécifique par BF

$\text{tx}_{\text{BP}}$ : Taux de raccordement par Bp

$\text{tx}_{\text{BF}}$ : Taux de raccordement par BF

##### ❖ Besoins non domestiques

Les consommations non domestiques regroupent les consommations des édifices publics (écoles, hôpitaux et dispensaires, administrations, toilettes publiques etc.) et les besoins en eau des activités économiques (industrie, artisanat, commerce etc.) et sont évaluées à 15% du besoin domestique (source : schéma directeur de l'approvisionnement en eau potable la ville de Niamey). Cette consommation est déterminée par la formule suivante :

$$B_{\text{annexe}} = 15 \times \% B_{\text{domestique}}$$

##### ❖ Besoin moyen journalier

Le besoin en eau moyen journalier  $B_{\text{mj}}$  de la zone du projet est la somme des besoins domestiques et des besoins annexes et est donné par la formule suivante :

$$B_{\text{mj}} = B_{\text{annexe}} + B_{\text{domestique}}$$

Le résultat du calcul est donné dans le tableau ci-après (Tableau 5) :

Tableau 5: Estimation des Besoins en eau

Désignation	Unité	Valeur
Densité	hab. /ha	50
Superficie	ha	7 200
Population 2018	hab.	360 000
Taux d'accroissement	%	4,1
Population à l'horizon de projet 2024	hab.	458 149
Consommation spécifique par BP	l/j/hab.	75
Consommation spécifique par BF	l/j/hab.	32
Taux de raccordement par BP	%	80
Taux de raccordement par BF	%	20
Consommation par BP	m <sup>3</sup>	27 489
Consommation par BF	m <sup>3</sup>	2932
Besoins domestique	m <sup>3</sup>	30 421
Pourcentage des Besoins non domestique	%	15
Besoin moyen journalier	m <sup>3</sup>	34 984

#### 4.1.2 Calcul des débits de dimensionnement

##### ✚ Coefficient de pointe journalier

Le coefficient de pointe journalier  $C_{pj}$  traduit une grosse et soudaine consommation d'eau au cours de la semaine. Il est pris égal à 1,15 (source : rapport technique de la SEEN ,2017)

##### ✚ Coefficient de pointe horaire

Le coefficient de pointe horaire noté  $K_{ph}$  rend compte de la pointe de la consommation au cours de la journée, il exprime donc les habitudes du consommateur au cours de la journée. Il est indépendant de la saison. Il n'a aucune influence sur les quantités d'eau à mobiliser. Il est

calculé par la formule suivante :

$$k_{ph} = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q(m^3/h)}}$$

##### ✚ Consommation de pointe journalière

Soit  $B_{pj}$ , la consommation de point journalière à prendre en compte afin de pouvoir estimer la capacité de l'ouvrage de stockage. Elle s'exprime en m<sup>3</sup>/jour et est donnée par la formule ci-après :  $B_{pj} = B_{mj} \times C_{pj}$

##### ✚ Débit de distribution

Le réseau de distribution est dimensionné sur la base du débit de pointe horaire donné par la formule suivante :

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

$$Q_{\text{dis}} = \frac{B_{\text{pj}}}{\eta_r \times 24} \times K_{\text{ph}}$$

Les pertes de distribution sont considérées dans notre cas à 10% soit un rendement  $\eta_r$  de 90%.-

#### Débit de refoulement

Le débit de refoulement d'eau traitée ne tient pas compte du rendement de la station de traitement :

$$Q_{\text{ref}} = \frac{B_{\text{pj}}}{\eta_r \times T_p}$$

$T_p$  : temps de pompage fixé à 16 h.

Tableau 6: Résultat de calcul des débits

Désignation	Unité	Valeur
Coefficient de pointe journalier $C_{\text{pj}}$	-	1,15
Consommation de pointe journalière $B_{\text{pj}}$	m <sup>3</sup>	40 232
Coefficient de point horaire $K_{\text{ph}}$	-	1,57
Rendement du réseau de distribution $\eta_r$	%	90
Débit de distribution $Q_{\text{dis}}$	m <sup>3</sup> /h	1 863
Temps de pompage $T_p$	h	16
Débit de refoulement $Q_{\text{Réf}}$	m <sup>3</sup> /h	2 514

#### 4.1.2 Détermination de la capacité du réservoir

L'estimation de la capacité utile du réservoir consiste à déterminer une capacité qui puisse permettre le stockage des excédents de pompage pendant les heures de faibles consommations et la compensation du déficit entre le pompage et la consommation pendant les heures de pointe. Il existe deux méthodes pour le calcul de volume utile du réservoir : la méthode simplifiée et la méthode de tableau. Dans notre étude, nous avons utilisé la méthode de tableau en considérant un temps de pompage de 16 h par jour. Le profil de consommation de la ville de Niamey est similaire à ceux des grandes villes africaines nous avons utilisé les coefficients de consommation horaire du cours de Béga Ouédraogo (2005), donnés dans le tableau suivant :

Tableau 7: Coefficient de consommation horaire

Période	0 - 2h	2h - 4h	4 h - 6h	6 h - 8h	8 h - 10h	10 h - 12 h	12h - 14h	14h-16h	16h-18h	18h-20h	20h-22h	22h - 00h
Coeff horaire	0,060	0,060	0,060	2,10	1,90	1,20	1,50	0,90	1,60	1,50	1,10	0,060

(OUEDRAOGO Béga, 2005)

Tableau 8: Calcul de la capacité du réservoir

Tranche Horaire(h)	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	22-24
Coef horaire	0,06	0,06	0,06	2,1	1,9	1,2	1,5	0,9	1,6	1,5	1,1	0,06
Q <sub>ref</sub> (m <sup>3</sup> /h)	0	0	2514	2514	2514	2514	2514	2514	2514	2514	2514	0
V <sub>ref</sub> Tranche (m <sup>3</sup> )	0	0	5028	5028	5028	5028	5028	5028	5028	5028	5028	0
V <sub>ref</sub> cumulé (m <sup>3</sup> )	0	0	5028	10056	15084	20112	25140	30168	35196	40224	45252	45252
Q <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> /h)	112	112	112	3911	3539	2235	2794	1676	2980	2794	2049	112
V <sub>d</sub> (m <sup>3</sup> )	224	224	224	7823	7078	4470	5588	3353	5960	5588	4098	224
V <sub>d</sub> cumulé (m <sup>3</sup> )	224	447	671	8493	15571	20041	25629	28982	34942	40530	44628	44851
Contenance du réservoir (m <sup>3</sup> )	-224	-447	4357	1563	-487	71	-489	1186	254	-306	624	401

Q<sub>ref</sub>: débit d'adduction (pompe en marche) ou un débit nul (pompe à l'arrêt)

V<sub>a</sub> tranche : Volume envoyé au réservoir par tranches horaires (Q<sub>ref</sub> × tranche horaire)

V<sub>a</sub> cumulé : volume adduction cumulé.

Q<sub>dis</sub> : Débit horaire de distribution (Q<sub>moyen</sub> × coefficient horaire)

V<sub>d</sub> tranche : Volume distribué dans le réseau par tranches horaires (Q<sub>d</sub> × tranche horaire)

V<sub>d</sub> cumulé : Volume consommé cumulé

#### ❖ Capacité utile du réservoir

La capacité utile du réservoir est donnée par la formule suivante :

$$C_u = \text{Max}(\text{Volume Excédentaire}) + \text{Max}|\text{Volume Déficitaire}|$$

$$C_u = 4357 + |-489| = 4847 \text{ m}^3$$

#### ❖ Capacité totale du réservoir

La capacité totale du réservoir devrait prendre en compte la réserve incendie RI : prélèvement d'un débit de 60 m<sup>3</sup>/h pendant deux (02) heures soit un volume de 120 m<sup>3</sup>.

$$C_t = C_u + RI \quad C_t = 4847 + 120 = 4967 \text{ m}^3, \text{ soit un volume total } C_t = 5\,000 \text{ m}^3$$

Nous avons opté pour la construction de deux réservoirs de 2500 m<sup>3</sup> chacun.

### ❖ Vérification du temps minimal de contact de chlore

Les désinfectants comme le chlore ont besoin d'un temps de contact pour que leur effet soit effectif. Aussi on est amené à s'assurer que la capacité utile retenu autorise un temps de séjour supérieur ou égal au temps de contact nécessaire du désinfectant. Dans le cas du chlore, ce temps de contact est de deux heures.

Le temps de contact est calculé par la formule suivante :  $T_c = \frac{C_u}{Q_{dist}}$

$$T_c = \frac{5000}{1863} = 2,68 \text{ h} > 2 \text{ heures, Condition vérifiée.}$$

### ❖ Vérification du temps de séjour du chlore

Il est établi qu'au bout de 48 heures le chlore résiduel dans l'eau, même s'il n'est pas sollicité, se volatilise dans l'atmosphère. Aussi on est amené à vérifier que la capacité utile n'autorise pas un temps de séjour supérieur à deux jours (48 heures). Cette vérification peut se faire soit par rapport à la consommation moyenne journalière soit par rapport à la consommation journalière de pointe.

Temps de séjour :  $T_s = \frac{C_u}{B_{mj}}$

$$T_s = \frac{5000}{34984} = 0,14 < 2 \text{ jours, Condition vérifiée.}$$

## 4.2 Deuxième partie : Dimensionnement de la structure du château d'eau

### 4.2.1 Conception géométrique du château d'eau

Cette partie vise à vérifier les dimensions géométriques du château d'eau données par le bureau études en vue d'assurer une capacité de stockage de 2500 m<sup>3</sup> (volume du projet). Nous avons utilisé notre propre méthode afin de vérifier la capacité utile du réservoir à travers les formules données dans le tableau ci-dessous :

Tableau 9: Vérification du volume utile du réservoir

	Elément	Formule	Unité	Donnée
Cuve Cylindrique	Diamètre	-	m	23
	Hauteur hydraulique	-	m	4.4
	Hauteur Total	-	m	4.7
	Revanche	hauteur hydraulique-hauteur totale	m	0.3
	Volume	$\frac{\pi D^2 H}{4}$	m <sup>3</sup>	1824
Cuve tronconique	Hauteur	-	m	3.15
	Diamètre à la base	-	m	11.8
	Alpha (α)	-	°	28.41
	Volume	$\frac{1}{3} (R_{sup}^2 + R_{inf}^2 + R_{sup} \times R_{inf}) \times h$	m <sup>3</sup>	775
	Volume du vide sous la coupole inférieure	$\frac{\pi f^2}{3} (3 \times R_{inf} - f)$	m <sup>3</sup>	36.97
cheminée	Diamètre	-	m	2.4
	Hauteur	-	m	7.96
	volume	$\frac{\pi D^2 H}{4}$	m <sup>3</sup>	36
volume Total		Vcyl + Vtronc – Vvide – Vche	m <sup>3</sup>	2512

Le plan côté du château d'eau est donné à la figure 4:

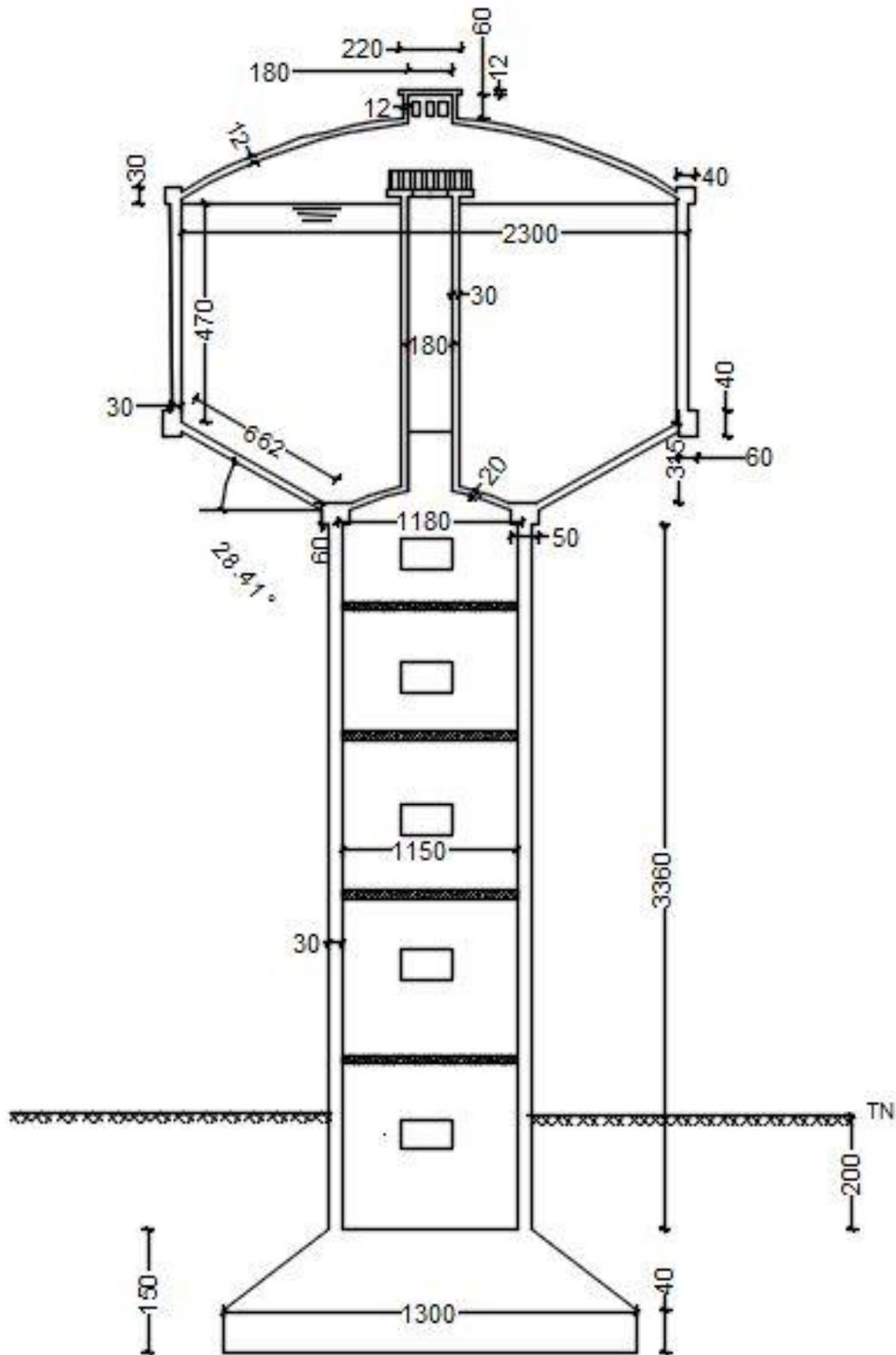


Figure 4 : Le plan côté du château

#### 4.2.2 Présentation des éléments constitutifs du château d'eau

Le château est constitué de trois parties : une cuve cylindro-tronconique ; une tour et la fondation. Il est composé des éléments représentés sur la figure suivante :

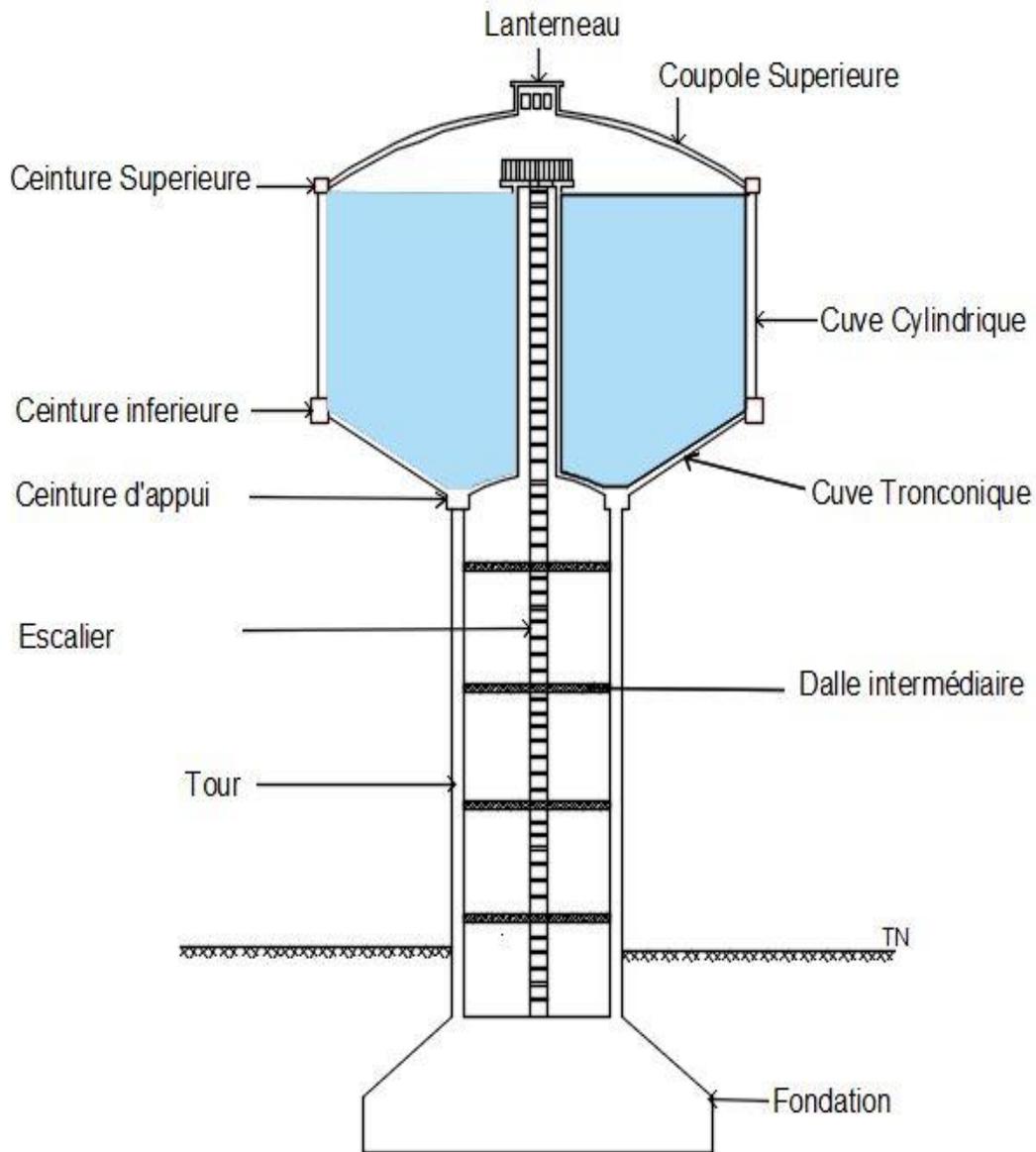


Figure 5: Présentation des éléments constitutifs du château d'eau

### 4.2.3 Hypothèse de l'étude

L'étude se fera conformément aux règles de calcul suivantes :

- Fascicule 74 relative à la construction des réservoirs ;
- BAEL 91 modifiée 99 et D.T.U associés ;
- Règles NV65 qui définit les effets de la neige (négligé dans notre cas) et du vent sur les constructions.

En plus de ces règles nous avons utilisés les documents suivants :

- HENRY THONIER ; conception et calcul des structures de bâtiment ;
- GUERRIN A, Traité de béton armé Tome 6: réservoirs château d'eau, piscine.

### Caractéristiques des matériaux

D'après les études réalisées par le laboratoire nationale des travaux publics (LNTTP), il ressort pour ces matériaux les caractéristiques suivantes :

#### 1) Béton

- La résistance caractéristique du béton à la compression à 28 jours :  $f_{c28} = 30$  MPa;
- La résistance caractéristique du béton à la traction :  $f_{tj} = 0.6 + 0.06 \times f_{c28} = 2.4$  MPa;
- Poids volumique du béton :  $25$  kN/m<sup>3</sup> ;

#### 2) Acier

Les caractéristiques des aciers utilisés sont :

- HA Fe500 avec  $F_e = 500$  MPa
- Module d'élasticité  $E_s = 200\,000$  MPa

Le dimensionnement des parties qui ne sont pas en contact avec l'eau se fera à l'aide des règles du BAEL 91 modifié 99 en fissuration très préjudiciables et ceux en contact avec l'eau se fera avec les règles du fascicule 74. Ainsi sont données les contraintes de calcul suivant le cas :

### Contrainte de calcul suivant le BAEL

Fissuration Préjudiciable :  $\sigma_{st} = \xi$

Fissuration Très Préjudiciable :  $\sigma_{st} = 0.8\xi$  avec  $\xi = \min \left[ \frac{2}{3} f_e; \text{Max}(0.5f_e; 110\sqrt{\eta f_{tj}}) \right]$

$\xi = 250$  MPa

### Contrainte de calcul suivant le Fascicule 74

$$\sigma_s \leq \text{Min} \left\{ \alpha \sqrt{\frac{\eta f_{t28}}{\phi_s}} + \beta \eta ; \frac{1}{2} f_e ; 90\sqrt{\eta f_{t28}} \right\}$$

$\alpha = 240$  dans le cas général

$\eta$  : coefficient de fissuration (1,6 pour les HA)

$\beta = 30$  pour ouvrage en contact permanent de l'eau ou en atmosphère saturée

$\Phi_s$  : diamètre de l'acier en mm

Tableau 10:Contrainte de calcul des aciers selon Fascicule 74

Barre $\Phi$ (mm)	8	10	12	14	16	20	25	32
$\sigma_s$ (MPa)	176,36	176,36	176,36	173,69	165,58	153,16	142,06	131,14

#### 4.2.4 Dimensionnement des éléments structurels du château d'eau

Le dimensionnement consiste à étudier l'ensemble des éléments de la structure en vue de proposer leurs plans d'exécution. Après avoir défini chaque élément, nous commençons par faire la descente des charges, ensuite s'en suit le prédimensionnement qui a pour but de déterminer l'ordre de grandeur de coffrage. Après le choix des dimensions nous calculons la section d'acier à mettre à travers des formules qui seront décrites et enfin proposer le plan de ferrailage tout en respectant les dispositifs constructifs. Pour le choix de section d'acier nous avons utilisé le tableau de l'annexe 3 donnant la section d'acier conformément aux prescriptions du BAEL.

##### 4.2.4.1 Lanterneau

Le lanterneau est la partie située sur la coupole supérieure, il permet l'éclairage et l'aération de la cuve. Il est composé d'une dalle supportée par un voile cylindrique. La dalle supporte son poids propre et le poids de l'étanchéité et le voile cylindrique supporte la charge transmise par la dalle et son poids propre.

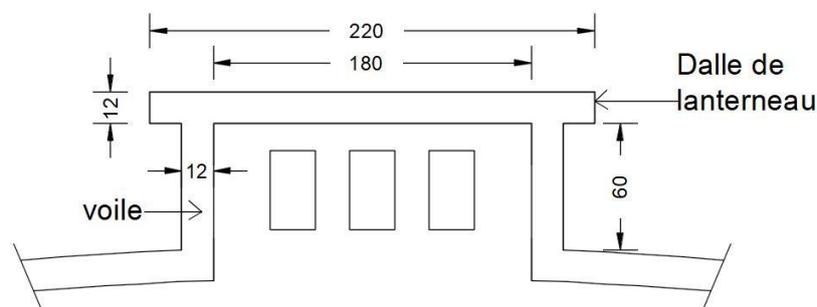


Figure 6:Schéma de lanterneau

## ✚ Dimensionnement de la dalle du Lanterneau

### Descende des charges et calcul des sollicitations

La dalle sera dimensionnée comme une dalle rectangulaire portant sur les quatre cotés (rapport de longueur  $\alpha=1 >0,4$ ). Le calcul est conduit à l'ELS, en considérant une bande de dalle de largeur 1,00 m, perpendiculaire aux lignes d'appuis.

l'épaisseur de la dalle est déterminée par la formule suivante :

$$h \geq Lx/30 \quad (\text{panneau isolé})$$

La descente des charges, le calcul des sollicitations ainsi que les formules utilisées sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 11: Descente des charges et calcul des sollicitations de la dalle

Désignation	Formule	Valeur
<b>Descente de charges</b>		
Lx=ly=D : Diamètre (m)	-	1.8
e : épaisseur(m)	$h_o \geq Lx/30$	0.12
$\gamma_b$ : poids volumique du beton(kN/m <sup>3</sup> )	-	25
Pp : poids propre de la dalle (kN/m <sup>2</sup> )	$Pp = \gamma_b \times e$	0.216
Pe : poids de l'étanchéité (kN/m <sup>2</sup> )	-	0.12
Q : charge d'entretien (kN/m <sup>2</sup> )	-	1
Pt : poids total (kN/m <sup>2</sup> )	$Pt = Pp + Pe + Q$ (ELS)	1.34
<b>Calcul des sollicitations</b>		
$\alpha$	$\alpha = Lx/ly$	1
Ux	Valeur issue des Abaques de PIGEAUD (Annexe 2)	0.037
Mox=Moy(kN.m/ml)	$Mox = Ux \times Pt \times Lx^2$	0.16
Ma (kN.m/ml)	$Ma = 0.5Mox$	0.08
Mt (kN.m/ml)	$Mt = 0.85Mox$	0.14

### Calcul des armatures

La section d'acier à mettre pour reprendre les efforts du moment fléchissant se calcul comme suit :

❖ Sur appui

$$A_{st_{appui}} = \frac{M_a}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$$

Avec  $Z_{ser}$  le bras de levier

$$Z_{ser} = d \left( 1 - \frac{1}{3} \alpha_{ser} \right)$$

$$\alpha_{ser} = \frac{n \times \overline{\sigma_{bc}}}{n \times \overline{\sigma_{bc}} + \sigma_{st}}$$

$n$  : coefficient d'équivalence pris égale à 15

$\overline{\sigma_{bc}} = 0.6 f_{c28}$  : contrainte limite de compression du béton

$\sigma_{st} = 0.8 \xi$  : contrainte limite des aciers en FPT

$$\alpha_{ser} = \frac{15 \times 0.6 \times 30}{15 \times 0.6 \times 30 + 200} = 0.574$$

$$Z_{ser} = 0.9 \times 0.12 \times \left( 1 - \frac{0.574}{3} \right) = 0.087$$

$$A_{st_{appui}} = \frac{0.08 \times 10}{0.087 \times 200} = 0.05 \text{ cm}^2$$

❖ En travée

$$A_{st_{travée}} = \frac{M_t}{Z_{ser} \times \sigma_{st}}$$

$$A_{st_{travée}} = \frac{0.14 \times 10}{0.087 \times 200} = 0.08 \text{ cm}^2$$

### Vérification de la section d'acier minimale

La condition de non-fragilité résultant de l'application de BAEL peut être énoncée comme suit

$$\rho_x = \frac{A_{st}}{b h_0}$$

$$\rho_x \geq \rho_0 \times \frac{3-\alpha}{2} \quad \text{avec } \rho_0 = 0.0006 \text{ pour HA FeE500}$$

$$A_{st_{min}} = \rho_0 \times b \times h_0$$

$$A_{st_{min}} = 0.0006 \times 12 \times 100 = 0.7 \text{ cm}^2$$

$$A_{st_{min}} = 0.7 \text{ cm}^2$$

La section d'aciers à mettre est :  $A_{st} = \max (A_{st_{min}} ; A_{st_{travée}} ; A_{st_{appui}})$  Soit  $A_{st} = 0.7 \text{ cm}^2$

### Disposition des armatures en (FTP)

➤  $\emptyset \geq 8 \text{ mm}$  sens de  $l_x$

- L'écartement des armatures d'une même nappe doit vérifier la condition suivante énoncée par le BAEL :

$$Stx = Sty \leq \min(1.5h_0 ; 20 \text{ cm})$$

$$Stx = Sty \leq \min(1.5 \times 12 ; 20 \text{ cm})$$

$$Stx = Sty \leq \min(18 \text{ cm} ; 20 \text{ cm})$$

$$\text{Soit } Stx = Sty = 15 \text{ cm}$$

### **Choix des aciers**

La dalle sera armée en HA10 espacé de 20 cm (totalisant une section d'acier pratique  $A_{st\text{pratique}}=3.93 \text{ cm}^2$ ) par direction.

Le plan de ferrailage est donné à l'Annexe 9.1.

Tableau 12: Résultat de dimensionnement de la dalle du lanterneau

<b>Dalle de Lanterneau</b>		
<b>Désignation</b>	<b>unité</b>	<b>valeur</b>
Diamètre	m	1.80
épaisseur	m	0,12
Ast (théorique)	cm <sup>2</sup>	0.7
Ast (pratique)	cm <sup>2</sup>	3.93
HA10 espacement de 20 cm par direction		

### **Voile circulaire**

La paroi de la partie cylindrique du lanterneau sera calculée comme un voile de hauteur non raidi latéralement, encastré en tête et en pied avec un plancher d'un seul côté.

### **Vérification de l'application de la méthode de voile**

Pour appliquer la méthode de calcul des voiles les (5) conditions suivantes doivent être vérifiées (Henry THONIER Tome III, voir annexe 4):

#### **1) Longueur « c » du voile doit être supérieur ou égale à 5 fois son épaisseur**

$$C = 2 \times \pi \times r \quad , r : \text{Rayon du voile}$$

$$C = 2 \times \pi \times 0.9$$

$$C = 5.6$$

$$5 \times e = 5 \times 0.12$$

$$5 \times e = 0.6$$

$C \geq 5 \times e$ , condition vérifiée.

**2) L'épaisseur du voile doit être supérieure ou égale à 10 cm**

Dans notre cas  $e = 12$  cm, condition vérifiée.

**3) L'élancement mécanique  $\lambda = \frac{l_f}{i} \leq 80$**

La longueur de flambement  $l_f$  est déterminée en fonction de la hauteur libre  $l_0$ .

$$\frac{l_f}{l} = 0.85 \text{ "voile armé verticalement avec un plancher d'un seul côté"}$$

$$l_f = 0.85 \times l_0, \quad l_0 \text{ étant la hauteur libre du voile}$$

$$l_f = 0.85 \times 0.6$$

$$l_f = 0.51$$

L'élancement  $\lambda$  est donnée par la formule suivante:

$$\lambda = \frac{l_f \sqrt{12}}{a} \text{ "voile armé verticalement"; } a \text{ étant l'épaisseur du voile}$$

$$\lambda = \frac{0.51 \sqrt{12}}{0.12}$$

$$\lambda = 14.7 < 80 ; \text{Condition vérifiée.}$$

**4) L'excentricité initiale de construction  $e = \min(0,02 \text{ m} ; \frac{l_f}{300})$**

$$\frac{l_f}{300} = \frac{0.51}{300}$$

$$\frac{l_f}{300} = 0.0017$$

$$e = \min(0,02 \text{ m} ; 0.0017).$$

**5) La résistance caractéristique du béton :  $f_{c28} < 40 \text{ MPa}$**

Dans notre cas  $f_{c28} = 30 \text{ MPa} < 40 \text{ MPa}$ , condition vérifiée.

Toutes les conditions d'application de la méthode de voile sont vérifiées.

**Descende de charge**

Nous avons deux types de charges : charge permanente et charge d'entretien

**Charge permanente**

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

Les charges permanentes sont : poids propre de la dalle, poids propre du voile et le poids de l'étanchéité :

❖ **Poids propre de la dalle**

$$PP_d = \gamma_b \times e \times \frac{\pi \times D^2}{4}$$

$$PP_d = 25 \times 0.12 \times \frac{\pi \times 2.2^2}{4}$$

$$PP_d = 11.39 \text{ kN}$$

❖ **Poids propre du voile**

$$PP_v = \gamma_b \times h \times \left( \frac{\pi \times D_{\text{ext}}^2}{4} - \frac{\pi \times D_{\text{int}}^2}{4} \right)$$

$$PP_v = 25 \times 0.6 \times \left( \frac{\pi \times 2.2^2}{4} - \frac{\pi \times 1.8^2}{4} \right)$$

$$PP_v = 18.84 \text{ kN}$$

❖ **Charge due à l'étanchéité**

$$g_e = \gamma_b \times \frac{\pi \times D_{\text{ext}}^2}{4}$$

$$g_e = 0.12 \times \frac{\pi \times 2.2^2}{4}$$

$$g_e = 0.46 \text{ kN}$$

La Charge permanente totale G

$$G = 11.39 + 18.84 + 0.46$$

$$G = 30.69 \text{ kN}$$

**Charge d'entretien**

La charge d'exploitation à prendre en compte est la charge d'entretien Q sur la dalle.

$$Q_{\text{ent}} = Q \times \frac{\pi \times D_{\text{ext}}^2}{4}$$

$$Q_{\text{ent}} = 1 \times \frac{\pi \times 2.2^2}{4}$$

$$Q_{\text{ent}} = 3.8 \text{ kN}$$

**Combinaison des charges à l'ELU**

$$N_u = 1.35G + 1.5Q$$

$$N_u = 1.35 \times 30.69 + 1.5 \times 3.8$$

$$N_u = 47.13 \text{ kN}$$

**Combinaison des charges à l'ELS**

$$N_{\text{ser}} = 1.35G + 1.5Q$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

$$N_{ser} = 30.69 + 3.8$$

$$N_{ser} = 34.5 \text{ kN}$$

### **Vérification de la contrainte limite à l'ELS selon le Fascicule 74**

Calcul de la contrainte de compression dans le béton

$$\sigma_b = \frac{N_{ser}}{2 \times \pi \times R \times e}$$

$$\sigma_b = \frac{0.035}{2 \times \pi \times 0.9 \times 0.12} = 0.05 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 0.05 \text{ MPa}$$

Contrainte admissible

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{130e}{D} \times (f_{c28})^{\frac{1}{3}}; \frac{(e+0.55)}{3} \times f_{c28} \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{130 \times 0.12}{1.8} \times (30)^{\frac{1}{3}}; \frac{(0.3+0.55)}{3} \times 30 \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min [26.9; 6.7]$$

$$\sigma_{adm} = 6.7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{adm} \text{ Condition vérifiée.}$$

### **Calcul des armatures**

La contrainte dans le béton est inférieure à la contrainte limite, la section d'acier à mettre est une section d'acier minimale : 0.25% de la section du béton.

$$A_{s_{min}} = 0.0025 \times 100 \times e = 0,25 \times 12 = 3 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

### **Disposition constructive**

Espacement des armatures en FPP selon le Fascicule 74 est :  $S_x$  et  $S_y \leq (2e ; 25 \text{ cm})$

Armatures verticales du voile : Condition à vérifier, espacement  $S_v \leq (33 \text{ cm} ; 2e)$

Armatures horizontales du voile : Condition à vérifier, espacement  $S_h \leq (33 \text{ cm})$

### **Choix des aciers**

La section d'acier verticale est égale à la section d'acier horizontale  $A_{sv} = A_{sh} = 3 \text{ cm}^2$ .

Nous choisissons 5HA10 espacé de 20 cm par face et par direction totalisant une section d'acier pratique  $A_{sh,pratique} = 3.93 \text{ cm}^2$ .

Plan de ferrailage : (voir l'annexe 9.1).

#### 4.2.4.2 Coupole supérieure

La coupole supérieure sert de couverture à la cuve et se repose sur la ceinture supérieure.

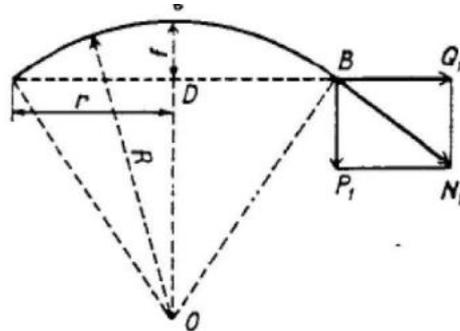


Figure 7 : Représentation des charges sur la coupole supérieure

##### ❖ Détermination de l'épaisseur

La coupole supérieure doit avoir une épaisseur minimale de 8 cm selon le Fascicule 74.

Conformément à cette norme nous avons choisi une épaisseur  $e = 12$  cm

##### ❖ Détermination de la flèche

Elle est prise selon le fascicule 74 supérieure ou égale au dixième du diamètre

$$f \geq \frac{D}{10} \Rightarrow \frac{D}{10} = \frac{23}{10} = 2,3 \text{ m} \quad \text{Alors } f = 2,3 \text{ m}$$

##### ❖ Calcul du rayon de courbure de la coupole R

$$R = \frac{(r^2 + f^2)}{2 \times f}$$

$$R = \frac{(11,5^2 + 2,3^2)}{2 \times 2,3}$$

$$R = 29,9 \text{ m}$$

##### ❖ Descente de charge

La coupole supérieure supporte les charges permanentes (son poids propre et celui de l'étanchéité) et des charges variables (charge d'entretien).

##### Charge permanente

$$\text{Poids propre de la coupole : } PPc = \gamma_b \times e = 25 \times 0,12 = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Poids de l'étanchéité : } g_1 = 0,12 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Poids de l'étanchéité : } g_2 = 0,32 \text{ kN/m}^2$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

### Charge d'entretien

$$Q_e = 1 \text{ kN/m}^2$$

### Poids total (P)

Le calcul se fait à l'ELS

$$P = PP_c + g_1 + g_2 + Q_e$$

$$P = 4.4 \text{ kN/m}^2$$

Ces charges induisent un effort normal de traction N1 décomposé suivant une composante verticale P1 et une composante horizontale Q1.

### Calcul de la composante verticale P<sub>1</sub>

$$P_1 = \frac{(r^2+f^2)p}{2 \times r} = \frac{(11.5^2+2.3^2) \times 4.4}{2 \times 11.5} = 26.6 \text{ kN/ml}$$

### Calcul de la composante horizontale Q<sub>1</sub>

$$Q_1 = \frac{P_1 \times (r^2 - f^2)}{2 \times r \times f} = \frac{26.6 \times (11.5^2 - 2.3^2)}{2 \times 11.5 \times 2.3} = 63.7 \text{ kN/ml}$$

### On calcule ainsi l'effort normal N1

$$N_1 = \sqrt{(P_1^2 + Q_1^2)} = \sqrt{(26.6^2 + 63.7^2)}$$

$$N_1 = 69 \text{ kN/ml}$$

Cet effort (N1) entraîne une compression du béton qui ne doit pas atteindre la contrainte limite.

### **❖ Vérification de contrainte**

#### La contrainte de compression qui sollicite la section du béton

$$\sigma_b = \frac{N_1}{100 \times e} = \frac{69}{100 \times 12} \times 10 = 0.58 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 0.58 \text{ MPa}$$

#### La contrainte admissible

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{100e}{R} \times (f_{c28})^{\frac{1}{3}} ; \frac{(e+0.55)}{3} \times f_{c28} \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min [1.25; 6.7]$$

$$\sigma_{adm} = 1.25 \text{ MPa} \quad ; \quad \sigma_b \leq \sigma_{adm} \text{ . condition vérifiée}$$

### ❖ Calcul des armatures

La contrainte dans le béton est inférieure à la contrainte limite, la section d'acier à mettre est une section d'acier minimale : 0.2% de la section du béton.

$$A_{s_{\min}} = 0.002 \times 100 \times e = 0,2 \times 12 = 2.4 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

### ❖ Choix des aciers

Nous choisissons 5HA10 espacé de 20 cm totalisant une section pratique  $A_{sp} = 3,93 \text{ cm}^2$  par direction.

Plan de ferrailage : (voir l'annexe 9.2).

Tableau 13: Résultat de dimensionnement de la coupole supérieure

Coupole Supérieure		
Désignation	unité	valeur
épaisseur	m	0,12
$\sigma_b$	MPa	0,58
$\sigma_{adm}$	MPa	1,25
$A_{st}$ (théorique)	cm <sup>2</sup>	2.4
$A_{st}$ (pratique)	cm <sup>2</sup>	3.93
HA10 espacement de 20 cm suivant les deux directions		

#### 4.2.4.3 Ceinture supérieure

C'est une poutre servant de liaison entre la coupole supérieure et la cuve cylindrique. Elle reçoit, par mètre linéaire, la poussée  $Q_1$  provenant de la coupole et éventuellement suivant les dispositions et la hauteur maximale de l'eau une poussée  $Q_2$  provenant de l'eau.

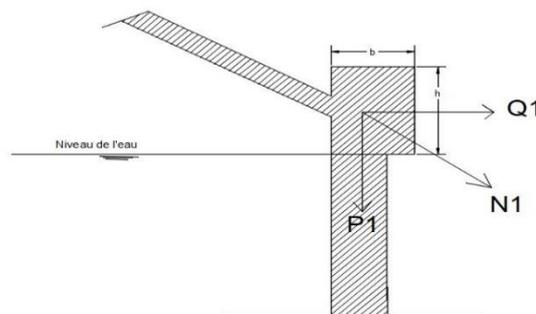


Figure 8: Représentation des efforts sur la Ceinture supérieure

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

Elle sera dimensionnée comme un tirant de forme rectangulaire dont la section du béton (b et h) sera déterminée.

### ❖ Descente de charge sur la ceinture supérieure

Les efforts horizontaux à considérés sont :

Effort transmis par la coupole supérieure

$$Q_1 = 63.7 \text{ kN/ml}$$

Poussée horizontale due à l'eau

Le niveau maximal de l'eau n'atteint pas la ceinture supérieure alors le  $Q_{\text{eau}} \approx 0$ .

Soit Q, l'effort résultant par mètre,

$$Q' = Q_1 + Q_{\text{eau}}$$

Ainsi  $Q' = Q_1 = 63.7 \text{ kN/ml}$

Q provoque dans la ceinture un effort de traction  $F = Q \times r_{\text{moy}}$

$r_{\text{moy}}$  : étant le rayon de la ceinture,  $r_{\text{moy}} = r + \frac{b}{2}$

Prenons  $b = 40 \text{ cm}$  qu'on vérifiera par la suite par la condition de non fragilité

$$F = 63.7 \times \left( 11.5 + \frac{0.4}{2} \right)$$

$$F = 746 \text{ kN.m/ml}$$

Cet effort doit être équilibré par des armatures dont la section des aciers  $A_{\text{st}}$  est donnée par:

$$A_{\text{st}} = \frac{F}{\sigma_{\text{st}}(\text{BAEL})}$$

$$A_{\text{st}} = \frac{746 \times 10^{-3}}{200} \times 10^4 = 37.3 \text{ cm}^2$$

### Choix des aciers

Nous choisissons de placer 8HA25 totalisant une section d'aciers pratique  $A_{\text{stp}} = 39.27 \text{ cm}^2$

### Détermination de la section du béton

La section du béton est déterminée par la condition de non fragilité selon le BAEL donnée par la relation suivante :

$$A_{\text{st}} \geq \frac{B \times f_{t28}}{f_e}$$

$$B \leq A_{\text{st}} \times \frac{f_e}{f_{t28}}$$

$$B \leq 39.27 \times \frac{500}{2.4}$$

$$B \leq 8183 \text{ cm}^2$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

$$B = b \times h$$

$$\text{Nous fixons } b=40 \text{ cm et } h \leq \frac{8183}{40}$$

$$h \leq 205 \text{ cm Soit } h= 30 \text{ cm}$$

$$B = 40 \times 30 = 1200 < 8183 \text{cm}^2, \text{ condition vérifiée.}$$

### **Section des aciers transversaux**

Le diamètre des armatures transversales est le tiers du plus grand diamètre des aciers longitudinaux :

$$\phi_t \geq \frac{\phi_l}{3}$$

$$\phi_t \geq \frac{25}{3} = 8.33$$

$$\text{Soit } \phi_t = 10 \text{ mm}$$

Tous les cadres, épingles, et étriers seront en : HA10

### **Espacement entre les aciers**

#### **En zone courante**

L'espacement en zone courante est inférieur ou égal à la plus petite dimension du tirant qui est égal à 30 cm, soit  $s_t = 20 \text{ cm}$

#### **En zone de recouvrement**

$$\text{En zone de recouvrement l'espacement se calcul comme suit : } s_t \leq \frac{(A_t \times f_e)}{m \times \pi \times \phi_t \times \tau_{su}}$$

$m$  : plan de cisaillement ( $m=1$ )

$$\tau_{su} : \text{contrainte d'adhérence: } \tau_{su} = 0.6 \times \Psi_s^2 \times f_{tj}$$

$\Psi_s$ : 1.5 pour les HA

$A_t$  : la section d'armature pratique et se détermine comme suit:

$$A_t : 3 \times 2.5 + 4 \times 1 = 11.5 \text{ cm}^2$$

$$s_t \leq \frac{(11.5 \times 500)}{1 \times \pi \times 1 \times (0.6 \times 1.5^2 \times 2.4)} = 56 \text{ cm}$$

$$\text{Soit } s_t = 20 \text{ cm}$$

Plan de ferrailage : (voir l'annexe 9.3).

Tableau 14: Résultat de dimensionnement de la ceinture supérieure

Ceinture supérieure		
Désignation	unité	valeur
h	cm	30
b	cm	40
enrobage	cm	3
Aciers principaux	8HA25	
Cadres	HA10 espacé de 20 cm	

#### 4.2.4.4 Cuve cylindrique

C'est la partie destinée à contenir l'eau, elle est donc soumise à la pression hydrostatique. Pour la détermination des armatures, le réservoir sera décomposé en anneaux horizontaux de hauteur unité. Un anneau est soumis à un effort de traction tangentiel N calculé à l'aide de la pression horizontale de l'eau à la base de l'anneau considérée. L'épaisseur de la paroi est constante sur toute la hauteur de la cuve.

#### Détermination de l'épaisseur

- $h_0 = \frac{hD}{4} = \frac{4.7 \times 23}{4} = 27 \text{ cm}$
- Coffrage glissant et rigide,  $h_0$  doit être supérieur à 16 cm

Donc nous choisissons une épaisseur de 30 cm pour toute la cuve.

#### Calcul des aciers

$p$  étant la pression horizontale à la base d'un anneau quelconque, celui-ci est soumis à un effort de traction tangentiel :  $N_i = p \times r$ , avec  $r$  le rayon du feuillet moyen de l'anneau.

#### Aciers horizontaux : les cerces

Les cerces sont calculées par la formule suivante :

$$A_{sti} = \frac{N_i}{\sigma_{st}(\text{fasc 74})}$$

#### Aciers verticaux

Les aciers verticaux qui constituent des aciers de répartition sont calculés par la formule suivante:

$$\frac{1}{3} A_{sp} \leq A_{sr} \leq \frac{1}{2} A_{sp}$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

### Vérification de la section d'acier minimale

Les sections d'aciers calculées doivent vérifier une section d'acier minimale  $A_{st_{min}}$  qui est égale à 0.25 % de la section du béton.

$$A_{st_{min}} = 0.25\% \times Br = 6.25 \text{ cm}^2 \quad A_{st_{min}} = 0.25 \times 30 = 7.5 \text{ cm}^2$$

L'épaisseur étant supérieure à 15 cm ; la section d'acier calculée sera répartie en deux nappes conformément à la recommandation du Fascicule 74.

Plan de ferrailage : (voir l'annexe 9.4).

Tableau 15: Résultat de dimensionnement de la cuve cylindrique

Tranche	1	2	3	4	5
Z(m)	5	4	3	2	1
Poids de l'eau (kN/ml)	50	40	30	20	10
N (kN.m)	582,5	466	349,5	233	116,5
Ast (cm <sup>2</sup> /ml)	35,18	26,83	20,12	13,21	7,04
Ast <sub>min</sub> (cm <sup>2</sup> /ml)	7,50	7,50	7,50	7,50	7,50
Ast (cm <sup>2</sup> /ml)	35,18	26,83	20,12	13,21	7,50
Ast/Face (cm <sup>2</sup> /ml)	17,59	13,41	10,06	6,61	3,75
Aciers horizontaux : cerces (cm <sup>2</sup> /ml)	10HA16	10HA16	10HA12	10HA12	10HA12
	20,11	20,11	11,31	11,31	11,31
As répartition (cm <sup>2</sup> /ml)	7,04	5,37	4,02	3,75	3,75
Aciers verticaux : Asr (cm <sup>2</sup> /ml)	10HA12	10HA12	10HA12	10HA12	10HA12
	11,31				

#### 4.2.4.5 Ceinture inferieure

La ceinture inférieure est une poutre servant de liaison entre la paroi cylindrique et la paroi tronconique.

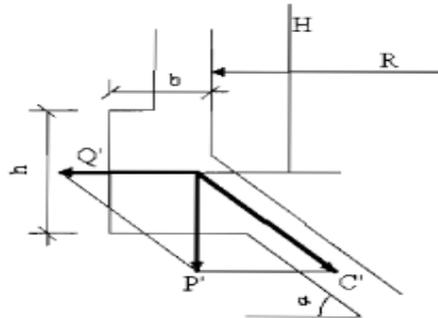


Figure 9: Représentation des efforts sur la ceinture inférieure

#### Descente des charges sur la ceinture inférieure

La ceinture inférieure reçoit par mètre linéaire la charge verticale résultante  $P'$  provenant de la coupole supérieure ( $P_1$ ), de la ceinture supérieure ( $P_{\text{ceint sup}}$ ), de la paroi cylindrique ( $P_{\text{cylind}}$ ) et supporte son poids propre ( $P_{\text{ceint inf}}$ ):

- Effort transmis par le poids propre de la coupole supérieure  $P_1=26.6$  kN/ml
- Poids propre de la ceinture supérieure  $P_{\text{ceint sup}}=\gamma_b \times h \times b=25 \times 0,3 \times 0,4$   $P_{\text{ceint sup}}=3$  kN/ml
- Poids propre de la cuve cylindrique  $P_{\text{cylind}}=\gamma_b \times e \times h=25 \times (0,3 \times 4.7)$ ,  $P_{\text{cylind}}=35,25$  kN/ml
- Poids propre de la ceinture inférieure  $P_{\text{ceint inf}}=\gamma_b \times h \times b=25 \times (0.4 \times 0.6)$ ,  $P_{\text{ceint inf}}=6$  kN/ml

#### Charge totale $P'$

$$P' = P_1 + P_{\text{ceint sup}} + P_{\text{cylind}} + P_{\text{ceint inf}}$$

$$P' = 71 \text{ kN/ml}$$

$P'$  se décompose en une force horizontale  $Q'_1$  et en une force oblique  $C'$  dirigée suivant les génératrices du tronc de cône.

#### Charge horizontale $Q'_1$

$$Q'_1 = \frac{P'}{\tan \alpha} = \frac{71}{\tan 28.41}$$

$$Q'_1 = 130,9 \text{ kN/ml}$$

La ceinture reçoit aussi sur sa hauteur la force horizontale due à la poussée de l'eau  $Q'_{\text{eau}}$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

$$Q'_{\text{eau}} = \Delta \times H \times h$$

$$Q'_{\text{eau}} = 10 \times (4.7 + 0.2) \times 0.4$$

$$Q'_{\text{eau}} = 19.6 \text{ kN/ml}$$

La force horizontale totale transmise à la ceinture inférieure Q'

$$Q' = Q'_1 + Q'_{\text{eau}}$$

$$Q' = 150.5 \text{ kN/ml}$$

### **Calcul des aciers**

Elle est dimensionnée de la même manière que la ceinture supérieure en considérant l'effort résultant Q' :

$$A_{st} = \frac{Q' \times R}{\sigma_{st}(\text{Fasc74})} \text{ en prenant } \sigma_{st} = 131.14 \text{ MPa pour } \emptyset = 32$$

$$A_{st} = \frac{150.5 \times (11.5 + 0.5 \times 0.6) \times 10}{131.14} = 135.4 \text{ cm}^2$$

### **Choix des aciers**

18HA32 totalisant une section d'acier pratique  $A_{sp} = 144.72 \text{ cm}^2$ .

### **Détermination de la section du béton**

La section du béton est déterminée par la condition de non fragilité selon le BAEL donnée par la relation suivante :

$$A_{st} \geq \frac{B \times f_{t28}}{F_e}$$

$$B \leq A_{st} \times \frac{f_e}{f_{t28}}$$

$$B \leq 144.72 \times \frac{500}{2.4}$$

$$B \leq 30150 \text{ cm}^2$$

$$B = 60 \times 40$$

$$\text{Nous fixons } b=60 \text{ cm} \rightarrow h \leq \frac{30150}{50}$$

$$h \leq 502 \text{ cm} \text{ Soit } h=40 \text{ cm}$$

$$B = 60 \times 40 = 2400 < 30150 \text{ cm}^2, \text{ condition vérifiée.}$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

### Section des aciers transversaux

Le diamètre des armatures transversales est le tiers du plus grand diamètre des aciers longitudinaux :

$$\phi_t \geq \frac{\phi_l}{3}$$

$$\phi_t \geq \frac{32}{3} = 10.66 \text{ Soit } \phi_t = 12 \text{ mm}$$

Tous les cadres, épingles, et étriers seront en : HA12

### Espacement entre les aciers transversaux

#### En zone courante

L'espacement en zone courante est inférieur ou égal à la plus petite dimension du tirant qui est égal à 40 cm, soit  $s_t = 20$  cm

#### En zone de recouvrement

En zone de recouvrement l'espacement se calcul comme suit :  $S_t = \frac{(A_t \times F_e)}{m \times \pi \times \phi_t \times \tau_{su}}$

$A_t$  : la section d'acier transversale pratique et se détermine comme suit:

$$A_t : 7 \times 3.2 + 12 \times 1.2 = 36.8 \text{ cm}^2$$

$$S_t = \frac{(36.8 \times 500)}{1 \times \pi \times 1.2 \times (0.6 \times 1.5^2 \times 2.4)} = 150 \text{ cm}$$

soit  $S_t = 20$  cm.

Plan de ferrailage : (voir l'annexe 9.5).

Tableau 16: Résultat de dimensionnement de la ceinture inférieure

Ceinture inférieure		
Désignation	unité	valeur
h	cm	40
b	cm	60
enrobage	cm	3
Aciers principaux	18HA32	
cadres	HA12 espacement de 20 cm	

#### 4.2.4.6 La cuve tronconique

Elle est destinée à contenir une partie de l'eau. Elle est soumise à un effort de traction et de compression due à la charge venant de la ceinture inférieure, à son poids propre et au poids de l'eau.

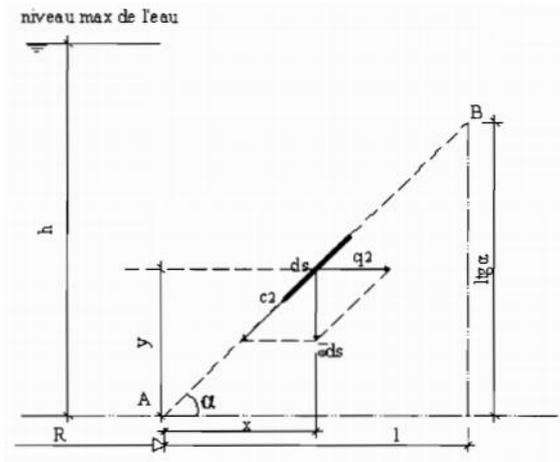


Figure 10: Représentation des efforts sur la cuve tronconique

Le calcul des différentes sollicitations se fait comme suit :

#### 🚦 Action de la pression de l'eau

L'eau exerce une force de traction  $F_1$  sur toute la partie tronconique.

$$\text{Force de traction : } F_1 = \frac{\Delta \times l}{\sin \alpha \cos \alpha} \times \left[ h \times \left( R + \frac{l}{2} \right) - \left( \frac{R}{2} + \frac{l}{3} \right) \times l \tan \alpha \right]$$

$l$  : Longueur du tronc du cône

$$l = \frac{h \text{ cône}}{\tan(\alpha)}$$

$$l = \frac{3.15}{\tan(28.41)}$$

$$l = 5.8 \text{ m}$$

$H$  : hauteur hydraulique totale

$R$  : le rayon de la petite base du tronc du cône

$\Delta$ : poids volumique de l'eau

$$F_1 = \frac{10 \times 5.8}{\sin 28.41 \cos 28.41} \times \left[ 7.85 \times \left( 5.9 + \frac{5.8}{2} \right) - \left( \frac{5.9}{2} + \frac{5.8}{3} \right) \times 5.8 \times \tan 28.81 \right] = 7482 \text{ kN}$$

$$F_1 = 7.48 \text{ MN}$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

L'eau exerce aussi une force de compression  $C_1$  sur toute la partie tronconique.

$$\text{Force de compression : } C_1 = \frac{2 \times \pi \times \Delta \times l}{\sin \alpha} \times \left[ h \times \left( R + \frac{l}{2} \right) - \left( \frac{R}{2} + \frac{l}{3} \right) \times l \times \tan \alpha \right]$$

$$C_1 = \frac{2 \times \pi \times 10 \times 5.8}{\sin 28.41} \times \left[ 7.85 \times \left( 5.9 + \frac{5.8}{2} \right) - \left( \frac{5.9}{2} + \frac{5.8}{3} \right) \times 5.8 \tan 28.41 \right] = 41347 \text{ KN}$$

$$C_1 = 41.347 \text{ MN}$$

#### Action du poids propre de la cuve

En ce qui concerne l'action du poids propre nous avons aussi une partie qui agit en traction

$F_2$  :

$$F_2 = \frac{\Omega \times l}{\sin \alpha} \times \left( R + \frac{l}{2} \right)$$

$\Omega$ : poids volumique du béton

$$F_2 = \frac{25 \times 5.8}{\sin 28.41} \times \left( 5.9 + \frac{5.8}{2} \right) = 809 \text{ kN}$$

$$F_2 = 0.809 \text{ MN}$$

La partie tronconique génère aussi une force de compression  $C_2$  :

$$C_2 = \frac{2 \times \pi \times \Omega \times l \times \left( R + \frac{l}{2} \right)}{\sin \alpha \cos \alpha} \quad C_2 = \frac{2 \times \pi \times 25 \times 0.25 \times 5.8 \times \left( 5.9 + \frac{5.8}{2} \right)}{\sin 28.41 \cos 28.41} = 5778 \text{ kN}$$

$$C_2 = 5.778 \text{ MN}$$

#### Calcul des sections d'aciers

La paroi de la cuve tronconique sera armée par des aciers tendus qui reprennent l'effort de traction  $F$  et des aciers comprimés qui reprennent l'effort de compression  $C$ .

#### ❖ Calcul des aciers tendus

L'effort de traction est équilibré par les cerces dont la section d'acier est donnée par la formule suivante:

$$A_{st} = \frac{F}{\sigma_{st}(\text{Fasc74})}$$

$F$  : la force de traction résultante  $F = F_1 + F_2$

En prenant  $\sigma_{st} = 142.06 \text{ MPa}$  pour  $\phi = 25$

$$A_{st} = \frac{7.48 + 0.809}{142.06}$$

$$A_{st} = 584 \text{ cm}^2$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

### Choix des aciers tendus (cerces)

L'épaisseur (e=30 cm) étant supérieure à 15 cm la section d'acier calculée sera répartie en deux nappes conformément aux prescriptions du Fascicule 74.

$$\frac{A_{st}}{\text{face}} = \frac{A_{st}}{2} = 292 \text{ cm}^2$$

La section d'acier calculée sera répartie uniformément sur toute la longueur développée du tronc  $L_{trc}$ .

$$L_{trc} = \frac{h}{\sin(28.41^\circ)} = 6.62 \text{ m}, \text{ h étant la hauteur de la partie tronconique}$$

En fixant un espacement de 10 cm on choisit : 66HA25 totalisant une section d'acier pratique  $A_{st\text{pratique}} = 324 \text{ cm}^2$  par nappe.

### ❖ **Calcul des aciers comprimés**

L'effort de compression est équilibré par des aciers forfaitaires (0.3%) selon le fascicule 74 après avoir vérifié la contrainte limite.

### Vérification de la contrainte limite

La vérification consiste à comparer la contrainte dans le béton à la contrainte admissible.

### Contrainte de compression dans le béton

$$\sigma_b = \frac{C}{2 \times \pi \times R \times e}$$

C : Force de compression résultante donnée par :  $C = \frac{P'_1}{\sin \alpha} + C_1 + C_2$  ou  $P'_1$  est le poids transmis au tronc du cône par la ceinture inférieure.

R : le rayon de la petite base du tronc du cône

$$\sigma_b = \frac{47.3}{2 \times \pi \times 5.9 \times 0.3}$$

$$\sigma_b = 4.26 \text{ MPa}$$

### Contrainte de compression admissible à la base de la partie tronconique

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{130e}{R} \times (f_{c28})^{\frac{1}{3}}; \frac{(e+0.55)}{3} \times f_{c28} \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{130 \times 0.3}{5.9} \times (30)^{\frac{1}{3}}; \frac{(3+0.55)}{3} \times 30 \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min (20.5, 8.5)$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

$$\sigma_{adm} = 8.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b < \sigma_{adm} \text{ Condition vérifiée.}$$

La contrainte dans le béton est inférieure à la valeur admissible donc il sera mis des aciers forfaitaires : 0,3% de la section du béton.

$$A_{st_{min}} = 0.3\% \times Br$$

L'épaisseur (e=30 cm) étant supérieure à 15 cm la section d'acier calculée sera répartie en deux nappes conformément aux prescriptions du Fascicule 74.

$$A_{st_{min}} = 0.3 \times 30 = 9 \text{ cm}^2$$

$$A_{st/nappe} = 9/2 = 4.5 \text{ cm}^2/ml$$

### **Choix des aciers comprimés**

Nous mettrons 5HA12 avec un espacement de 20 cm totalisant une section d'acier pratique  $A_{sp} = 5.65 \text{ cm}^2$  par face.

Plan de ferrailage : (voir l'annexe 9.6).

Tableau 17:Résultat de dimensionnement de la cuve tronconique

<b>Cuve tronconique</b>		
<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>	<b>valeur</b>
Diamètre à la base	m	5.9
Epaisseur	m	0,3
Longueur développée	m	6,62
<b>Aciers Tendus (cerces)</b>		
A <sub>st</sub> /face	cm <sup>2</sup>	283,6
A <sub>stpratique</sub> /face	cm <sup>2</sup>	324
Choix des aciers	HA25, espacement de 10 cm	
<b>Aciers Comprimés</b>		
σ <sub>b</sub>	MPa	4,2
σ <sub>adm</sub>	MPa	8,5
A <sub>st</sub> /face	cm <sup>2</sup>	4,5
A <sub>stpratique</sub> /face	cm <sup>2</sup>	5,65
Choix des aciers	HA12, espacement de 20 cm	

#### 4.2.4.7 La coupole inférieure

La coupole inférieure a une forme de calotte sphérique, elle se distingue des dalles plates par son caractère économique en termes de quantité du matériau béton, mais aussi avec des difficultés d'exécution, notamment sur le coffrage.

#### ❖ Détermination de l'épaisseur

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

La coupole inférieure doit avoir une épaisseur minimale de 15 cm selon le Fascicule 74.

Conformément à cette norme nous avons choisi une épaisseur  $e = 20$  cm.

#### ❖ Détermination de la flèche

Elle est donnée selon le fascicule 74 par la relation suivante :

$$f \geq \frac{D}{8}$$

$$f = \frac{11.8}{8} = 1.48 \text{ m}$$

Alors  $f = 1.5$  m

#### ❖ Calcul de rayon de courbure de la coupole R

$$R = \frac{(r^2 + f^2)}{2 \times f}$$

$$R = \frac{(5.9^2 + 1.5^2)}{2 \times 1.5}$$

$$R = 12.5 \text{ m}$$

#### ❖ Descente de charge

Elle supporte en plus de son poids propre le poids de l'eau contenue dans la cuve et est dimensionnée de la même manière que la coupole supérieure.

##### Charge permanente

$$\text{Poids propre de la coupole : } PPc = \gamma_b \times e = 25 \times 0,2 = 5 \text{ kN/m}^2$$

##### Charge d'exploitation

La charge d'exploitation à considérer est le poids de l'eau :

$$Q = \gamma_{\text{eau}} \times h \quad h: \text{hauteur hydraulique totale}$$

$$Q = 10 \times 7.85 \text{ kN/m}^2$$

##### Poids total (P)

Le calcul se fait à l'ELS

$$P = PPc + Q \Rightarrow P = 83.5 \text{ kN/m}^2$$

P engendre un effort de compression N1 donné par la formule suivante :

$$N1 = \sqrt{(P1^2 + Q1^2)}$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

❖ Calcul de la composante verticale P<sub>1</sub>

$$P_1 = \frac{(r^2 + f^2)p}{2 \times r} = \frac{(5.9^2 + 1.5^2) \times 83.5}{2 \times 11.8} = 261.7 \text{ kN/ml}$$

❖ Calcul de la composante horizontale Q<sub>1</sub>

$$Q_1 = \frac{P_1 \times (r^2 - f^2)}{2 \times r \times f} = \frac{261.7 \times (11.8^2 - 1.5^2)}{2 \times 11.8 \times 1.5} = 490.7 \text{ kN/ml}$$

❖ On calcule ainsi l'effort normal N<sub>1</sub>

$$N_1 = \sqrt{(261.7^2 + 490.7^2)}$$

$$N_1 = 556.2 \text{ kN/ml}$$

Cet effort (N<sub>1</sub>) entraîne une compression du béton qui ne doit pas atteindre la contrainte limite.

### Vérifications de la contrainte

La contrainte de compression qui sollicite la section du béton

$$\sigma_b = \frac{N_1}{100 \times e} = \frac{556.2}{100 \times 20} \times 10$$

$$\sigma_b = 2.78 \text{ MPa}$$

La contrainte admissible

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{100e}{R} \times (f_{c28})^{\frac{1}{3}}; \frac{(e+0.55)}{3} \times f_{c28} \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min [4.96; 7.5]$$

$$\sigma_{adm} = 4.96 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b \leq \sigma_{adm} \text{ condition vérifiée}$$

❖ Calcul des armatures

La contrainte dans le béton est inférieure à la contrainte limite, la section d'acier à mettre est une section d'acier minimale : 0.3% (fascicule 74) de la section du béton.

$$A_{s_{min}} = 0.003 \times 100 \times e = 0,3 \times 20 = 6 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

L'épaisseur (e=20 cm) étant supérieure à 15 cm la section d'acier calculée sera répartie en deux nappes conformément aux prescriptions du Fascicule 74.

$$\frac{A_{st}}{\text{nappe}} = \frac{6}{2} = 3 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

### ❖ Choix des aciers

Nous allons mettre 5HA10 avec un espacement de 20 cm totalisant une section d'acier pratique  $A_{sp} = 3,93 \text{ cm}^2$  par face et par direction. Plan de ferrailage : (voir l'annexe 9.7).

Tableau 18: Résultat de dimensionnement de la couple inférieure

Coupole inférieure		
Désignation	unité	valeur
épaisseur	m	0,2
$\sigma_b$	MPa	2.78
$\sigma_{adm}$	MPa	4.96
$A_{st}$ (théorique)/face/direction	cm <sup>2</sup>	3
$A_{st}$ (pratique)/face/direction	cm <sup>2</sup>	3.93
HA10, espacement de 20 cm par face et par direction		

#### 4.2.4.8 Ceinture d'appui

La ceinture d'appui permet comme son nom l'indique, l'appui de la cuve sur son support. Le support étant une tour, la ceinture est une poutre rigide qui sera armé par des aciers forfaitaires de compression ou des aciers tendus.

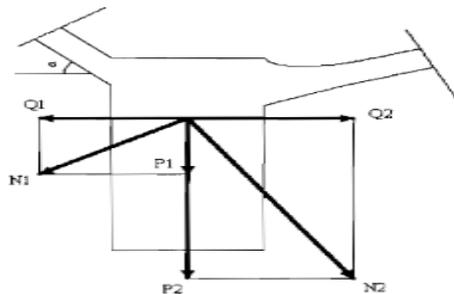


Figure 11: Représentation des efforts sur la ceinture d'appui

### Descente des charges

La ceinture d'appui reçoit deux forces horizontales diamétralement opposées : une force  $Q_1$  venant de la coupole inférieure et une autre force  $Q_2$  transmise par la paroi de la cuve tronconique:

▪ **Poussé horizontale de la coupole inferieure**

La coupole inférieure donne par unité de longueur sur la ceinture d'appui une poussée horizontale Q1

Q1 = 490.7 kN/ml (valeur issue du dimensionnement de la coupole inferieure voir ci-haut)

▪ **Effort horizontal venant de la partie tronconique**

L'effort normal N2 dans la partie tronconique se décompose en une force horizontale Q2

$$N2 = \frac{C}{2\pi \times r}$$

C : Force de compression résultante transmis au tronc du cône par la ceinture inférieure.

r : le rayon de la petite base du tronc du cône

$$N2 = \frac{47274}{2\pi \times 5.9} = 1275 \text{ kN/ml}$$

$$Q2 = N2 \cos \alpha = 1275 \cos(28.41^\circ) = 1122 \text{ kN/ml}$$

$$Q2 = 1122 \text{ kN/ml}$$

Si  $Q2 > Q1 \Rightarrow$  la section est soumise à un effort de compression L'effort de compression est équilibré par des aciers forfaitaires (0.3%) selon le fascicule

**Vérification de la contrainte limite**

Soit Q la force résultante :  $Q = Q2 - Q1$

La contrainte de compression qui sollicite la section du béton

$$\sigma_b = \frac{Q}{100 \times e} = \frac{631}{100 \times 50} \times 10$$

$$\sigma_b = 0.13 \text{ MPa}$$

La contrainte admissible

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{100e}{R} \times (f_{c28})^{\frac{1}{3}} ; \frac{(e+0.55)}{3} \times f_{c28} \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min [8.4; 10.5]$$

$$\sigma_{adm} = 8.47 \text{ MPa}$$

$\sigma_b \leq \sigma_{adm}$  , condition verifiée

❖ **Calcul des armatures**

La contrainte dans le béton est inférieure à la contrainte limite, la section d'acier à mettre est une section d'acier minimale : 0.3% de la section du béton.

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

$$A_{st_{min}} = 0.003 \times 100 \times e = 0,3 \times 50 = 15 \text{ cm}^2$$

### ❖ Choix des aciers

Nous allons mettre 8HA16 totalisant une section d'acier pratique  $A_{sp} = 16.08 \text{ cm}^2$

### Section des aciers transversaux

Le diamètre des armatures transversales

$$\phi_t \geq \frac{\phi_l}{3}, \phi_t \geq \frac{16}{3} = 5.33$$

Soit  $\phi_t = 8 \text{ mm}$ ,

tous les cadres, épingles, et étriers seront en HA8.

### Espacement entre les aciers transversaux

$$St \leq \min(40 \text{ cm}; (b + 10\text{cm}); 15\phi_{l_{min}})$$

$$St \leq \min(40 \text{ cm}; (50 + 10\text{cm}); 15 \times 1.6)$$

$$St \leq \min(40 \text{ cm}; 60 \text{ cm}; 24 \text{ cm})$$

$$St \leq 24 \text{ cm}, \text{ soit } St = 20 \text{ cm}$$

Plan de ferrailage : (voir l'annexe 9.8).

Tableau 19 : Résultat de dimensionnement de la ceinture d'appuie

Ceinture d'appuie		
Désignation	Unité	Valeur
h	cm	60
b	cm	50
$\sigma_b$	MPa	0.13
$\sigma_{adm}$	MPa	5.47
Ast (théorique)	cm <sup>2</sup>	15
Choix des aciers	principaux	8HA16
	cardes	HA8, espacement de 20 cm

#### 4.2.4.9 La cheminée

La cheminée a pour rôle de faciliter l'accès au réservoir pour l'entretien de la cuve. Elle est soumise à la pression hydrostatique de l'eau venant de la cuve et travaille en compression. On divise la paroi en des viroles horizontales de 1 m de Hauteur à partir du bas. Pour le dimensionnement de toute la cheminée, nous allons considérer la pression maximale.

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

Si nous considérons une tranche de 1 m de hauteur, l'effort de compression aura pour valeur  
 $F = P \times R$

Avec P : la pression de l'eau,  $p = \Delta \times h_e = 10 \times (7.85 - 1.5) \times 1 = 63.75 \text{ kN/ml}$

R : le rayon moyen de la cheminée.

$$F = 63.75 \times \left(0.9 + \frac{0.3}{2}\right)$$

$$F = 66.93 \text{ kN.m/ml}$$

On vérifie ensuite que le béton peut résister à cet effort, et on armera la cheminée à l'aide de cerces horizontales et d'armatures verticales.

Les contraintes sont calculées à l'aide des formules suivantes :

La contrainte de compression qui sollicite la section du béton

$$\sigma_b = \frac{F}{100 \times e} = \frac{66.93}{100 \times 30} \times 10 = 0.21 \text{ MPa} \quad \sigma_b = 0.21 \text{ MPa}$$

La contrainte admissible

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{100e}{R} \times (f_{c28})^{\frac{1}{3}}; \frac{(e+0.55)}{3} \times f_{c28} \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{100 \times 0.3}{1.05} \times (30)^{\frac{1}{3}}; \frac{(0.3+0.55)}{3} \times 30 \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min [88.8 ; 8.5]$$

$$\sigma_{adm} = 8.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b \leq \sigma_{adm} \text{ condition vérifiée}$$

#### ❖ Calcul des armatures

La contrainte dans le béton est inférieure à la contrainte limite, la section d'acier à mettre est une section d'acier minimale : 0.3% de la section du béton.

$$A_{st_{min}} = 0.003 \times 100 \times e = 0,3 \times 30 = 9 \text{ cm}^2$$

L'épaisseur (e = 30 cm) étant supérieure à 15 cm la section d'acier calculée sera répartie en deux nappes conformément aux prescriptions du Fascicule 74.

$$A_{st/nappe} = \frac{9}{2} = 4.5 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

### ❖ Choix des aciers

Nous allons mettre 5HA12 avec un espacement de 20 cm totalisant une section d'acier pratique Ast p= 5.65 cm<sup>2</sup> par face et par direction.

Plan de ferrailage : (voir l'annexe 9.9).

Tableau 19:Résultat de dimensionnement de la cheminée

cheminée		
Désignation	unité	valeur
épaisseur	m	0,3
$\sigma_b$	MPa	0.21
$\sigma_{adm}$	MPa	8.5
Ast (théorique)/face/direction	cm <sup>2</sup>	4.5
Ast (pratique)/face/direction	cm <sup>2</sup>	5.65
HA12, espacement de 20 cm par face et par direction		

#### 4.2.4.10 La Tour

La tour permet de supporter la cuve, d'abriter l'escalier d'accès et les équipements hydrauliques.

Pour le dimensionnement de la tour, on fait les hypothèses suivantes :

- la tour est considérée comme un voile armé ;
- la hauteur du voile étant très importante, nous optons de réaliser 4 planchers intermédiaires de même dimension. Ce qui nous conduit à 5 tranches dans le voile dont la dernière sera la plus chargée. Nos calculs se feront à ce niveau ;
- la tranche du voile la plus chargée est encastré en tête et en pied avec un plancher de part et d'autre

### Vérification de l'application de la méthode de voile

Pour appliquer la méthode de calcul des voiles les conditions suivantes doivent être vérifiées (Henry THONIER, annexe 4) :

#### 1) Longueur « c » du voile doit être supérieur ou égale à 5 fois son épaisseur

$C = 2 \times \pi \times r$  , r étant le rayon du voile

$$C = 2 \times \pi \times 5.9$$

$$C = 37 \text{ m}$$

$$5 \times e = 5 \times 0.3$$

$$5 \times e = 1.5 \text{ m}$$

$C \geq 5 \times e$ , condition vérifiée

**2) L'épaisseur du voile doit être supérieure ou égale à 10 cm**

Dans notre cas  $e = 30 \text{ cm}$ , condition vérifiée.

**3) L'élancement mécanique  $\lambda = \frac{l_f}{i} \leq 80$**

La longueur de flambement  $l_f$  est donnée en fonction de la hauteur libre  $l_0$ .

$\frac{l_f}{l_0} = 0.80$  "voile armé verticalement avec un plancher de part et d'autre" (Valeur lue dans le tableau donné l'annexe 4) ;

$$l_f = 0.80 \times l_0, \quad l_0 \text{ étant la hauteur libre du voile } \quad l_0 = \frac{33.6}{5} = 6.7 \text{ m}$$

$$l_f = 0.80 \times 6.7$$

$$l_f = 5.3$$

L'élancement  $\lambda$  est calculé par la formule suivante :

$$\lambda = \frac{l_f \sqrt{12}}{a} \text{ "voile armé verticalement"}$$

$a$  étant l'épaisseur du voile

$$\lambda = \frac{5.36 \sqrt{12}}{0.3}$$

$\lambda = 61.89 < 80$  Condition vérifiée.

**4) L'excentricité initiale de construction  $e = \min(0,02 \text{ m} ; \frac{l_f}{300})$**

$$\frac{l_f}{300} = \frac{61.89}{300} = 0.2$$

$e = \min(0,02 \text{ m} ; 0.2)$

**5) La résistance caractéristique du béton :  $f_{c28} < 40 \text{ MPa}$**

Dans notre cas  $f_{c28} = 30 \text{ MPa} < 40 \text{ MPa}$ , condition vérifiée.

Toutes Les conditions d'application de la méthode de voile sont vérifiées.

**Descende de charge**

La tour supportera toutes les charges venant de la coupole supérieure jusqu'à la ceinture d'appui

### Charges permanentes

Les charges permanentes à considérer sont :

#### **Poids de l'étanchéité et de l'isolation sur la coupole supérieure**

$$PP_{\text{étanc;isol}} = (\gamma_{\text{étanc}} + \gamma_{\text{isol}}) \times s \quad \text{avec } s = \pi \times R \times F$$

$$PP_{\text{étanc;isol}} = (0.32 + 0.12) \times \pi \times 29.9 \times 2.3 = 190.1 \text{ kN}$$

$$PP_{\text{étanc;isol}} = 190.1 \text{ kN}$$

#### **Poids propre de la coupole supérieure**

$$PP_{\text{coup sup}} = \gamma_b \times s \times e \quad \text{avec } s = \pi \times R \times F$$

$$PP_{\text{coup sup}} = 25 \times 2 \times \pi \times 29.9 \times 2.3 \times 0.12 = 1296.3 \text{ kN}$$

#### **Poids propre de la ceinture supérieure**

$$PP_{\text{cein sup}} = \gamma_b \times h \times b \times p \quad \text{avec } p = 2 \times \pi \times R_{\text{moy}}$$

$$PP_{\text{cein sup}} = 25 \times 0.4 \times 0.3 \times (2 \times \pi \times 11.7) = 220.5 \text{ kN}$$

#### **Poids propre de la cuve cylindrique**

$$PP_{\text{cylind}} = \gamma_b \times e \times h \times p \quad \text{avec } p = 2 \times \pi \times R_{\text{moy}}$$

$$PP_{\text{cylind}} = 25 \times 0.3 \times 4.7 \times (2 \times \pi \times 11.65) = 2580.3 \text{ kN}$$

#### **Poids propre de la ceinture inférieure**

$$PP_{\text{ceint inf}} = \gamma_b \times h \times b \times p \quad \text{avec } p = 2 \times \pi \times R_{\text{moy}}$$

$$PP_{\text{ceint inf}} = 25 \times 0.4 \times 0.6 \times (2 \times \pi \times 11.8) = 441.8 \text{ kN}$$

#### **Poids propre de la cuve tronconique**

$$PP_{\text{tronc}} = \gamma_b \times \left( \pi \times \frac{h}{3} \times \left( \left( \frac{e}{2} + R_{\text{sup}} \right)^2 + \left( \frac{e}{2} + R_{\text{inf}} \right)^2 + \left( \frac{e}{2} + R_{\text{sup}} \right) \times \left( \frac{e}{2} + R_{\text{inf}} \right) \right) - \left( R_{\text{sup}}^2 + R_{\text{inf}}^2 + R_{\text{sup}} \times R_{\text{inf}} \right) \right)$$

$$PP_{\text{tronc}} = 1313.7 \text{ kN}$$

#### **Poids propre de la coupole inférieure**

$$PP_{\text{coup inf}} = \gamma_b \times s \times e \quad \text{avec } s = \pi \times R \times F$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

$$PP_{\text{coup inf}} = 25 \times 2 \times \pi \times 29.9 \times 2.3 \times 0.12 = 581 \text{ kN}$$

### **Poids propre de la ceinture d'appui**

$$PP_{\text{ceint appui}} = \gamma_b \times h \times b \times p \quad \text{avec } p = 2 \times \pi \times R_{\text{moy}}$$

$$PP_{\text{ceint appui}} = 25 \times 0.6 \times 0.5 \times (2 \times \pi \times 5.9) = 278 \text{ KN}$$

### **Poids propre de la tour**

$$PP_{\text{tour}} = \gamma_b \times e \times h \times p \quad \text{avec } p = 2 \times \pi \times R_{\text{moy}}$$

$$PP_{\text{tour}} = 25 \times 0.3 \times 33.6 \times (2 \times \pi \times 5.9) = 9341.8 \text{ KN}$$

### **Poids propre de la dalle intermédiaire**

Nous avons quatre dalles intermédiaires

$$PP_{\text{dalle,int}} = 4 \times \gamma_b \times s \quad \text{avec } s = \pi \times \frac{D^2}{4}$$

$$PP_{\text{dalle,int}} = 4 \times 25 \times 0.3 \times \left( \pi \times \frac{11.5^2}{4} \right) = 3116 \text{ kN}$$

### **Charge variable**

Les charges variables sont :

#### Poids de l'eau

$$P_{\text{eau}} = \gamma_{\text{eau}} \times V$$

$$PP_{\text{ceint appui}} = 10 \times 2500 = 25000 \text{ kN}$$

#### Charge d'entretien sur la coupole supérieure

La charge d'exploitation  $Q=1 \text{ kN/m}^2$

$$Q_{\text{exp}} = Q \times s \quad \text{avec } s = \pi \times R \times F$$

$$Q_{\text{exp}} = 1 \times \pi \times 29.9 \times 2.3 = 216. \text{ kN}$$

#### Charge d'exploitation sur la dalle intermédiaire

$$Q_{\text{dalle,int}} = 4 \times Q_e \times s \quad \text{avec } s = \pi \times \frac{D^2}{4}$$

$$PP_{\text{dalle,int}} = 4 \times 1 \times \left( \pi \times \frac{11.5^2}{4} \right) = 415.47 \text{ KN}$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

### **Charge permanente totale**

Soit G la somme de toutes les charges permanentes

$$G=19.36 \text{ MN}$$

### **Charge d'exploitation totale**

Soit Q la somme de toutes les charges d'exploitation

$$Q=25.6 \text{ MN}$$

### **Combinaison des charges à l'ELU**

$$N_u=1.35 G+1.5Q$$

$$N_u=1.35 \times 19.36 + 1.5 \times 25.6$$

$$N_u= 64.5 \text{ MN}$$

### **Combinaison des charges à l'ELS**

$$N_{ser}=G+1.5Q$$

$$N_{ser}=19.36 + 25.6$$

$$N_{ser}= 44.9 \text{ MN}$$

### **Vérification de contrainte à l'ELS selon le Fascicule 74**

Calcul de la contrainte de compression dans le béton

$$\sigma_b = \frac{N_{ser}}{2 \times \pi \times R \times e}$$

$$\sigma_b = \frac{44.9}{37 \times 0.3} = 4.05 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 4.05 \text{ MPa}$$

### **Contrainte admissible**

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{130e}{D} \times (f_{c28})^{\frac{1}{3}}; \frac{(e+0.55)}{3} \times f_{c28} \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min \left[ \frac{130 \times 0.3}{11.5} \times (30)^{\frac{1}{3}}; \frac{(0.3+0.55)}{3} \times 30 \right]$$

$$\sigma_{adm} \leq \min [10.53; 8.5]$$

$$\sigma_{adm} = 8.5 \text{ MPa}$$

### **Calcul des armatures**

$\sigma_b \leq \sigma_{adm}$  ; Alors la section d'acier minimale est de 0,25 % de la section du béton par direction (Fascicule 74).

$$A_{S_{min}} = 0,25 \times \frac{100e}{100} = 0,25 \times 30 = 7.5 \text{ cm}^2$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

Cette section d'acier sera répartie sur deux nappes conformément aux prescriptions du fascicule 74.

$$A_{smin}/nappe = \frac{7.5}{2} = 3.75 \text{ cm}^2$$

**Choix des aciers :**

5HA12 espacée 20 cm totalisant 5.65 cm<sup>2</sup>/ml par direction et par face.

Plan de ferrailage : (voir l'annexe 9.10).

Tableau 20:Résultat de dimensionnement de la tour

Tour		
Désignation	unité	valeur
épaisseur	m	0,3
$\sigma_b$	MPa	4.05
$\sigma_{adm}$	MPa	8.5
Ast (théorique)/face/direction	cm <sup>2</sup>	3.75
Ast (pratique)/face/direction	cm <sup>2</sup>	5.65
HA12 espacement de 20 cm par face et par direction		

4.2.4.11 Fondation

La fondation assure la transmission et les répartitions des charges (poids propres, charge d'exploitation etc.) de l'ouvrage sur le sol porteur. La fondation de notre ouvrage est une semelle isolée de forme tronconique

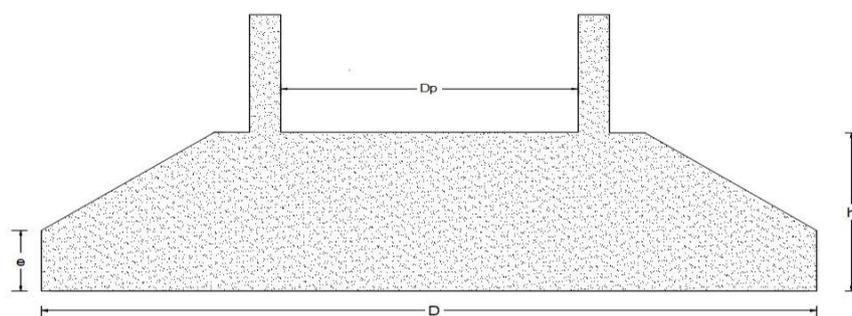
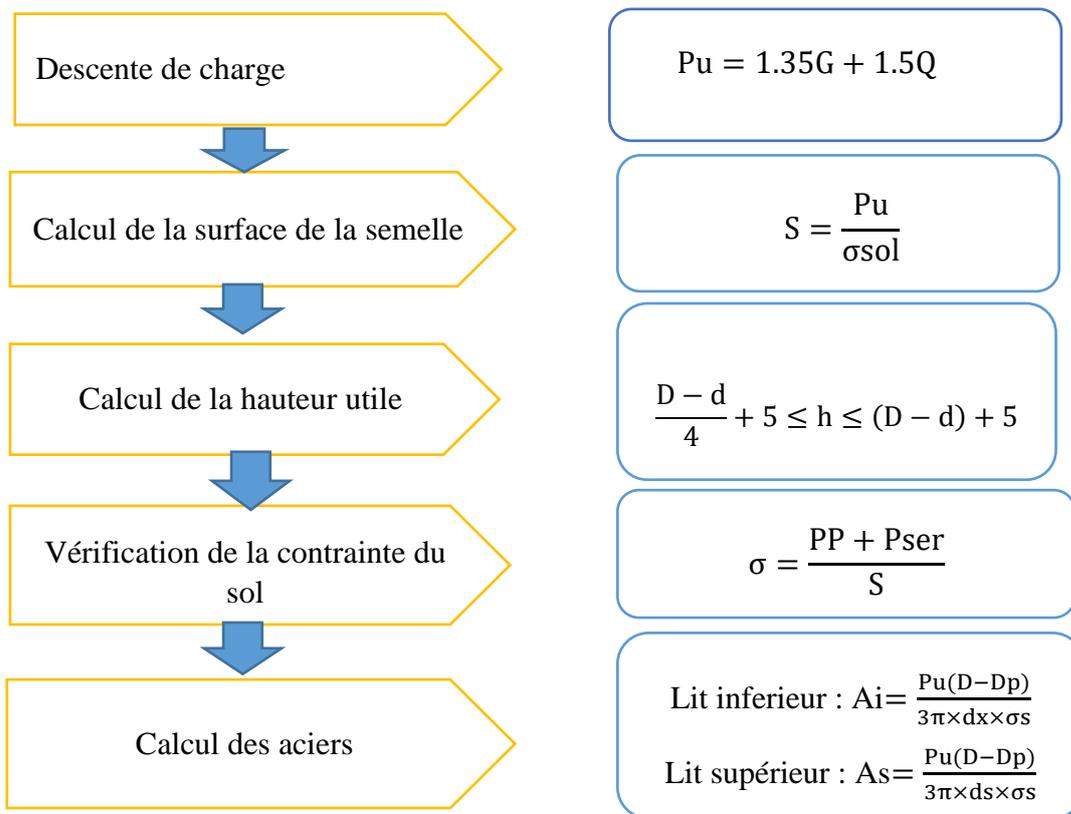


Figure 12: Représentation de la semelle de la fondation

La semelle sera armée par des nappes de barres orthogonales et la méthode de calcul est décrite comme suit :

Figure 13: Diagramme de dimensionnement de la semelle



### Descente de charge

La semelle reçoit toutes les charges provenant de la structure, le calcul des charges permanentes et d'exploitations et les combinaisons des charges ont été déjà effectué au niveau du dimensionnement de la tour, ainsi nous considérons les valeurs suivantes dans la suite du calcul :

#### Charge permanente

$$G = 19.36 \text{ MN}$$

#### Charge d'exploitation

$$Q = 25.6 \text{ MN}$$

#### Combinaison de charge à l'ELS

$$P_{ser} = 44.9 \text{ MN}$$

#### Combinaison de charge à l'ELU

$$P_u = 64.5 \text{ MN}$$

### Prédimensionnement de la semelle

Le rapport géotechnique donne une contrainte du sol de 0.5 MPa à l'ELS

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

La surface de la semelle :  $S = \frac{Pu}{\sigma_{sol}}$

$$S = \frac{64.5}{1.35 \times 0.5} = 95 \text{ m}^2$$

Diamètre de la semelle :  $D = \sqrt{\frac{4 \times S}{\pi}}$  ,  $D = \sqrt{\frac{4 \times 95}{\pi}} = 10.99 \text{ m}$

Nous retenons la valeur du diamètre extérieur de la tour qui doit se reposer sur la semelle à laquelle nous ajoutons un léger débord soit  $D = 13 \text{ m}$

### La hauteur de la semelle

La hauteur h est déterminée à travers la condition de rigidité :

$$\frac{D-dp}{4} + 5 \leq h \leq (D - dp) + 5$$

D : diamètre de la semelle

Dp : diamètre de la tour

$$\left(\frac{130-115}{4}\right) + 5 \leq h \leq (130 - 115) + 5$$

$$43 \leq h \leq 158$$

Soit  $h=150 \text{ cm}$

### Vérification de portance du sol en tenant compte du poids propre de la semelle

$$P_{ser} = PP_{semelle} + G + Q$$

$PP_{semelle} = 25 \times \left( s_1 \times e + \left( \frac{s_1+s_2}{2} \times (h - e) \right) \right)$  avec  $S_1$  : la section à la base et  $S_2$  : la section supérieure

$$PP_{semelle}=4.7 \text{ MN}$$

$$P_{ser}= 4.7+44.9$$

$$P_{ser}= 49.6 \text{ MN}$$

$$\sigma_{sol} = \frac{P_{ser}}{S} \text{ avec } S = \frac{\pi \times D^2}{4} \quad S = \frac{\pi \times 13^2}{4}$$

$$S = 133 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{sol} = \frac{49.6}{133}$$

$$\sigma_{sol}= 0.37 < \sigma_{sol \text{ adm}} = 0.5$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

### Calcul des armatures

La semelle sera armée en deux nappes orthogonales

#### Armatures du lit inférieur

$$A_i = \frac{P_u(D-d_p)}{3 \times \pi \times d_x \times \sigma_s} \quad ; \text{ Avec } d_x \geq \frac{D-d_p}{4} \quad d_x \geq \frac{13-11.5}{4} = 0.38 \quad \text{Soit } d_x=40 \text{ cm}$$

$$A_i = \frac{64.5(13-11.5)}{2 \times 3 \times \pi \times 0.4 \times 434.8} = 296 \text{ cm}^2$$

#### Armatures du lit supérieur

$$A_s = \frac{P_u(D-d_p)}{3 \times \pi \times d_y \times \sigma_s}$$

$d_y = d_x - \phi x = 40 - 2 = 38 \text{ cm}$  ( $\phi x = 2$  en choisissant le même diamètre pour les deux nappes)

$$A_s = \frac{64.5 \times (13-11.5)}{2 \times 3 \times \pi \times 0.38 \times 434.8} = 311 \text{ cm}^2$$

En choisissant de placer deux nappes identiques, on choisit la section d'acier maximale :

$$A_s = 311 \text{ cm}^2$$

#### Choix des aciers

130HA20 pour un espacement de 10 cm totalisant une section d'aciers pratique de 408.2 cm<sup>2</sup> par face et par direction.

#### Calcul du débord

$$e \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 15 \text{ cm} \\ 12\phi + 6 \text{ cm} \end{array} \right.$$

$$e \geq \max \left\{ \begin{array}{l} 15 \text{ cm} \\ 12 \times 2.5 + 6 = 36 \text{ cm} \end{array} \right.$$

Soit  $e=40 \text{ cm}$

Plan de ferrailage :(voir l'annexe 9.11)

Tableau 21:Récapitulatif de dimensionnement de la semelle de fondation

Semelle de fondation		
Désignation	unité	valeur
Diamètre	m	13
Hauteur utile	m	1.50
Débord e	m	0.40
Ast (théorique)	cm <sup>2</sup>	311
Ast (pratique)/face/direction	cm <sup>2</sup>	408.2
130HA20, espacement de 10 cm par face et par direction		

## 4.3 Etude de la stabilité du château d'eau

### 4.3.1 Stabilité au poinçonnement

La stabilité au poinçonnement consiste à vérifier si la contrainte exercée par l'ouvrage est inférieure à la contrainte du sol porteur :  $\sigma_{sol} < \sigma_{adm}$

$$\sigma_{sol} = \frac{4 \times (G + Q + Pp)}{\pi \times D^2}$$

$$\sigma_{sol} = \frac{4 \times (19.36 + 25.6 + 4.7)}{\pi \times 13^2}$$

$$\sigma_{adm} = 0.37 < \sigma_{adm} = 0.5$$

Dans notre cas la condition est vérifiée donc le château d'eau est stable au poinçonnement.

Tableau 22: Résultat de vérification de la stabilité au poinçonnement

vérification de la stabilité au poinçonnement		
Désignation	Unité	valeur
charge permanente G	MN	19.36
Charge d'exploitation Q	MN	25.6
Pp de la semelle	MN	4,73
Surface	m <sup>2</sup>	133
$\sigma_{sol}$	MPa	0,37
$\sigma_{adm}$	MPa	0,5

### 4.3.2 Stabilité au Renversement

Il s'agit de comparer le mouvement dû aux forces déstabilisantes et celui des forces stabilisantes (en considérant le réservoir vide car c'est le cas le plus défavorable).

- La force déstabilisante est : le vent
- La force stabilisante est : le poids propre du château d'eau

Pour que la structure soit stable au renversement, la condition suivante doit être vérifiée :

$$\frac{M_s}{M_r} \geq 1,5$$

**M<sub>s</sub>** : Moment stabilisant en MN.m

**M<sub>r</sub>** : Moment renversant extrême en MN.m

#### Détermination du moment stabilisant M<sub>s</sub>

Ce moment est essentiellement dû au poids propre total de l'ouvrage à vide. Il se détermine par la formule suivante : **M<sub>s</sub> = P<sub>t</sub> × XG**

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

**Pt** : Poids total général de l'ouvrage à vide  $\Rightarrow Pt = P_{\text{cuve}} + P_{\text{Tour}}$

**XG** : bras de levier dû au moment stabilisant  $\Rightarrow XG = \frac{Dp}{2}$  ; Dp : diamètre de la tour à la base

Pt=Q=19.36 MN

$XG = \frac{11.8}{2}$  XG = 5.9m

Ms = 19.36 × 5,9= MN.m

Ms=114.22 MN.m

### **Détermination du moment renversant Mr**

Il est dû à la force résultante dynamique du vent et est donnée par la formule suivante :

$Mr = Q \times YG$

Q : Force résultante dynamique du vent exprimée par la formule de MAYÈRE, 1965:

**$Q = q_{10} \times Ks \times Km \times \sum \delta i \times Ci \times Khi \times Si$**

YG, est le centre de gravité de la force Q,

- **q<sub>10</sub>** : Pression dynamique de base normale à 10 m su sol. Elle est donnée en fonction de la vitesse normale instantanée (pointe de rafale) exprimée en (m/s) par la formule de Bernoulli :  $q_{10} = \frac{V^2}{16,3}$  La vitesse maximale du vent observé à Niamey est égale à 57 nœuds équivalent à environ 30 m/s (DMN, 2016).

$$q_{10} = \frac{30^2}{16,3}$$

$$q_{10} = 55.21 \text{ daN/m}^2$$

- **Ks** : Coefficient de site ; On considère un site normal  $\Rightarrow Ks = 1$
- **Km** : Coefficient dû à l'effet de masque ;  $\Rightarrow Km = 1$
- **Ci** : Coefficient de trainée,
- **δi** : Coefficient dû à l'effet de dimension ou coefficient de réduction des pressions dynamiques ;
- **Si** : Maitre-coupole est la projection orthogonale de la surface considérée ou de l'ensemble de la construction sur un plan normal à la direction du vent ;
- **Kh** : Effet de la hauteur au-dessus du sol, calculé par la formule :  $Kh = 2.5 \times \frac{H+18}{H+60}$

Afin de déterminer la force résultante dynamique Q, la structure sera décomposée en 2 éléments :

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

- ⇒ **Cuve / coupole supérieure** : les deux formeront un seul bloc de forme cylindrique avec les dimensions ci-après : Hauteur H<sub>1</sub> = 10.35 m et Diamètre D<sub>1</sub> = 23.6 m
- ⇒ **Tour** : qui constituera un autre bloc avec Hauteur H<sub>2</sub> = 31.6 m, Diamètre D<sub>2</sub> = 12.2 m

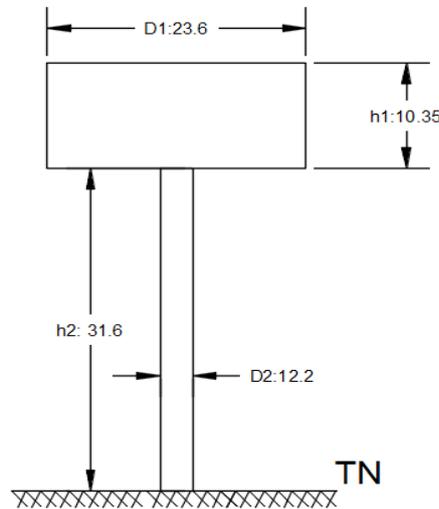


Figure 14: Sections de la structure exposées aux effets du vent

### Calcul de La force résultante du vent Q

Cuve / Coupole supérieure : Q<sub>1</sub>

$$Q_1 = q_{10} \times k_s \times K_m \times \delta_1 \times C_1 \times K_{h1} \times S_1$$

Coefficient dû à l'effet de dimension  $\delta_1$ :

$$\delta_1 = 0.83 \text{ pour } D=23.6 \text{ m (Abaque 1 de l'annexe 6)}$$

Coefficient de hauteur de l'ouvrage  $K_{h1}$

$$K_{h1} = 2.5 \times \frac{H+18}{H+60} \quad \text{avec } H = 31.6 + 10.35 = 43.95 \text{ m}$$

$$K_{h1} = 1.47$$

Coefficient de traînée : C<sub>1</sub>

$$C_1 \text{ est donné par à l'abaque 2 de l'annexe 6 en fonction de } \lambda_1 = \frac{10.35}{23.6} = 0.44$$

$$C_1 = 1.35$$

Maître-coupole: S<sub>1</sub>

$$S_1 = H_1 \times D_1 = 10.35 \times 23.6 = 244.26 \text{ m}^2$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

$$\text{Ainsi, } Q_1 = 55.2 \times 1 \times 1 \times 0.83 \times 1.34 \times 1.47 \times 244.26 = 22846 \text{ daN}$$

$$Q_1 = 0.22846 \text{ MN}$$

La Tour Q<sub>2</sub>

$$Q_2 = q_{10} \times k_s \times k_m \times \delta_2 \times C_2 \times k_{h2} \times S_2$$

Coefficient dû à l'effet de dimension :  $\delta_2$

$$\delta_2 = 0.84 \text{ pour } D = 12.6 \text{ m (Abaque 1 de l'annexe 6)}$$

Coefficient de hauteur de l'ouvrage K<sub>h1</sub>

$$K_{h2} = 2.5 \times \frac{H+18}{H+60} \quad \text{avec } H = 31.6 \text{ m}$$

$$K_{h2} = 1.35$$

Coefficient de trainée :  $C_2$

$$C_2 \text{ est donné à l'abaque 2 de l'annexe 6 fonction de } \lambda_2 = \frac{31.6}{12.2} = 2.63$$

$$C_2 = 1.3$$

Maitre-coupole:  $S_2$

$$S_2 = H_2 \times D_2 = 31.6 \times 12.2 = 385.52 \text{ m}^2$$

$$\text{Ainsi, } Q_2 = 55.2 \times 1 \times 1 \times 0.83 \times 1.3 \times 1.35 \times 385.52 = 30999 \text{ daN}$$

$$Q_2 = 0.31 \text{ MN}$$

$$\text{AN : } Q = 0.228 + 0.31 = 0.839 \text{ MN}$$

$$Q = 0.54 \text{ MN}$$

Calcul de centre de gravité Y<sub>G</sub>,

Le centre de gravité Y<sub>G</sub> de la force Q exprimé en m donnée par la formule :

$$Y_G = \frac{Y_1 \times Q_1 + Y_2 \times Q_2}{Q}$$

$$Y_G = \frac{36.76 \times 0.228 + 15.8 \times 0.31}{0.839}$$

$$Y_G = 24.6 \text{ m}$$

Moment renversant

$$M_r = Q \times Y_G$$

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

$$M_r = 0.54 \times 24.6$$

$$M_r = 13.28 \text{ MN.m}$$

$$\frac{M_s}{M_r} = \frac{114.22}{13.28} = 8.6 \geq 1.5 \text{ Donc la stabilité au renversement est vérifiée.}$$

Tableau 22 : Résultat de la vérification de la stabilité au renversement

vérification de la stabilité au renversement		
Désignation	Unité	valeur
Moment stabilisant Ms		
Pt	MN	19.36
XG	m	5,9
Ms	MN.m	114.22
Moment renversant Mr		
Q	MN	0,54
YG	m	24,6
Mr	MN.m	13.28
$\frac{M_s}{M_r}$	-	8.6

#### 4.4 Analyse Comparative des résultats

Dans cette partie nous allons faire une comparaison entre la norme de chargement utilisée par l'entreprise pour dimensionner l'ouvrage (Eurocodes) avec une autre norme (BAEL 91 modifiée 99), afin de comparer les résultats et ainsi mesurer l'impact du choix d'une méthode de calcul au détriment d'une autre sur le projet. Le calcul de la structure d'un château d'eau est complexe surtout si l'on ne fait pas recours à des logiciels de calcul comme dans la présente situation. Nous limiterons cette étude comparative au niveau des aciers principaux des différents éléments constituant la structure du château d'eau.

Tableau 23 : Comparaison des résultats

ELEMENT	RESULTAT DE L'ENTREPRISE		RESULTAT DE L'ETUDE		COMMENTAIRE
	Quantité du béton(m <sup>3</sup> )	Quantité d'acier (Kg)	Quantité du béton(m <sup>3</sup> )	Quantité d'acier (Kg)	
Coupole supérieure	76	256	21,04	770	la valeur de la section d'aciers de l'entreprise est inférieure à celle de notre étude car la coupole supérieure est supportée par des poutres
Ceinture supérieure	-	-	8,78	2571	coté entreprise on n'a pas de ceinture supérieure car la paroi est uniformisée sur toute la hauteur de la paroi
Cuve cylindrique	119	27 360	103,21	13 233	la valeur de la section d'aciers de l'entreprise est supérieure à celle de notre valeur car la section d'acier à la base est uniformisée sur toute la hauteur de la paroi
Ceinture inférieure	-	-	17,79	8 968	L'entreprise n'as pas prévu une ceinture inférieure donc on aura le ferrailage de la paroi cylindrique
Cuve tronconique	45	41 164	52,55	31 081	la valeur de la section d'aciers de l'entreprise est légèrement supérieure à celle de notre étude
Coupole inférieure	76	77 05	10,83	668	l'entreprise a réalisé une dalle de fond au lieu d'une coupole d'où l'écart entre les valeurs
Ceinture d'appui	-	-	22,15	9572	La ceinture d'appui est noyée dans la dalle de fond coté entreprise
Cheminée	13	456	12,62	747	la valeur de la section d'aciers de l'entreprise est inférieure à celle de notre étude car la cheminée supporte la moitié des charges de la coupole de couverture
Tour	385	3 616	373,67	3 521	la valeur de la section d'aciers de l'entreprise est légèrement supérieure à celle de notre étude
Fondation	258	22 584	137,20	13 093	la valeur de la section d'aciers de l'entreprise est supérieure à celle de notre étude car l'entreprise a opté pour semelle plus grande
Total	972	95 436	760	84 224	

L'analyse comparative nous a permis de mettre en évidence les résultats issus de deux (2) approches. L'approche utilisée par l'entreprise donne des valeurs des sections d'aciers principaux plus grandes comparées à nos valeurs. Cette différence pourrait être due par :

- La différence au niveau des combinaisons à l'ELU et à l'ELS des deux méthodes
- Les charges d'entretiens et les différentes charges sur les planchers et les escaliers considérées par l'entreprise.
- Elle pourrait aussi être due au fait que les calculs ont été faits manuellement tandis que l'entreprise a fait recours à un logiciel de dimensionnement.

## CHAPITRE V : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIALE ET ETUDE FINANCIERE

### 5.1 Etude d'impact environnemental et sociale

#### Introduction

Le Niger accorde une grande importance au développement durable en général et à la protection de l'environnement en particulier. Cette volonté du Niger s'est aussi traduite par l'élaboration et/ou la mise à jour d'un certain nombre d'instruments politiques et juridiques en matière de protection de l'environnement, notamment : le Plan National de l'Environnement pour un Développement Durable, les conventions et textes généraux ; la mise en place et/ou la réorganisation des institutions chargées de définir et d'exécuter les grandes orientations stratégiques et politiques du Niger en matière de protection de l'environnement ; l'élaboration et/ou la modification et la promulgation de textes (lois et règlements), ainsi que la ratification de Conventions internationales y relatives. Ces différentes dispositions institutionnelles et juridiques, constituent désormais le cadre à travers lequel se déploie la politique environnementale du Niger. Par conséquent, tout projet qui souhaite s'implanter au Niger est soumis, en fonction de ses activités, à une autorisation spéciale ainsi qu'à certaines déclarations préalables. Conformément à la loi N°218-28 du 14 mai 2018 déterminant les principes fondamentaux de l'évaluation environnementale du Niger à l'article 16 : " les projets ou les activités dont les impacts sur les milieux biophysique et humain sont facilement identifiables ou limités et dont les moyens d'atténuation sont généralement connus, sont soumis à une étude d'impact environnemental et social simplifié ou notice d'impact environnemental et social", notre projet requiert la réalisation d'une Notice d'Impact Environnemental et Social (NIES). Cette NIES va permettre d'identifier les impacts du projet, aussi bien positifs que négatifs, sur les milieux sensibles tels que le milieu biophysique et le milieu humain et proposer des mesures d'atténuations.

#### 5.1.1 Cadre politique

La protection de l'environnement est une priorité du gouvernement nigérien traduite dans plusieurs documents de politique et programme, indispensables pour assurer les objectifs du développement. Il s'agit entre autres du/de :

- Politique Nationale en matière d'Environnement et du développement Durable adopté par Décret N°2016-522/PRN/ME/DD du 28 septembre 2016.

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

- Plan National de l'Environnement pour un Développement Durable (PNEDD), élaboré en 1998 et qui tient lieu d'Agenda 21 pour le Niger.
- Programme de Renaissance pour le Niger qui inspire la Déclaration de Politique Générale du Gouvernement en vue d'une meilleure gestion stratégique du Développement.
- Plan de Développement Économique et Social (PDES 2017-2021) qui vise à promouvoir le bien-être économique, social et culturel, accélérer la croissance et donner une amélioration sensible aux conditions de vie des populations nigériennes;
- Stratégie de Développement Durable et de Croissance Inclusive (SDDCI Niger 2035) qui pose les principes de base d'un développement durable harmonieux pour les générations présentes et futures du Niger.

En plus du cadre politique, le Gouvernement a mis en place un cadre juridique et des institutions chargées d'exécuter les grandes orientations stratégiques et politiques en matière d'environnement. Cela, en vue de témoigner de son engagement à garantir un environnement sain pour les générations présentes et futures.

### 5.1.2 Cadre juridique

#### **Cadre Juridique international**

Il s'agit des conventions internationales signées et ratifiées par le Niger et qui ont adopté les principes d'évaluation environnementale en vue de prendre en compte les préoccupations environnementales et sociales dans la mise en œuvre des activités, projets et programmes de développement dont nous pouvons citer en exemple : Convention africaine sur la conservation de la nature et des ressources naturelles dite "CONVENTION D'ALGER" en 1970. Cette convention vise, entre autres, objectifs l'adoption des mesures nécessaires pour assurer la conservation, l'utilisation des sols, eaux flore et faune en accord avec les principes scientifiques et à l'égard du meilleur intérêt des peuples.

#### **Cadre juridique national**

Au niveau national, le cadre juridique est consacré par la loi fondamentale et par d'autres textes sectoriels entrant dans le cadre de la protection de l'environnement. Les textes nationaux pouvant s'appliquer au projet sont répertoriés.

Sur le plan de la gestion du sous-secteur de l'hydraulique urbaine, un certain nombre de textes peuvent être énumérés parmi lesquels :

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

---

- La Loi 2010-91 du 23 Décembre 2010 portant réorganisation de l'activité de production de transport et de distribution d'eau potable en milieu urbain et créant la SPEN ;
- La Lettre de Politique Sectorielle de l'hydraulique urbaine du 16/03/2010 définissant les options précises auxquelles a souscrit le Niger ;
- Le Contrat de Performance SPEN–SEEN fixant les indicateurs de performance de l'exploitant, pour garantir un progrès dans le service de l'eau cohérent avec les efforts réalisés sur le patrimoine par la SPEN et l'Etat ;
- Le Règlement de Service de Distribution d'Eau Potable au Niger du 18 juin 2003 définissant les obligations respectives de l'exploitant (SEEN) et des abonnés.

### 5.1.3 Cadre institutionnel

La mise en œuvre de la politique de protection et de préservation des ressources naturelles pour un développement durable est sous la responsabilité de plusieurs acteurs dont le Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable est le chef de file des institutions publiques. Ainsi, les Ministères techniques qui seront concernés par le présent projet sont principalement: Ministre de l'Hydraulique et de l'Assainissement, Ministère de l'Emploi, du Travail et de la Protection Sociale, société de Patrimoine des Eaux du Niger (SPEN), Société d'exploitation des eaux du Niger (SEEN) etc.

### 5.1.4 Identification des impacts du projet

L'identification des impacts tant positifs que négatifs attribuables à la réalisation d'un projet est toujours basée sur l'analyse des effets résultant des interactions entre le milieu récepteur et les équipements à implanter ou les activités à réaliser. Cette analyse permet de mettre en liaison les activités sources d'impact associées au projet et les composantes environnementales des différents milieux susceptibles d'être affectés.

#### ❖ Les Activités sources d'impacts

Les activités sources d'impacts sont définies en fonction des actions prévues selon les différentes phases du projet.

#### **Phase de préparation et construction**

Les activités sources d'impacts au cours de la phase préparation et construction sont :

- ⇒ Préparation de l'emprise de l'ouvrage

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

- ⇒ Transport des équipements, matériaux et fournitures ;
- ⇒ Circulation des engins et véhicules pour les travaux ;
- ⇒ Travaux des fouilles et poses des conduites et équipements hydraulique
- ⇒ Travaux de génie civil pour la construction du réservoir

### Phase d'exploitation

Les activités sources d'impacts au cours de la phase exploitation sont :

- ⇒ Mise en service du château d'eau et approvisionnement en eau pour les populations ;
- ⇒ Entretien du château d'eau (vidange).

Les composantes pouvant être affectées dans le cadre de la réalisation du projet sont données dans le tableau ci-dessous.

Composante	Eléments pouvant être affectés
Biophysique	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sol</li> <li>- Air</li> <li>- Eau</li> <li>- Végétation</li> <li>- Paysage</li> </ul>
Humaine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sécurité</li> <li>- Santé</li> <li>- Ambiance sonore</li> <li>- Mobilité</li> <li>- Revenu des PME</li> <li>- Revenus et cadre de vie de la population</li> </ul>

### ❖ Matrice d'identification des impacts

L'identification des impacts a été faite à partir de la Matrice Descriptive (voir tableau 1 de l'annexe 7) qui met en phase les activités qui s'exécutent avec les composantes du milieu (composantes biophysique, socioéconomique et culturelle). Le croisement des deux paramètres permet de dégager l'impact lié à l'activité sur la composante de l'environnement considérée

#### 5.1.5 Evaluation et mesures d'atténuation et/ou de bonification des impacts

L'évaluation de la signification des impacts est le résultat de l'interaction de l'intensité, de la durée et de l'étendue des modifications (positives ou négatives) apportées aux éléments

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

significatifs du milieu en utilisant la Grille Fecteau (1997). Pour atténuer ces impacts sur les éléments de l'environnement biophysique et humain, des mesures ont été proposées. Le tableau 2 de l'annexe 7 donne la synthèse.

#### 5.1.6 Plan de gestion environnementale et sociale

Le plan de gestion environnementale et sociale (PGES) est un cadre de gestion des activités pour une mise en œuvre efficace et efficiente des différentes mesures proposées pour une intégration effective des préoccupations environnementales et sociales. Il décrit les mesures requises pour prévenir, minimiser, atténuer ou compenser les impacts environnementaux et sociaux négatifs ou pour accroître les impacts positifs. Il consiste à faire respecter les engagements environnementaux du projet et contribuera à renforcer de façon effective sa contribution au développement socio-économique durable des populations bénéficiaires. Le coût global de mise en œuvre du PGES est estimé à Onze millions huit cent mille (11 800 000) FCFA comme le montre le tableau qui suit :

Tableau 24: Estimation du coût du PGES

<b>Rubriques</b>	<b>Coût</b>
Programme d'atténuation et/ou de bonification des impacts	5 300 000
Programme de surveillance environnementale	PM
Programme de suivi environnemental	1 000 000
Programme de renforcement des capacités des acteurs	5 500 000
<b>Total</b>	<b>11 800 000</b>

#### Conclusion

Malgré les impacts positifs attendus du projet, ce dernier présente des impacts négatifs. Ainsi, au cours de la phase préparation et construction, le projet provoquera la perturbation de la structure des sols avec des risques d'érosion. Il engendrera la destruction de la végétation, l'altération de la qualité de l'air, la perturbation de la mobilité et des infrastructures, les risques des blessures et d'accidents, etc. Au cours de son exploitation, l'impact qui sera généré concerne particulièrement le gaspillage des eaux. Pour atténuer les impacts négatifs et optimiser les impacts positifs, des mesures ont été prévues en fonction des différentes phases du projet. Ces mesures sont évaluées à Onze millions huit cent mille FCFA.

## 5.2 Etude financière

L'évaluation du coût du projet est un exercice délicat qui consiste à calculer les quantités élémentaire qui rentrent dans la construction de l'ouvrage, les prix unitaires des matériaux et enfin l'application du prix unitaire aux quantités des matériaux. Pour avoir le coût total du projet on ajoute le coût d'étude du projet et le coût du plan de gestion environnementale et sociale .Ce coût est important à savoir par le maitre de l'ouvrage afin de prévoir l'enveloppe pour la réalisation des travaux.

Des couts forfaitaires ont été attribués aux différents travaux d'exécution en tenant compte de leurs durées et les ressources humaines et matériels mobilisés et une marche de 10 % a été appliquée pour les éventuelles fluctuations des prix des matériaux sur le marché ou en cas d'avenant. Dans le cadre de notre projet, le coût de la réalisation de l'ouvrage s'élève à la somme un milliard huit millions huit cent quatre-vingt-quatorze mille six cent quarante-six CFA (1 008 894 646 F CFA TTC).

Le tableau du métré et du résultat de d'évaluation du coût total du projet est donné à l'annexe 8.

## CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Cette étude menée dans le cadre du projet d'extension et de renforcement du système d'alimentation de la ville de Niamey a permis d'évaluer la consommation de la population installée dans les quartiers périphériques. qui ne cesse de croître et de dimensionnement un ouvrage de stockage qui respecte les normes techniques de construction .Le dimensionnement de ses éléments , de lanterneau jusqu'à la fondation a permis d'avoir un ouvrage qui est durable et stable vis à vis aux sollicitations internes et externes .lors du choix de la section d'acier l'accent a été mis sur l'aspect pratique pour faciliter la mise en œuvre du ferrailage . Ce projet améliorera sans nul doute les conditions de vie des populations concernées. Malgré les impacts positifs attendus du projet, il est porteur d'enjeux environnementaux et sociaux négatifs, des mesures ont été proposées pour atténuer les impacts négatifs du projet sur le milieu humain et biophysique. Le résultat de l'étude a permis également de disposer d'un programme de dimensionnement et d'un plan d'exécution qui servira de comparaison pour l'entreprise. Au terme de notre étude, il ressort 84 tonnes d'aciers et 760 m<sup>3</sup> de béton nécessaires en termes de matériaux pour la réalisation des travaux. Et le coût global de la construction du château d'eau est estimé à d'un milliard huit millions huit cent quatre-vingt-quatorze mille six cent quarante-six CFA (1 008 894 646 F CFA TTC)

Ainsi, quelques recommandations peuvent être formulées et il s'agit de :

- veiller à la maintenance et au contrôle régulier de cet ouvrage pour une bonne durabilité surtout les fuites si elles ne sont pas réparées à temps peuvent conduire à la ruine de l'ouvrage ;
- Mettre en œuvre la deuxième phase du schéma directeur de l'alimentation en eau potable de la ville de Niamey car le réseau actuel sera saturé aussitôt que les travaux seront achevés du fait du retard accusé dans le commencement des travaux ;
- veiller à l'application du plan de gestion environnementale et sociale (PGES) pour que sa mise en œuvre et son exploitation se fasse dans le strict respect de l'environnement biophysique et humain.

## Bibliographie

**INSTITUT NATIONAL DE LA STATISTIQUE**, Annuaire statistique régionale de Niamey 2013-2017 ;

**FASCICULE 74. (1998).** CONSTRUCTION DES RÉSERVOIRS EN BÉTON, Cahier des clauses techniques générales ;

**GUERRIN, A., & LAVAU, R. C. (1993).** TRAITE DE BETON ARME TOME VI : Réservoirs - Châteaux d'eau - Piscines. Deuxième Edition DUNOD ;

**THONIER IV, H. (1996).** Conception et calcul des structures de bâtiment Tome III. Paris: Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ;

**THONIER VI, H. (1999).** Conception et calcul des structures de bâtiment Tome V. Paris: Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées ;

**Jean-Pierre Mougin.** "Béton Armé BAEL 91 Modifié 99 et D.T.U Associés." EYROLLES.

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

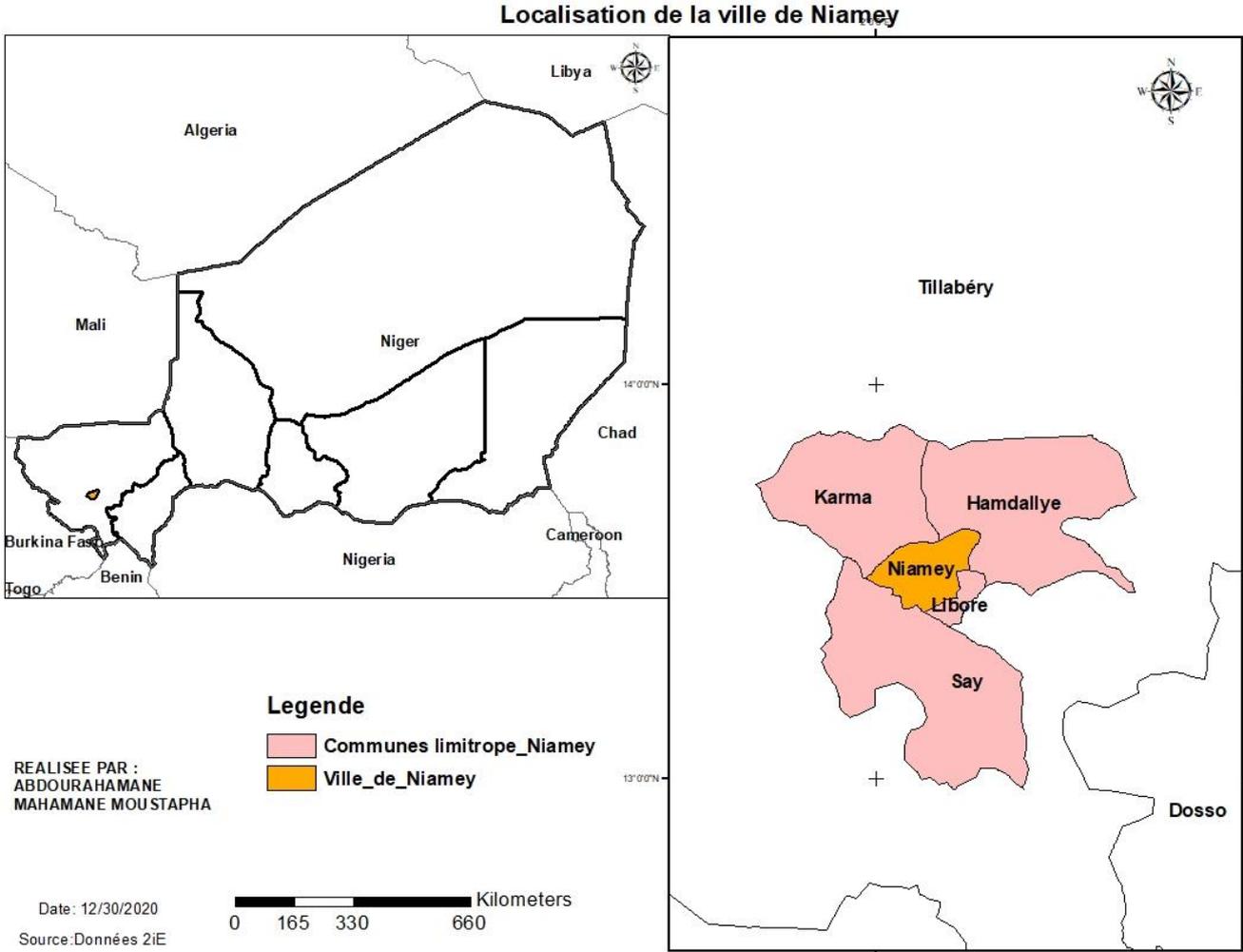
---

## ANNEXES

### Liste des Annexes

ANNEXE 1: Zone d'impact du projet .....	75
ANNEXE 2: Tableau donnant des coefficients $\mu_x$ et $\mu_y$ issus des Abaques de PIGEAUD .....	76
ANNEXE 3: Tableau de choix des sections d'acier conformément aux règles BAEL 91 .....	77
ANNEXE 4: Formules de calcul de voile extraites de Henry THONIER Tome III .....	78
ANNEXE 5: Formules de calcul de la coupole et de la tour extraites de Henry THONIER Tome V .....	80
ANNEXE 6: Abaques pour la détermination des coefficients de pression dynamique et de trainé .....	81
ANNEXE 7: Etude d'impact environnemental et sociale .....	81
ANNEXE 8: Etude des coûts .....	85
ANNEXE 9: Plan d'exécution .....	88

ANNEXE 1: Carte de la ville de Niamey



Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

ANNEXE 2: Tableau donnant des coefficients  $\mu_x$  et  $\mu_y$  issus des Abaqués de PIGEAUD

$\alpha = \frac{I_x}{I_y}$	Coefficient de POISSON $\gamma = 0$	
	$\mu_x = \frac{M_x}{p \cdot I_x^2}$	$\mu_y = \frac{M_y}{M_x}$
0,40	0,110	
0,45	0,102	
0,50	0,095	
0,55	0,088	
0,60	0,081	0,305
0,65	0,0745	0,369
0,70	0,068	0,436
0,75	0,062	0,509
0,80	0,056	0,595
0,85	0,051	0,685
0,90	0,046	0,778
0,95	0,041	0,887
1,00	0,037	1,000

:

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

ANNEXE 3: Tableau de choix des sections d'acier conformément aux règles BAEL 91

Diamètres	Masse Kg/m	Sections totales d'acier en cm <sup>2</sup>									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HA 6	0,222	0,28	0,57	0,85	1,13	1,41	1,70	1,98	2,26	2,54	2,83
HA 8	0,395	0,50	1,01	1,51	2,01	2,51	3,02	3,52	4,02	4,52	5,03
HA 10	0,617	0,79	1,57	2,36	3,14	3,93	4,71	5,50	6,28	7,07	7,85
HA 12	0,888	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,79	7,92	9,05	10,18	11,31
HA 14	1,210	1,54	3,08	4,62	6,16	7,70	9,24	10,78	12,31	13,85	15,39
HA 16	1,580	2,01	4,02	6,03	8,04	10,05	12,06	14,07	16,08	18,10	20,11
HA 20	2,466	3,14	6,28	9,42	12,57	15,71	18,85	21,99	25,13	28,27	31,42
HA 25	3,850	4,91	9,82	14,73	19,63	24,54	29,45	34,36	39,27	44,18	49,09
HA 32	6,313	8,04	16,08	24,13	32,17	40,21	48,25	56,30	64,34	72,38	80,42
HA 40	9,864	12,57	25,13	37,70	50,26	62,83	75,40	87,96	100,53	113,09	125,66

ANNEXE 4: Formules de calcul de voile extraites de Henry THONIER Tome III

## 4. RÉSISTANCE DES VOILES

### 4.1. Conditions d'application

- longueur du voile  $\geq 5$  fois son épaisseur ;
- épaisseur  $\geq 0,10$  m ;
- élancement mécanique  $\lambda = \frac{L_f}{i} \leq 80$  ;
- excentricité initiale de construction = Min [0,02 m ;  $L_f/300$ ]  
avec  $L_f$  = longueur du flambement (voir en 4.2 ci-après) ;
- résistance caractéristique du béton  $f_{c28} \leq 40$  MPa.

Sinon, on effectuera les calculs suivant les Règles BAEL avec prise en compte des effets du deuxième ordre et application d'un coefficient minorateur de 2/3 pour la charge ultime résistante des voiles en béton non armé.

Les murs enterrés sont hors champ d'application, sauf si :

- le béton est toujours comprimé,
- ou s'il y a des tractions, en ELS en section homogène, inférieures à  $f_{t28}$ , pas de reprise de bétonnage et une hauteur de terre inférieure à 2,50 m.

### 4.2. Longueur de flambement $L_f$

#### 4.2.1. Voiles non raidis latéralement

À défaut d'appliquer les méthodes de calcul de la Résistance des Matériaux (voir chapitre 8, article 2.7), on pourra retenir les valeurs suivantes en fonction de la hauteur libre  $L$  du voile entre nus de plancher :

$L_f / L$	Voile armé verticalement	Voile non armé verticalement
Voile encastré en tête et en pied : — avec un plancher de part et d'autre — avec un plancher d'un seul côté	0,80	0,85
	0,85	0,90
Mur articulé en tête et en pied	1,00	1,00

	Notation	Unités	Voile armé verticalement	Voile non armé verticalement
Élancement	$\lambda$	m	$\frac{L_r \sqrt{12}}{a}$	
Section réduite	$B_r$	m <sup>2</sup>	$d(a - 0,02)$	
Coefficient $\alpha$ : — pour $\lambda \leq 50$	$\alpha$		$\frac{0,85}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2}$	$\frac{0,65}{1 + 0,2 \left(\frac{\lambda}{30}\right)^2}$
— pour $50 \leq \lambda < 80$			$0,6 \left(\frac{50}{\lambda}\right)^2$	
Effort limite ELU	$N_{ulim}$		$\alpha \left[ \frac{B_r f_{c28}}{0,9 \gamma_b} + \frac{A_s f_e}{\gamma_s} \right]$	$\frac{\alpha B_r f_{c28}}{0,9 \gamma_b}$

Nota : Si moins de la moitié des charges est appliquée à plus de 90 jours, mais la majeure partie après 28 jours, diviser  $\alpha$  par 1,10.  
Si la majeure partie des charges est appliquée avant 28 jours : diviser  $\alpha$  par 1,20 et remplacer  $f_{c28}$  par  $f_{cr}$ .

La contrainte limite ultime vaut :  $\sigma_{ulim} = \frac{N_{ulim}}{ad}$  que nous appellerons  $\sigma_{abv}$  ou  $\sigma_{bv}$  suivant que le béton est non armé ou armé.

#### 4.5. Aciers minimaux

L'épaisseur du voile est désignée par la lettre  $a$ .

	Aciers verticaux	Aciers horizontaux
Espacement maximal entre axes en complément du § 3 ci-dessus	$\leq 0,33 \text{ m}$ $\leq 2a$	$\leq 0,33 \text{ m}$
Acier minimal	$A_{sv} \geq \rho_v da$	
Pourcentage minimal	$\rho_v = \text{Max} \left[ 0,001 ; 0,0015 \frac{400\theta}{f_s} \left( \frac{3\sigma_u}{\sigma_{ulim}} - 1 \right) \right]$ avec $\theta = 1,4$ pour un voile de rive $\theta = 1$ pour un voile intermédiaire par moitié sur chaque face	$\text{Max} \left[ \frac{2\rho_{vmax}}{3} ; 0,001 \right]$ $\rho_{vmax}$ = le pourcentage vertical de la bande la plus armée

## 2.8. Coupoles

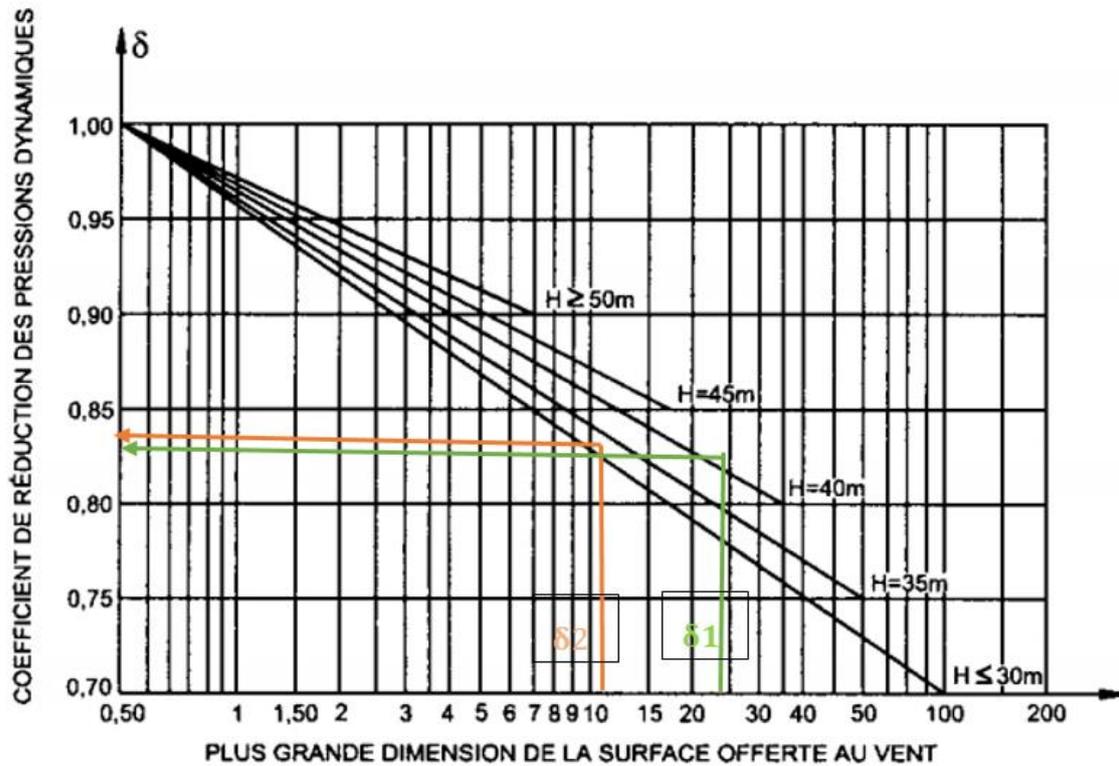
	Coupole de couverture	Coupole de fond de réservoir
Flèche pour une ouverture D	$f \geq \frac{D}{10}$	$f \geq \frac{D}{8}$
Épaisseur	$h_0 \geq 0,08 \text{ m}$	$h_0 \geq 0,15 \text{ m}$
Pourcentage d'acier dans chaque direction $\frac{A_s}{b d}$	$\geq 0,20 \%$	$\geq 0,30 \%$

## 2.7. Support des réservoirs surélevés (tours)

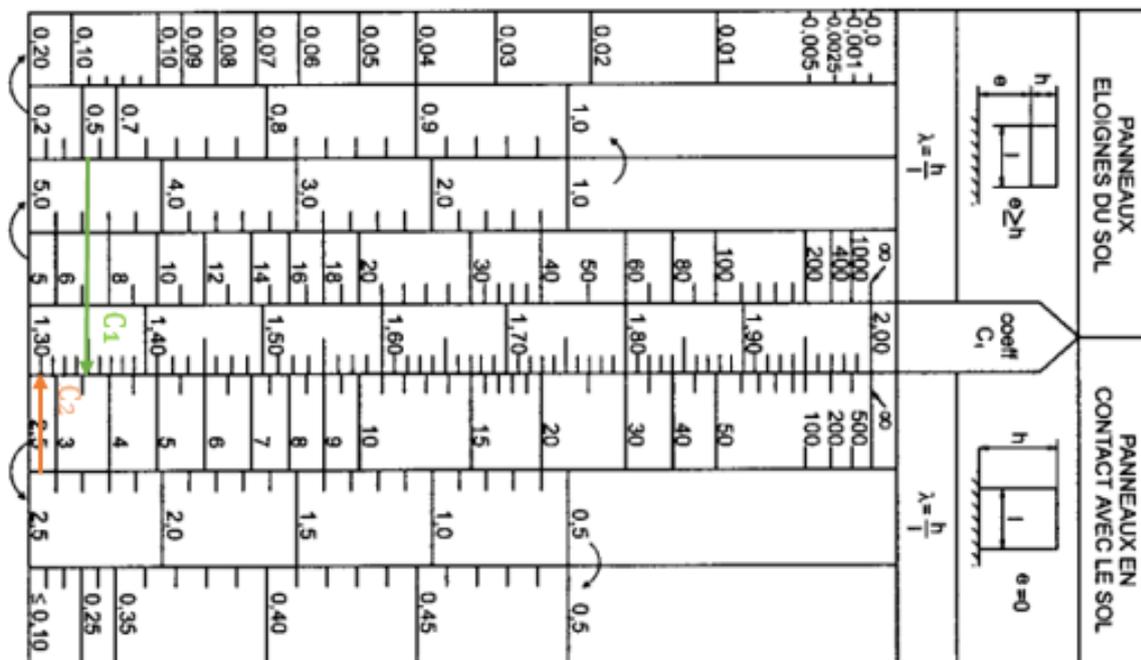
a) Fissuration préjudiciable ou très préjudiciable	A définir dans le CCTP											
b) Contrainte de compression du béton(ELS)	$\sigma_b \leq \frac{h_0 + 0,55}{3} f_{c28}$ $\sigma_b \leq \frac{130 h_0}{D} \sqrt[3]{f_{c28}} \text{ MPa}$ <p>D = diamètre de la tour support au niveau considéré h<sub>0</sub> = épaisseur de la paroi</p>											
c) Moment d'ovalisation dû au vent	$M = K q \delta D^2$ <p>q = pression du vent D = diamètre de la tour support au niveau considéré δ = coefficient de dimension NV65 K = coefficient numérique γ<sub>0</sub> = coefficient de forme NV65</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Valeurs de K</th> <th>γ<sub>0</sub> = 1</th> <th>γ<sub>0</sub> = 1,3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Fibres tendues</td> <td>Extérieures</td> <td>0,053</td> <td>0,064</td> </tr> <tr> <td>Intérieures</td> <td>0,061</td> <td>0,071</td> </tr> </tbody> </table>	Valeurs de K		γ <sub>0</sub> = 1	γ <sub>0</sub> = 1,3	Fibres tendues	Extérieures	0,053	0,064	Intérieures	0,061	0,071
Valeurs de K		γ <sub>0</sub> = 1	γ <sub>0</sub> = 1,3									
Fibres tendues	Extérieures	0,053	0,064									
	Intérieures	0,061	0,071									
d) Épaisseur	$h_0 \geq 0,12 \text{ m}$ (0,15 pour coffrages glissants)											
e) Quantités limites d'armatures	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th><math>\frac{A_s}{b d}</math></th> <th>Sens vertical</th> <th>Sens horizontal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>minimum</td> <td>0,25 %</td> <td>0,25 %</td> </tr> <tr> <td>maximum (1)</td> <td>2,0 %</td> <td>1,5 %</td> </tr> </tbody> </table> <p>(1) 1,5 fois cette limite au droit des ouvertures</p>	$\frac{A_s}{b d}$	Sens vertical	Sens horizontal	minimum	0,25 %	0,25 %	maximum (1)	2,0 %	1,5 %		
$\frac{A_s}{b d}$	Sens vertical	Sens horizontal										
minimum	0,25 %	0,25 %										
maximum (1)	2,0 %	1,5 %										
f) Diamètres et espacements des aciers	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>Fissuration</th> <th>préjudiciable</th> <th>très préjudiciable</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>∅ ≥</td> <td>6</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>s ≤</td> <td>0,25 m et 2 h<sub>0</sub></td> <td>0,20 m et 1,5 h<sub>0</sub></td> </tr> </tbody> </table>	Fissuration	préjudiciable	très préjudiciable	∅ ≥	6	8	s ≤	0,25 m et 2 h <sub>0</sub>	0,20 m et 1,5 h <sub>0</sub>		
Fissuration	préjudiciable	très préjudiciable										
∅ ≥	6	8										
s ≤	0,25 m et 2 h <sub>0</sub>	0,20 m et 1,5 h <sub>0</sub>										

ANNEXE 6: Abaqués pour la détermination des coefficients de pression dynamique et de trainé

Abaque 1 : Coefficient de réduction des pressions dynamiques  $\delta_i$



Abaque 2 : détermination de coefficient de trainé  $c_i$



ANNEXE 7: Etude d'impact environnemental et sociale

**Tableau de Matrice descriptive**

Phases	Activités sources d'impacts	Composantes										
		Biophysiques					Humaines					
		sols	Air	Végétation	Paysage	Eau	Santé	Sécurité	Ambiance sonore	Mobilité	Revenus des PME	Revenus et cadre de vie de la population
<b>Préparation et construction</b>	Préparation de l'emprise de l'ouvrage	-	-	-	-	0	0	-	-	-	+	-
	Transport des équipements, matériaux et fournitures	-	-	-	0	0	0	-	-	-	+	0
	Circulation des engins et véhicules pour les travaux	-	-	-	0	0	-	-	-	-	0	0
	Travaux des fouilles et poses des conduites et équipements hydrauliques	-	-	-	-	0	-	-	-	-	+	+
	Travaux de génie civil	-	-	-	-	-	-	-	0	0	+	0
<b>Exploitation</b>	Mise en service du château d'eau et approvisionnement en eau pour les populations	-	-	0	0	-	+	0	0	0	0	+
	Entretien du château d'eau (vidange).	-	0	0	0	-	-	0	0	0	+	+

- : impact négatif    + : impact positif    0 : impact nul

Tableau d'Evaluation et des mesures d'atténuation des impacts

Phases	Elements impactés	Impacts	Intensité	Etendue	Durée	Importance	Mesures d'atténuation et ou de bonification
Construction	Sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Perturbation de la structure des sols</li> <li>➤ Pollution par les déchets solides et liquides</li> </ul>	Forte	locale	Courte	moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ remettre à l'état toute dégradation de la structure du sol au fur et à mesure de l'avancement des travaux ;</li> <li>➤ Mettre en place un système de gestion des déchets sur le chantier ;</li> <li>➤ Récupérer et éviter les pertes d'huiles usagées de manière à minimiser leur impact sur le sol.</li> </ul>
	Air	Altération de la qualité de l'air (soulèvement de la poussière) lors des travaux, et les émanations gazeuses des pots d'échappement des engins et véhicules	Moyenne	Locale	Courte	moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Procéder à l'arrosage régulier du site;</li> <li>➤ Contrôler et entretenir régulièrement les engins et véhicules de chantier ;</li> </ul>
	Eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Utilisation de l'eau pour les besoins des travaux;</li> </ul>	Faible	locale	Courte	Mineure	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sensibiliser les agents de chantier en vue d'utiliser de manière rationnelle l'eau lors des différents travaux ;</li> </ul>
	Paysage	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ dépôt des matériaux et matériel sur les chantiers ;</li> <li>➤ Fouille pour recevoir la fondation ;</li> <li>➤ Dépôt de poussière aux alentours du site (voie d'accès)</li> </ul>	Faible	locale	Courte	Mineure	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Ramasser les équipements après les travaux pour éviter d'incommoder la qualité visuelle et obstruer le passage</li> <li>➤ fermer au fur et à mesure les fouilles</li> <li>➤ Arroser régulièrement les sites des travaux pour minimiser le soulèvement de la poussière.</li> </ul>

Phases	Eléments impactés	Impacts	Intensité	Etendue	Durée	Importance	Mesures d'atténuation et ou de bonification
Construction	Végétation	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Destruction de la flore (coupe d'arbres et d'arbustes)</li> </ul>	Forte	Ponctuelle	longue	moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Impliquer les services techniques de l'environnement dans l'inventaire, le marquage et l'abattage des arbres qui ne peuvent pas être épargnés ;</li> <li>➤ Réaliser les plantations de compensation</li> </ul>
	Santé	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ maladies respiratoires du fait du soulèvement de la poussière</li> <li>➤ Risque d'accidents du fait des déplacements des véhicules et engins pour la population vivant à proximité du site.</li> </ul>	Forte	Locale	Courte	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Procéder à l'arrosage du Site (voie d'accès) lors des travaux ;</li> <li>➤ Placer des signaux d'indication des travaux à l'aide de panneaux et ruban de sécurité.</li> </ul>
	Sécurité	<p>Risques des blessures et d'accidents (chutes des échafaudages, blessures par des outils de travail)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Accident dû à la circulation des engins et véhicules</li> </ul>	Forte	Locale	Courte	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sensibiliser les travailleurs sur les risques liés à l'accident sur les chantiers ;</li> <li>➤ Doter les travailleurs en équipements de protection individuelle</li> <li>➤ Placer, partout où c'est nécessaire, des indications des travaux (panneaux, rubans de sécurité etc.)</li> </ul>
	Ambiance sonore	Modification de l'ambiance sonore (gêne pour les travailleurs, les populations riveraines du fait de la circulation des engins et véhicules de chantier)	Moyenne	ponctuelle	Courte	Mineure	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Utiliser des engins et véhicules en bon état de marche ;</li> <li>➤ Utiliser, pour les besoins des travaux, un groupe électrogène insonorisé.</li> </ul>

Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du Système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

Phases	Eléments impactés	Impacts	Intensité	Etendue	Durée	Importance	Mesures d'atténuation et ou de bonification
Construction	revenus des PME et des populations	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Opportunités de sous-traitance pour les PME;</li> <li>➤ Création d'emploi pour la population</li> <li>➤ Valorisation des petits commerces</li> </ul>	Forte	locale	longue	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sous-traitance avec les PME locales ;</li> <li>➤ Recrutement de la main d'œuvre non qualifiée au niveau local lors des travaux ;</li> </ul>
Exploitation	Eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Réduction du potentiel en eau disponible</li> </ul>	Faible	Locale	Longue	Moyenne	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Eviter tout gaspillage de l'eau.</li> </ul>
	Revenus des PME et des populations	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Amélioration des revenus des PME et des populations (sous-traitance, emploi de main d'œuvre, disponibilité en eau potable...)</li> </ul>	Forte	régionale	longue	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Sous-traiter avec les PME locales en cas d'entretien des ouvrages ;</li> <li>➤ Recruter la main d'œuvre locale pour les besoins des travaux.</li> </ul>
	Conditions de vie des populations	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ L'amélioration des conditions d'accès à l'eau ; La réduction voire la disparition des phénomènes de coupures d'eau</li> <li>➤ L'amélioration des conditions d'hygiène et de santé.</li> </ul>	Forte	locale	Longue	Majeure	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Entretien des ouvrages;</li> <li>➤ Contrôle permanent de la qualité de l'eau</li> </ul>

ANNEXE 8:Etude des coûts

Tableau du métré pour le béton

Désignation		Dimensions				Unité	Quantité
		Diamètre	Rayon inf	Epaisseur	Hauteur		
Lanterneau	dalle	2,2	1,1	0,12		m <sup>3</sup>	0,46
	voile	1,8	0,9	0,12	0,6	m <sup>3</sup>	0,68
		Rayon	Fleche	Epaisseur	Surface		
Coupole Supérieure		11,5	2,3	0,12	165,88	m <sup>3</sup>	19,91
Coupole inférieure		5,9	1,5	0,2	54,17	m <sup>3</sup>	10,83
		b	h	Rayon moyen	Longueur		
Ceinture Supérieure		0,3	0,4	11,65	73,20	m <sup>3</sup>	8,78
Ceinture inférieure		0,6	0,4	11,80	74,14	m <sup>3</sup>	17,79
Ceinture d'appui		0,5	0,6	11,75	73,83	m <sup>3</sup>	22,15
Cuve cylindrique		0,3	4,7	11,65	73,20	m <sup>3</sup>	103,21
Cheminée		0,3	6,4	1,05	6,60	m <sup>3</sup>	12,62
Tour		0,3	33,6	5,90	37,07	m <sup>3</sup>	373,67
		Rayon sup	Rayon inf	Hauteur	Epaisseur		
Cuve tronconique		11,50	5,90	3,15	0,30		52,55
fondation		6,1	6,5	1,50	0,40	m <sup>3</sup>	137,20
		Diamètre	Rayon inf	Epaisseur	Surface		
Béton de propreté		13	6,5	0,10	132,73	m <sup>3</sup>	13,27

Tableau du métré pour l'acier

Désignation		Nature	Armature	Poids(Kg/m)	Nombre/ml	long unité(m)	long totale(m)	Masse (Kg)
Lanterneau	dalle	cerces	HA10	0,617	5	-	95	59
		répartitions	HA10	0,617	5	-	19	12
	voile	cerces	HA10	0,617	5	5,7	17	10
		répartitions	HA10	0,617	5	0,6	17	10
Coupole supérieure		cerces	HA10	0,617	5	-	829	512
		répartitions	HA10	0,617	5	-	271	167
Ceinture supérieure		principaux	HA25	3,85	8	73,2	586	2255
		Cadres	HA10	0,617	5	1,4	512	316
Cuve Cylindrique		cerces	HA16	1,58	10	73,2	1464	2313
			HA12	0,888	10	73,2	5417	4810
		verticaux	HA12	0,888	10	4,7	6881	6110
Ceinture inférieure		principaux	HA32	6,313	18	73,2	1318	8318
		Cadres	HA12	0,888	5	2,0	732	650
Cuve tronconique		cerces	HA25	3,85	10	55	7238	27867
		verticaux	HA12	0,888	5	6,62	3619	3214
Coupole inférieure		cerces	HA10	0,617	5	-	542	334
		répartitions	HA10	0,617	5	-	542	334
Cheminée		cerces	HA12	0,888	5	6,6	421	373
		verticaux	HA12	0,888	5	6,4	421	373
Ceinture d'appui		principaux	HA16	1,58	8	73,83	591	933
		Cadres	HA8	0,395	5	2,2	812	321
Tour		cerces	HA12	0,888	5	5,90	1982	1760
		verticaux	HA12	0,888	5	33,6	1982	1760
Fondation		principaux	HA20	2,466	10	-	2655	6546
		répartitions	HA20	2,466	10	-	2655	6546

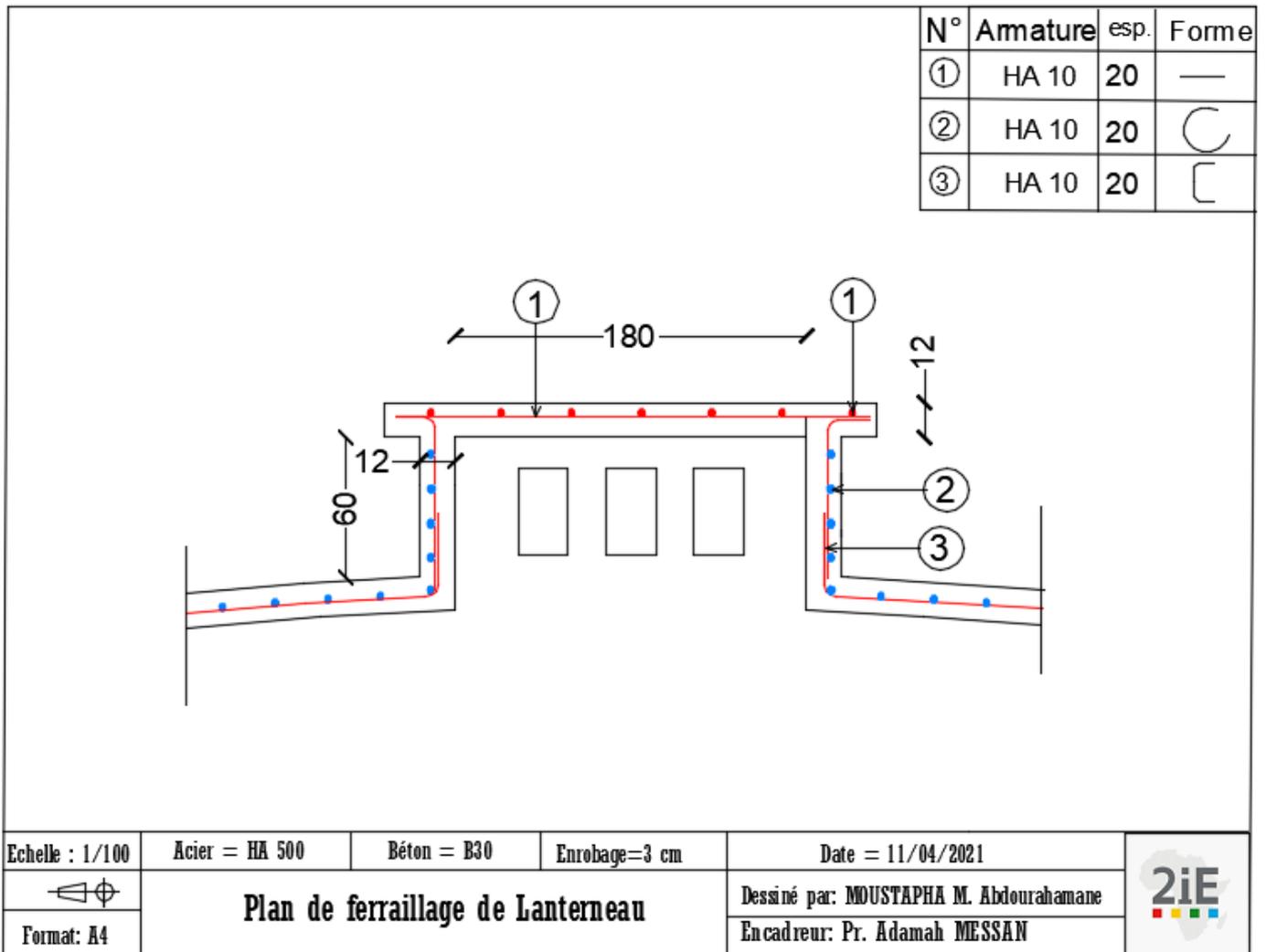
Etude technique d'un château d'eau en béton armé de 2500 m<sup>3</sup> (R17) dans le cadre du projet de renforcement et d'extension du Système d'alimentation en eau potable de la Ville de Niamey (Niger).

Tableau du coût estimatif

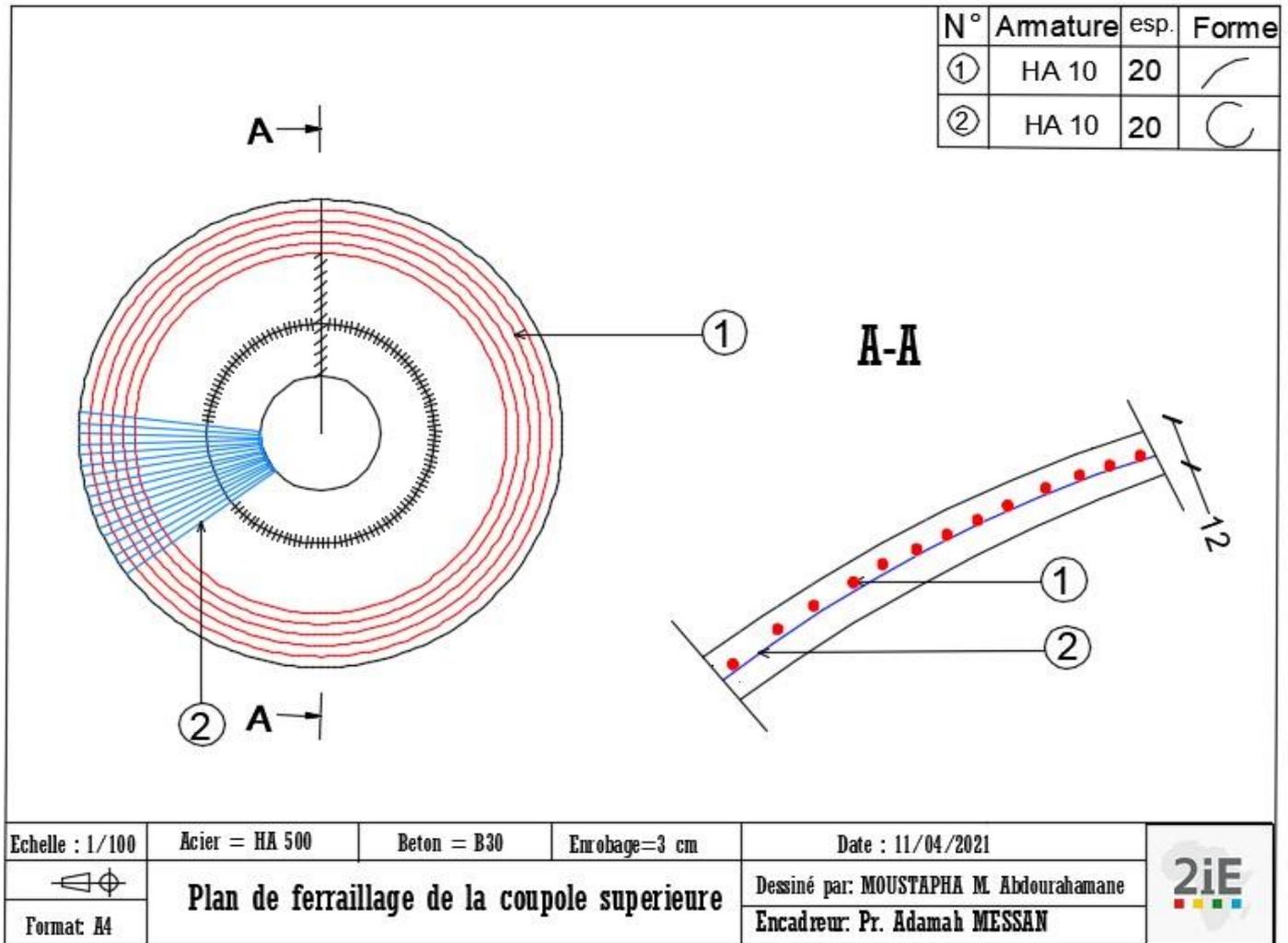
N°	Désignation	Unité	Quantité	Prix Unitaire (FCFA)	Prix Total(FCFA)
I	<b>ETUDES ET TRAVEAUX PREPARATOIRS</b>				
1.1	Études du projet	ENS	1	100 000 000	100 000 000
1.2	Etude d'impact environnementale sociale	ENS	1	50 000 000	50 000 000
1.3	Installation et repli de chantier	ENS	1	150 000 000	150 000 000
1.4	Travaux de terrassement	ENS	1	50 000 000	50 000 000
1.5	PGES	ENS	1	11 800 000	11 800 000
<b>SOUS TOTAL 1</b>					<b>361 800 000</b>
II	<b>BETON</b>				
2.1	Béton pour le lanterneau dosé à 350Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	1	183 750	208 509
2.2	Béton pour la coupole Supérieure dosé à 350Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	20	183 750	3 657 762
2.3	Béton pour la coupole inferieure dosé à 350Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	11	183 750	1 990 765
2.4	Béton pour la ceinture supérieure dosée à 350 Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	9	183 750	1 614 040
2.5	Béton pour la ceinture inferieure dosée à 350 Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	18	183 750	3 269 644
2.6	Béton pour la ceinture d'appui dosée à 350 Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	22	183 750	4 069 737
2.7	Béton pour la cuve cylindrique 350Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	103	183 750	18 964 974
2.8	Béton pour la cuve tronconique 350Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	53	183 750	9 655 667
2.9	Béton pour la cheminée 350Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	13	183 750	2 318 451
2.10	Béton pour la tour dosé à 350Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	374	183 750	68 662 523
2.11	Béton pour la fondation dosé à 350Kg/ m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	137	183 750	25 211 395
2.12	Béton de propreté dosé à 150Kg/m <sup>3</sup> pour semelle	m <sup>3</sup>	13	125 000	1 659 154
<b>SOUS TOTAL 2</b>					<b>141 282 622</b>
III	<b>ACIER HA Fe500</b>				
3.1	Acier pour lanterneau	Kg	91	1 550	141 510
3.2	Acier pour Coupole Supérieure	Kg	679	1 550	1 052 250
3.3	Acier pour Coupole inferieure	Kg	668	1 550	1 036 119
3.4	Acier pour Ceinture Supérieure	Kg	2 571	1 550	3 984 553
3.5	Acier pour ceinture inferieure	Kg	8 968	1 550	13 900 269
3.6	Acier pour Ceinture d'appui	Kg	1 254	1 550	1 943 636
3.7	Acier pour Cuve Cylindrique	Kg	13 233	1 550	20 511 503
3.8	Acier pour Cuve Tronconique	Kg	31 081	1 550	48 175 840
3.9	Acier pour cheminée	Kg	747	1 550	1 157 775
3.10	Acier pour Tour	Kg	3 521	1 550	5 457 151
3.11	Acier pour fondation	Kg	13 093	1 550	20 293 705
<b>SOUS TOTAL 3</b>					<b>117 654 311</b>
V	<b>Fourniture et Pose des Équipements hydrauliques</b>	ENS	1	150 000 000	150 000 000
<b>SOUS TOTAL 4</b>					<b>150 000 000</b>
<b>MARGE DE 10 %</b>					<b>77073693</b>
<b>TOTAL HT</b>					<b>847 810 626</b>
<b>TVA (19%)</b>					<b>161084019</b>
<b>TOTAL TTC</b>					<b>1 008 894 646</b>

ANNEXE 9: Plan d'exécution

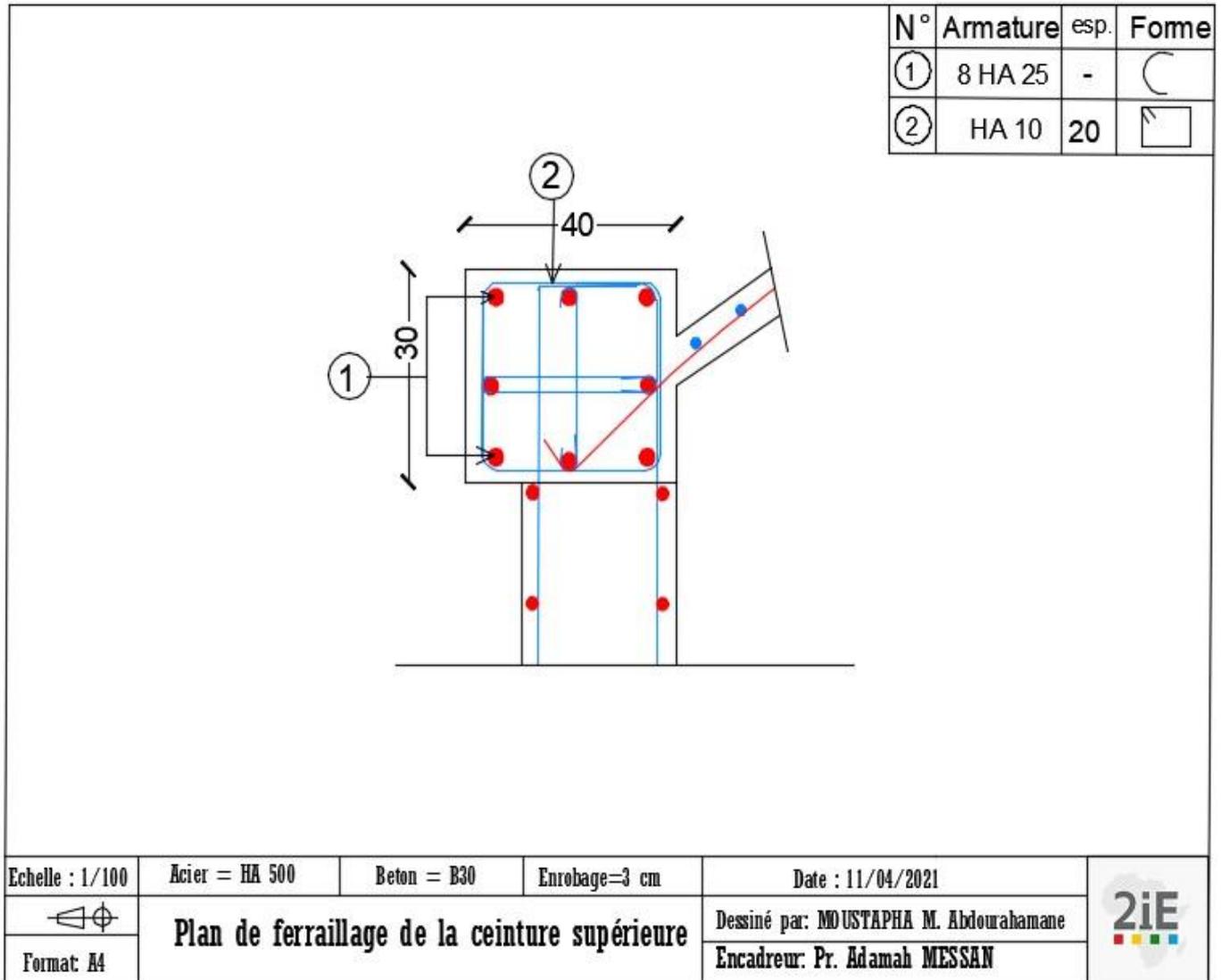
Annexe 9.1: Plan de ferrailage de lanterneau



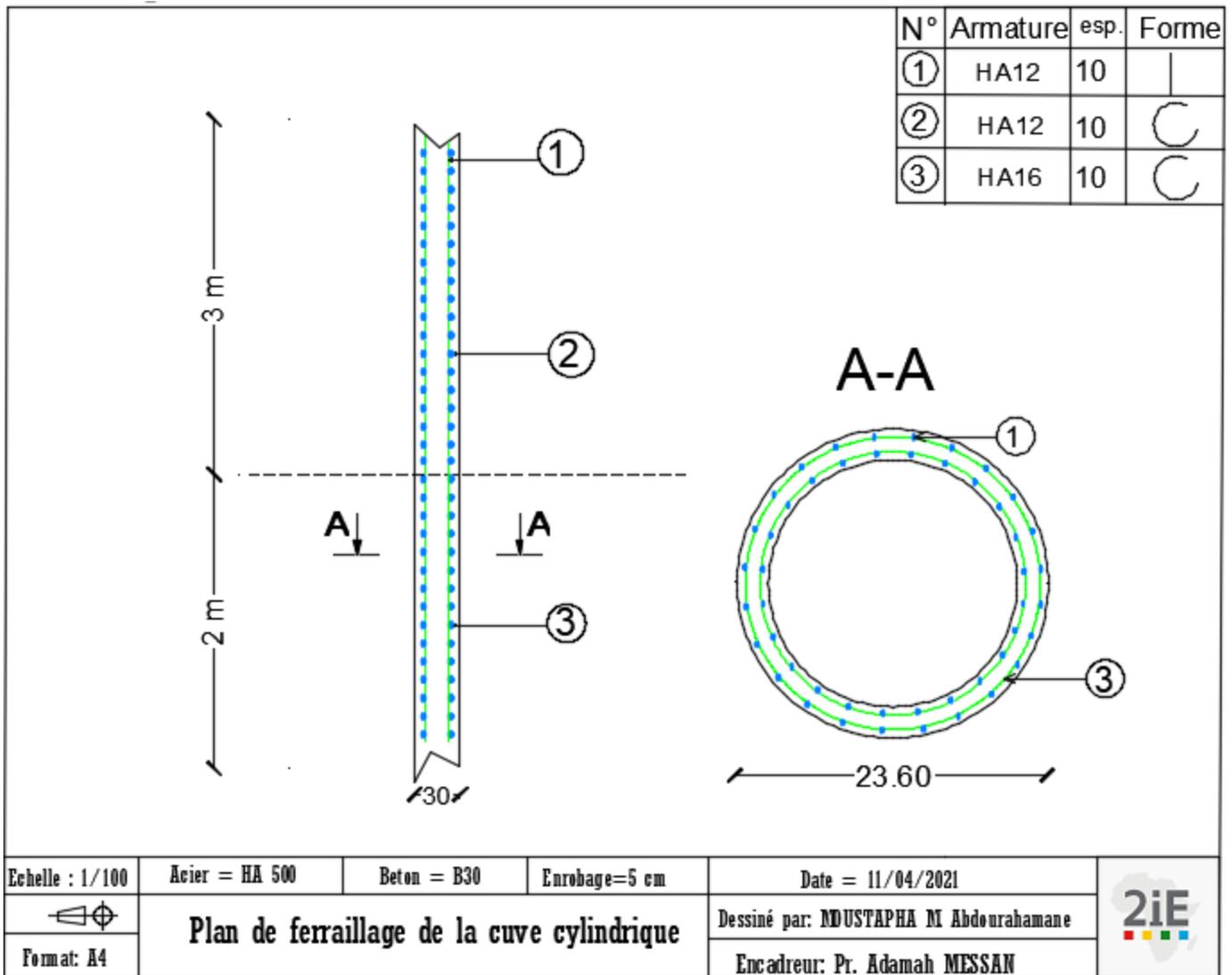
Annexe 9.2: Plan de ferrailage de la coupole supérieure



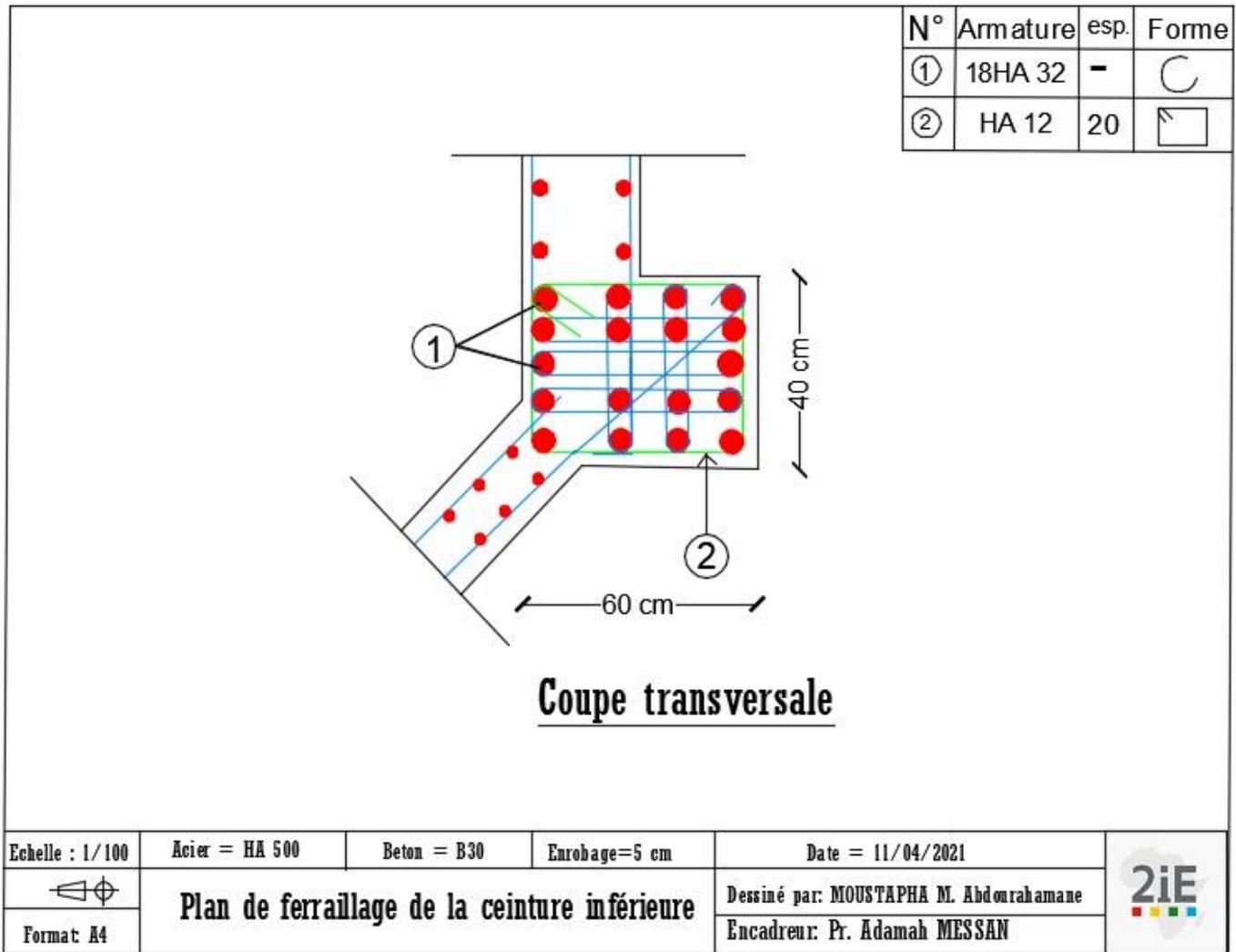
Annexe 9.3: Plan de ferrailage de la ceinture supérieure



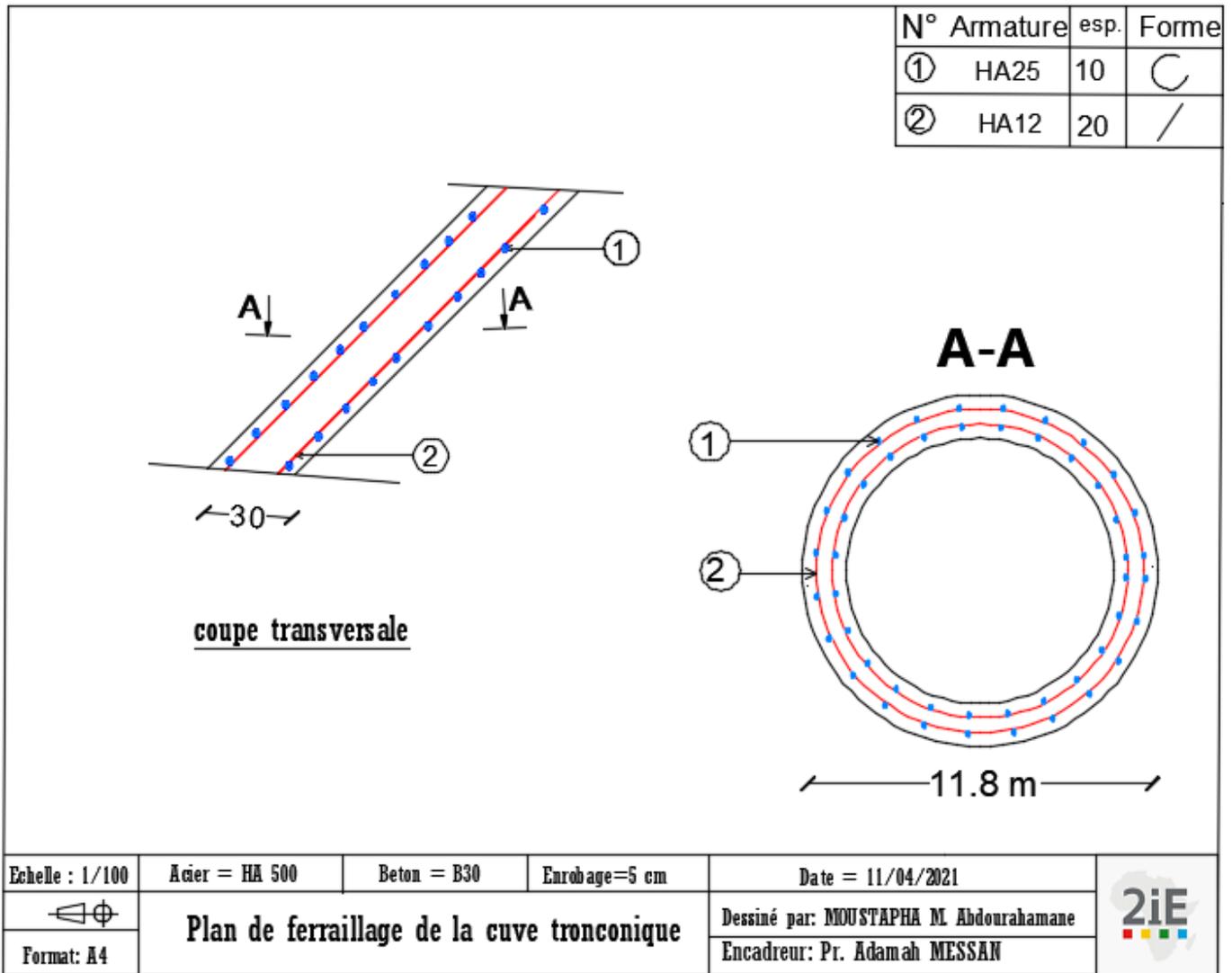
Annexe 9.3 : Plan de ferrailage de la cuve cylindrique



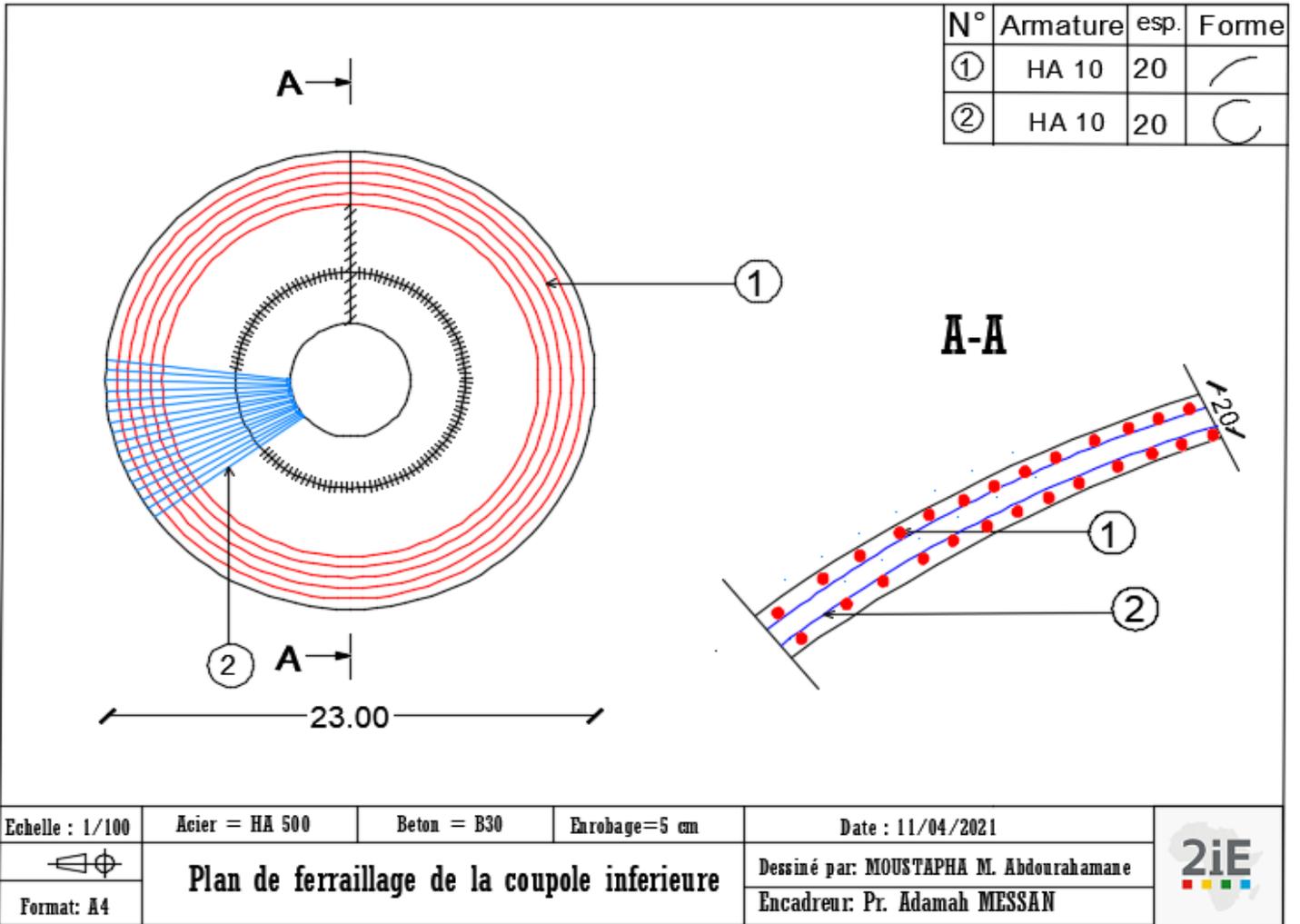
Annexe 9.5 : Plan de ferrailage de la ceinture Inferieure



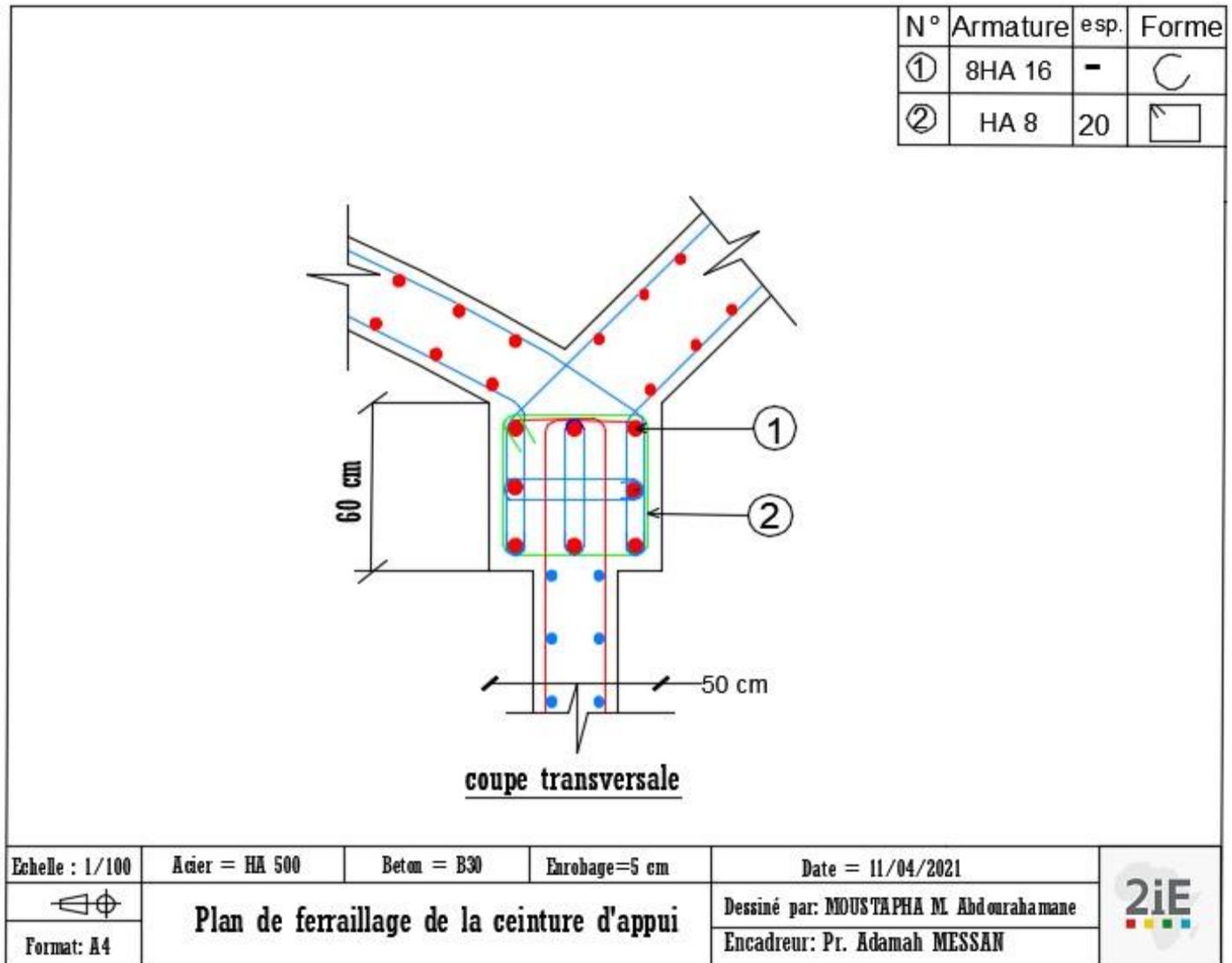
Annexe 9.6: Plan de ferrailage de la cuve tronconique



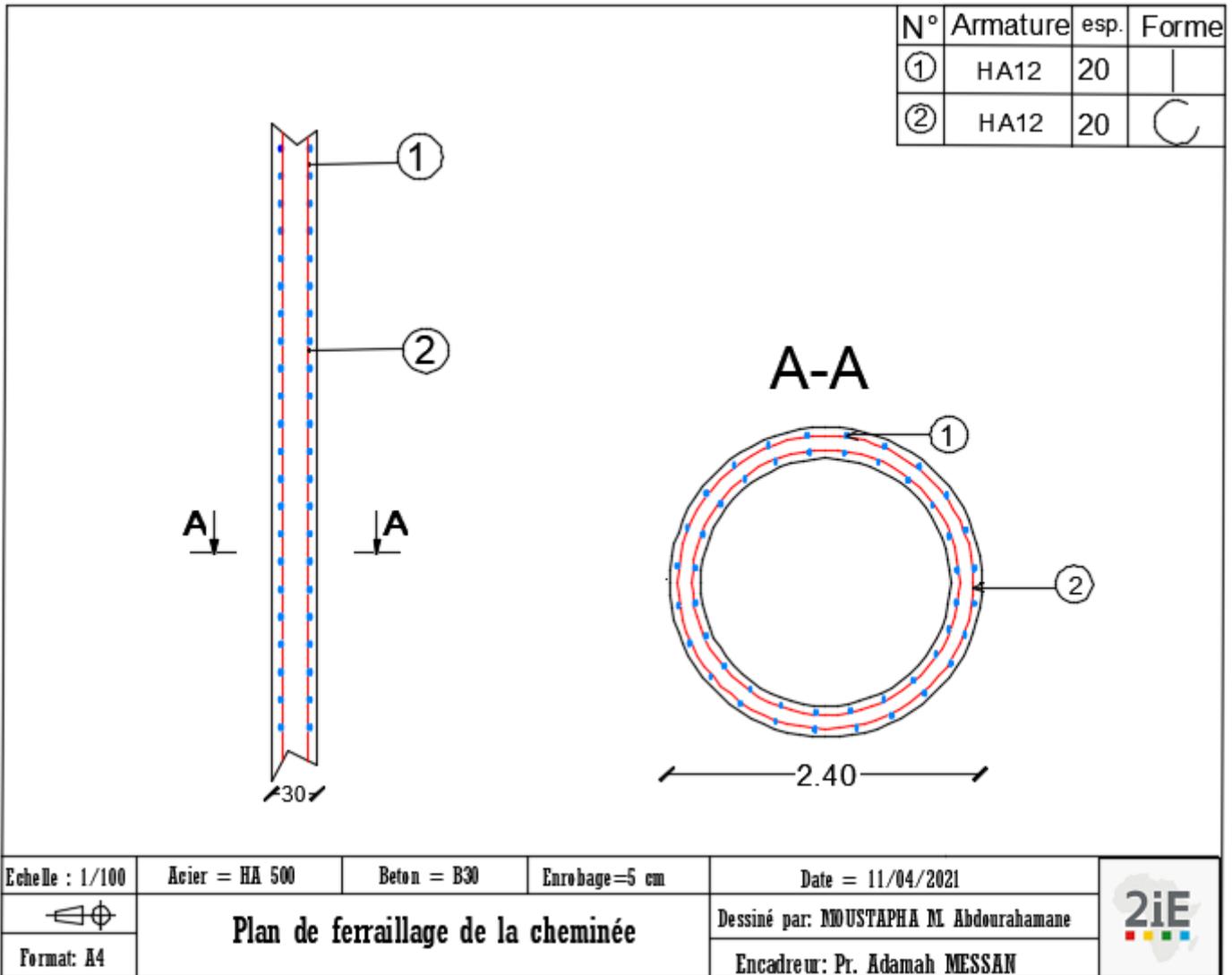
Annexe 9.7 : Plan de ferrailage de la coupole supérieure



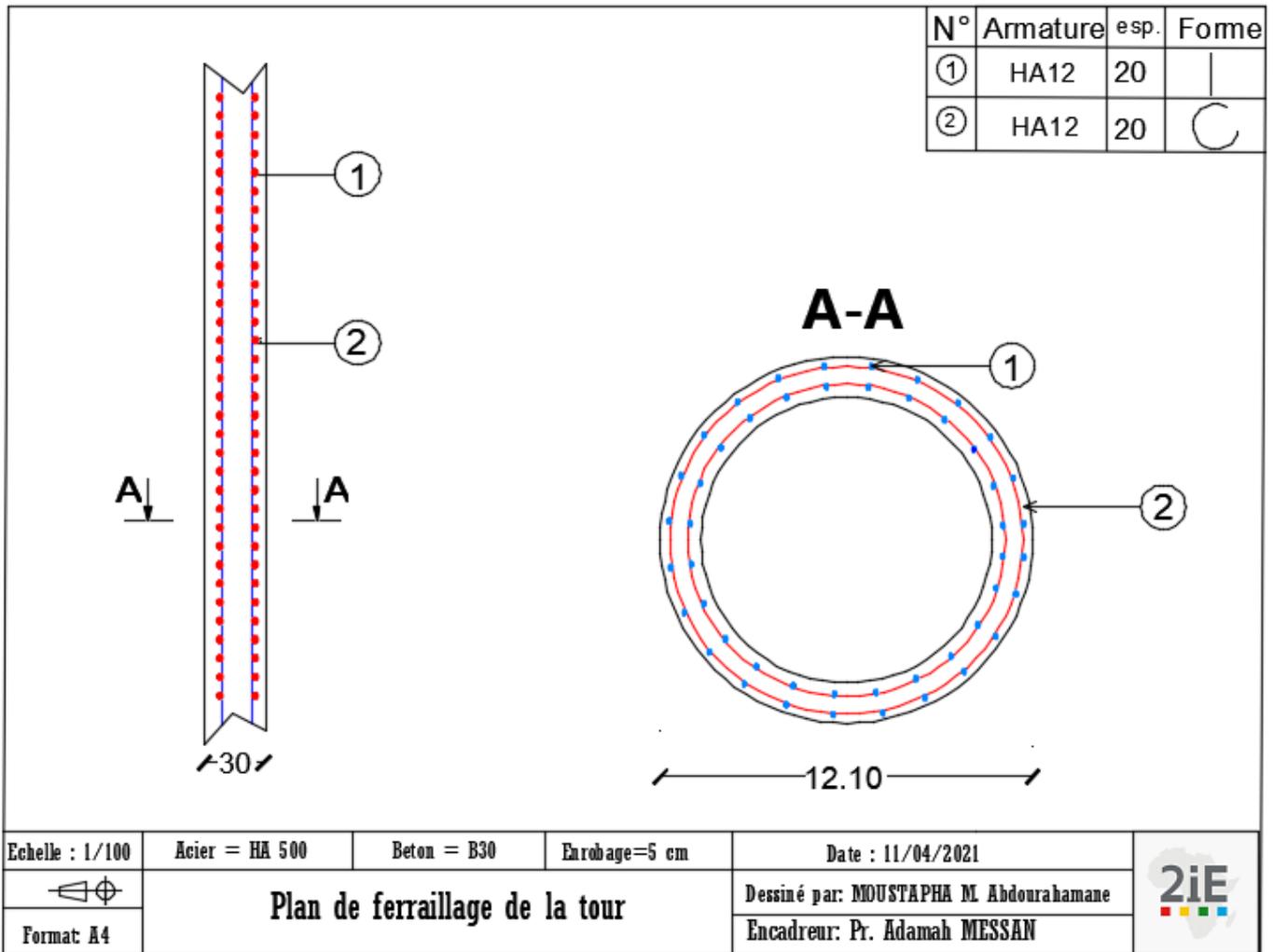
Annexe 9.8 : Plan de ferrailage de la ceinture d'appui



Annexe 9.9 : Plan de ferrailage de la cheminée



Annexe 9.10 : Plan de ferrailage de la Tour



Annexe 9. 11 : Plan de ferrailage de la semelle

