



ETUDE DE LA STRUCTURE D'UN CHATEAU D'EAU DE 2000 m³ EN VUE DE CONTRIBUER A L'EXTENSION DU RESEAU D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA VILLE DE NIAMEY

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU

MASTER EN INGÉNIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : INFRASTRUCTURES ET RÉSEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le 27 Janvier 2016 par :

BASSIROU Ibo Nourou

Travaux dirigés
par :

Ing. ABDOURAHMANE Idrissa Altiné

Contrôleur à la BETAS

Dr Adamah MESSAN

Enseignant-chercheur à la Fondation 2iE

Jury d'évaluation du stage:

Président :

Dr Agelbert BIAOU

Membres et correcteurs :

Moussa OUEDRAOGO

Béga OUEDRAOGO

Promotion [2014/2015]



Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

DEDICACE

Nous dédions ce modeste travail à la famille BASSIROU IBO SARKINCHANOU pour tous leurs sacrifices et leurs diligences pour nos études.

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont :

- A notre père: qui depuis notre tendre enfance nous a toujours assisté dans tous les domaines de la vie sans relâche, avec courage générosité, sagesse. Vous nous avez inculqué avec amour et fermeté les vertus qui nous servent de bréviaire, et vous avez été pour nous un modèle d'honneur, de dignité et de droiture auquel je me réfère autant que possible ;
- A notre mère : femme généreuse, courageuse et sensible ; à la fois proche et lointaine qui a modelé notre sensibilité ;
- A notre grand frère qui nous a éduqué depuis notre tendre enfance et qui continue à nous soutenir jusqu'à l'heure actuelle, que Dieu vous paie des efforts que vous avez consentis pour notre réussite ;
- A nos frères et sœurs qui nous ont toujours soutenu moralement et financièrement et nous ont donné aussi des bons conseils. Que Dieu vous paie pour tout ce que vous avez fait pour nous.
- Sans oublier toutes nos reconnaissances à la structure d'accueil et aux personnes qui ont apporté d'une manière ou d'une autre leurs aides pendant notre stage jusqu'à la réalisation de ce présent document ;

Nous tenons aussi à adresser nos remerciements à :

- A Notre maître de stage **Monsieur ABDOURAHMANE IDRISSE ALTINE** de nous avoir guidés tout au long de notre travail en se rendant disponibles pour répondre à toutes nos questions. Il a su nous encadrer et nous soutenir avec beaucoup de gentillesse et disponibilités ;
- A Monsieur **Dr Adamah MESSAN** pour sa contribution en tant que notre directeur de mémoire ;

Nous tenons à remercier tous ceux qui nous ont aidé d'une manière ou d'une autre dans ce projet.

Enfin, nous sommes reconnaissants envers tous les membres du jury dont la présence ici témoigne de tout l'intérêt qu'ils ont accordé à ce travail.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

SOMMAIRE

DEDICACE.....	.....
REMERCIEMENTS .....	.....ii
RESUME.....	.....vii
ABSTRACT .....	.....viii
SIGLES ET ABREVIATIONS .....	.....vi
LISTE DES TABLEAUX .....	.....ix
LISTE DES FIGURES .....	.....x
INTRODUCTION.....	..... 1
CHAPITRE I: PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE.....	..... 2
I. Contexte de l'étude.....	..... 2
II. Problématique.....	..... 2
III. Objectif de l'étude .....	..... 3
1. Objectif général .....	..... 3
2. Objectifs spécifiques.....	..... 3
IV. Méthodologie .....	..... 3
V. Résultats attendus .....	..... 4
CHAPITRE II: GENERALITE.....	..... 5
I. Présentation de la structure d'accueil.....	..... 5
1. Présentation générale.....	..... 5
3. Situation géographique du siège de l'entreprise.....	..... 5
4. Organisation et le personnel .....	..... 7
II. Présentation de la localité du projet .....	..... 8
1. Contexte du Projet .....	..... 8
2. Présentation du site du projet.....	..... 8
a. Situation géographique.....	..... 8
b. Le climat.....	..... 9
c. Divisions administratives .....	..... 10
3. Description du projet .....	..... 11
a) Identification de la ressource en eau .....	..... 11
b) Evaluation du besoin en eau de la population à l'horizon 2025.....	..... 11
c) Réservoir .....	..... 11
d) Tour .....	..... 11
e) Fondation.....	..... 11

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

III. Généralité sur les réservoirs	13
1. Définition d'un réservoir	13
2. Place du réservoir dans le réseau	15
a. Adduction gravitaire.....	15
b. Adduction par refoulement.....	15
c. Réserve d'incendie	16
3. Château d'eau	16
CHAPITRE III : DETERMINATION DE LA DEMANDE EN EAU ET LA CAPACITE DU RESERVOIR.....	18
1. Identification de la ressource en eau de la ville de Niamey	18
2. Description de la station de traitement de GOUDEL.....	18
3. Processus de traitement d'eau potable de la ville de Niamey	22
a) Coagulation :	22
b) Flocculation :.....	22
c) Décantation.....	23
d) Filtration	23
e) Désinfection	23
4. Evaluation des besoins/demandes en eau à l'horizon 2025	24
a) Principe de calcul	24
b) Horizon de dimensionnement.....	25
c) La population en 2025	25
d) Typologie de la ville.....	25
e) Typologie des abonnés au réseau et leur répartition	26
5. Calcul des différents besoins	26
a) Les consommations spécifiques (C _{sp})	26
6. Coefficient de pointe	26
a) Coefficient de pointe saisonnier (C _s)	26
b) Coefficient de pointe journalier (C _{pj})	27
c) Le coefficient de pointe horaire (C _{ph}).	27
d) Le pourcentage de perte total (C _{pertes}).....	27
e) Détermination des besoins en eau journaliers	27
7. Besoin journalier en eau de la population à l'horizon 2025	28
8. Besoin en eau des BF de la population à l'horizon 2025.....	28
a) La Demande journalière en eau (D _j)	28
b) La Demande en eau du jour de pointe (D _{jp})	28
c) Le débit moyen horaire (Q _{mh})	28

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

d)	Le débit de l'heure de pointe horaire (Q_{ph})	28
e)	Récapitulatif	30
9.	Dimensionnement du réservoir.....	31
10.	Détermination de la capacité utile du réservoir	31
a)	La méthode forfaitaire.....	31
b)	La méthode de tableau.....	31
CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT EN BETON ARME DES ELEMENTS DU RESERVOIR 34		
I.	Hypothèse de l'étude.....	34
1.	Chargements	34
2.	Combinaisons	34
3.	Béton.....	35
4.	Acier	35
5.	Étanchéité	36
6.	Effets climatiques	36
7.	Etude des sols et Fondation	37
8.	Données dimensionnelles architecturales	37
9.	Vérification de la capacité	38
II.	Descentes des charges et Dimensionnement des éléments du château	38
1.	Lanterneau	38
2.	Coupole de couverture.....	45
3.	Ceinture supérieure.....	49
4.	Calcul de la paroi de la cuve tronconique.....	52
5.	Cheminée.....	56
6.	Poutre d'appuie.....	59
7.	Dalle de fond	62
8.	Calcul de la dalle intermédiaire	64
9.	Tour-support.....	65
10.	Radier	68
III.	Vérification de la Stabilité de l'ouvrage.....	72
1.	Stabilité au poinçonnement	72
2.	Stabilité au renversement.....	72
3.	Vérification de la stabilité.....	75
CHAPITRE V : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE ET SOCIAL 76		
I.	Etude d'impact environnementale.....	76
1.	Impacts négatifs.....	76

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m3 en vue de contribuer à l'extension du réseau
d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

2.	Impacts positifs.....	79
3.	Mesures d'atténuation.....	79
4.	Protection et conservation de l'environnement	79
CHAPITRE VI : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF DES TRAVAUX		81
CONCLUSION		83
BIBLIOGRAPHIE		84
ANNEXES		85

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

RESUME

Ce présent projet intitulé «**Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer a l'extension du reseau d'approvisionnement en eau potable de la ville de la ville de Niamey**» a pour objectif principal de dimensionner un château d'eau en béton armé pour subvenir aux besoins en eau potable de la population.

La structure porteuse du château sera construite en béton armé selon les règles de l'art et suivant les règles de BAEL 91 modifiée 99, le Fascicule 74 et le D.T.U 13.12.

La descente des charges et le dimensionnement de la structure ont été effectués manuellement. Le plan du château comportant ces différentes caractéristiques géométriques a été remis par le maître d'ouvrage. Le plan en coupe verticale du château se résume en un réservoir couvert d'une coupole, une tour circulaire et la fondation.

Notre étude comporte sept (07) chapitres dont : la présentation du cadre de l'étude, la généralité, la présentation générale du projet, la détermination de la demande en eau et la capacité du réservoir, le dimensionnement des éléments du réservoir, l'étude d'impact environnementale et en fin l'évaluation du coût de la réalisation.

La présentation du cadre de l'étude englobe les objectifs et la méthodologie, la généralité concerne la présentation de la Société de Patrimoine des Eaux du Niger (SPEN). Le troisième chapitre concerne la présentation générale d'un réservoir, le quatrième est destiné à l'étude structurale de l'infrastructure et de la superstructure à l'ELS et à l'ELU conformément au BAEL, au fascicule 74 et à la règle NV65.

Le cinquième chapitre est consacré à l'étude d'impact environnementale. Il évalue les risques qui surviennent lors de l'exécution des travaux sur le chantier et sur les riverains. Nous notons qu'une étude d'impact environnemental a été effectuée en vue de prendre des précautions à la préservation de l'environnement.

En fin, l'évaluation du coût de la réalisation de l'ouvrage. Dans le cas de notre étude, l'évaluation du coût de la réalisation de l'ouvrage s'élève à la somme **de Neuf cent quatre-vingt-quinze million neuf cent douze mille neuf cent soixante un francs CFA toute taxe comprise (995 912 961 CFA TTC).**

ABSTRACT

This present project « **the structure Studies of a water tower with 2000 m³ tank reinforced concrete in the region of Niamey**» to main objective sizing of a water tower of 2000 m³ of holding capacity reinforced concrete to provide for drinking water of the people.

The supporting structure of the castle will be constructed by reinforced concrete according to the rules of art and following standards BAEL 91 modified 99, issue 74 and D.T.U 13.12.

The descent of the load and the dimensions of the structure were carried out manually. The plan of the castle with these different geometrical characteristics was given by the contracting authority, this shot vertical sectional the castle comes down in a reservoir closed by a dome, a tower circular and the foundation.

The study of the water tower of conic is shape divided in seven chapters among which first of all the generality, presentation of project, design of water needed, the structural study of the work, the environmental impact study and finally the evaluation of cost of realization.

The generality concern a presentation of the “Société de Patrimoine des Eaux du Niger (SPEN)” the second is a general presentation of a reservoir.

The third chapter is dedicated to the structural study of the infrastructure and the superstructure in the ELS and ELU according to the BAEL, to the part 74 and the rule NV65.

The fourth chapter is dedicated to environmental study of impact for the estimate on of the risks which arise during the execution of the works on the construction site and on the local residents. We note that a study of environmental impact was made to take precautions in the natural conservation.

Finally, the last chapter handles the evaluation of the cost of the realization of the work. The evaluation of cost of the realization of the work in the case of our study amounts to the sum of **Nine hundred and ninety five million nine hundred twelve thousand nine hundred sixty one CFA everything included (995 912 961 F CFA).**

SIGLES ET ABREVIATIONS

Majuscules

- A_s, A_{min} : Aire de la section d'acier ;
- A_{sx} : Section d'armature suivant la petite portée ;
- A_{sy} : section d'armature suivant la grande portée ;
- AEP : Approvisionnement en Eau Potable
- BA Béton Armé
- BAEL : Béton Armé aux Etats Limites
- BETAS Bureau d'Etude Technique d'assistance et de surveillance
- BF Borne Fontaine
- BP Branchement Privé
- Br : Section réduite du béton qui tient compte des imperfections de réalisation
- CdG Centre de Gravité
- CGE : Compagnie Générale des Entreprises
- Cm : Centimètre
- D : Rigidité de la plaque en flexion, Facteur d'amplification de la structure
- DTU : Document Technique Unifié
-
- d et d' : Respectivement distance du barycentre des armatures tendues et comprimées à la fibre extrême la plus comprimée.
- daN : déca Newton
- E_{vj} : Module de déformation longitudinal différé
- E_{ij} : Module de déformation longitudinal instantané
- E_s : Module d'élasticité de l'acier
- ELS : Etat Limite de Service ;
- ELU : Etat Limite Ultime ;
- f : la flèche
- f_e : Limite d'élasticité de l'acier ;
- f_{tj} : Résistance caractéristique à la traction du béton âgé j jours ;

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

f_{cj}	:	Résistance caractéristique à la compression du béton en fonction de j jour;
f_{c28}	:	Grandeur précédentes avec j égale à 28 jours ;
f_{bu}	:	La contrainte limite dans le béton à l'ELU
FCFA:		Franc de la Communauté Financière Africaine
FIT		Front intertropical
G	:	Charge permanente
G_i		Poids propre
HA	:	Acier à Haute adhérence
H_{gi}		Effort dû au poids du béton
H_{pi}		Effort de la pression de l'eau sur la paroi
h_0	:	Épaisseur d'une membrure de béton et de la paroi ;
h	:	hauteur totale d'une section de béton armé ;
I	:	Moment d'inertie minimal de la section ;
kN	:	Kilo Newton
Ls	:	longueur du scellement ;
m	:	Mètre
MPa	:	Méga Pascal
M_u	:	Moment de calcul ultime ;
M_{ser}	:	Moment de calcul de service
N_i		Effort Normal
P_i		Poids de l'eau
q_{10}	:	Pression dynamique
Q	:	Charge variables
S_t	:	Espacement des armatures transversales ;
SA	:	société anonyme
SARL		société à responsabilité limitée

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

SEEN : (Société d'Exploitation des Eaux du Niger)

SPEN : (société des patrimoines des eaux du Niger)

T : l'effort tranchant à la base

TN : Terrain Naturel

U : Périmètre de la section du béton ;

V : Effort tranchant ; vitesse du vent

Z : bras de levier ;

Z_i : Hauteur de l'eau

Minuscule grecque

ν : Coefficient de poisson

γ_s : Coefficient de sécurité de l'acier

$\overrightarrow{\sigma_c}$: La contrainte limite de traction dans les aciers

θ : Coefficient qui tient compte de la durée d'application de la charge ;

μ_u : Moment réduit

H : Coefficient de fissuration

$\overrightarrow{\sigma_{bc}}$: Contrainte admissible de compression du béton ;

σ_s : Acier l'dans compression de Contrainte ;

α : Angle d'une armature avec fibre moyenne d'une pièce, coefficient sans dimension

η : Coefficient de fissuration relatif à une armature ;

σ_{bc} : Contrainte de compression du béton;

σ_{st}, σ_{sc} : Contrainte de compression de traction dans l'acier ;

τ : Cisaillement de contrainte

γ_b : Coefficient de sécurité qui tient compte de la résistance du béton ainsi que d'éventuels défauts localisés

γ_s : Coefficient de sécurité de l'acier

Φ : Diamètre nominal d'une armature

Φ_l : Diamètre nominal de l'armature longitudinale;

Φ_t : Diamètre nominal de l'armature transversale;

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Conditions de fonctionnement des pompes exhaures 1 et 2 pour la journée du 20 septembre 2015	20
Tableau 2: Conditions de fonctionnement des pompes refoulements R8, R9, R10et R12 pour la journée du 20 septembre 2015.....	20
Tableau 3: Détermination du besoin en eau à l'horizon 2025.....	30
Tableau 4: Contrainte admissible de l'acier tendu en fonction du diamètre des aciers	36
Tableau 5: Vérification de la capacité de la cuve.....	38
Tableau 6: Détermination du poids total de Lanterneau	39
Tableau 7: Détermination du poids total de la coupole supérieur.....	46
Tableau 8: Détermination du poids total de la ceinture supérieur.....	49
Tableau 9: Epaisseur minimale des parois de la cuve d'un réservoir en béton.....	53
Tableau 10: Détermination du poids total de la cheminée	56
Tableau 11: Détermination du poids total de la poutre	59
Tableau 12: Détermination du poids total de la dalle de fond	62
Tableau 13: Détermination du poids total de la dalle intermédiaire	64
Tableau 14: Détermination du poids total de la tour-support.....	65
Tableau 15: Détermination du poids total du Radier	68
Tableau 16: Causes des impacts sur la nature et sur les riverains.....	78
Tableau 17: Devis quantitatif et estimatifs.....	82

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Plan de situation de la SPEN sur Google Map	6
Figure 2: l'organigramme de la SPEN	7
Figure 3: Vue d'en haut de la Zone du projet	9
Figure 4: coupe transversale du réservoir tronconique	12
Figure 5: Réservoir Enterré	13
Figure 6: Réservoir Semi-Enterré	14
Figure 7: Réservoir Surélevé.....	14
Figure 8: Shemas de la commande des pompes à l'exhaure.....	21
Figure 9:Shemas de la commande des pompes au refoulement.....	21
Figure 10: schéma de chaine du traitement de la station.....	24
Figure 11: les différents efforts dûs à la coupole de couverture	47
Figure 12: illustration de l'action du poids de l'eau sur la paroi de la cuve	53
Figure 13: illustration de l'action du poids propre de la cuve.....	54
Figure 14: illustration de l'effet du vent sur le réservoir.....	73
Figure 15: illustration de l'effet du vent sur le réservoir.....	74

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

INTRODUCTION

L'eau est essentielle et indispensable à la vie. Elle est de nos jours l'aliment le plus consommé au monde, mais elle reste difficile à mobiliser et à rendre potable dans certaine localité du monde dont le Niger qui n'échappe pas à cette règle. En effet, la SPEN (Société des Patrimoines des Eaux du Niger) en synergie avec les partenaires au développement durable, entendent développer les secteurs du réseau d'Adduction d'Eau Potable (A.E.P) et d'assainissement dans le pays en général et dans la capitale en particulier, par les réalisations d'infrastructures hydrauliques telles que l'extension du réseau d'alimentation en eau et les constructions des réservoirs de stockages.

C'est dans ce cadre que la SPEN lance la construction d'un château d'eau d'une capacité de 2000 m³.

Ce projet dans son ensemble comprend deux volets : la réalisation d'un ensemble de réseaux de distribution d'eau depuis la station de traitement de Goudel vers l'ouvrage et la construction du réservoir surélevé (château d'eau) dans la cité Francophonie.

Ce projet voudra mettre en place un programme d'études et de dimensionnement d'un château d'eau d'une capacité de 2000m³ de réservoir reposant sur une tour de 25m de hauteur sous cuve. Ce projet fait l'objet de notre mémoire de fin de cycle, dont le thème est :

« Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en béton armé dans la ville de Niamey ».

Ainsi, nous voulons à l'issue de cette étude obtenir un ouvrage qui puisse permettre de soulager la population tant dans sa résistance, que dans sa fonctionnalité et de lever l'équivoque liée au dimensionnement des ouvrages spéciaux.

L'étude sera constituée par :

- Une introduction
- La présentation de l'entreprise;
- La présentation générale du projet ;
- Détermination de la demande en eau et la capacité du réservoir ;
- Identification de la ressource en eau ;
- Le dimensionnement en Béton Armé des éléments du réservoir ;
- Les hypothèses de l'étude ;
- Une étude d'impact environnemental et social ;
- Le devis estimatif et quantitatif de coût du projet.

CHAPITRE I: PRESENTATION DU CADRE DE L'ETUDE

I. Contexte de l'étude

Tout étudiant en fin de formation en Master 2 est astreint à rédiger et soutenir un mémoire de fin d'études. La rédaction de ce mémoire se passe dans une structure qui est le lieu de stage. En suivant ces règles un stage de quatre (4) mois nous est accordé par la SPEN (Société de Patrimoine des Eaux du Niger) en vue d'une étude et la construction d'un réservoir d'eau de 2000 m³ dans le cadre d'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable de la ville de Niamey.

Les intervenants sont :

- ✓ Maitre d'Ouvrage : SPEN (Société des Patrimoines des Eaux du Niger) ;
- ✓ Bénéficiaire : SPEN (Société des Patrimoines des Eaux du Niger)
- ✓ Maitre d'œuvre : BETAS (Bureau d'Etude Technique d'assistance et de surveillance)
- ✓ Entreprise : CGE (Compagnie Générale des Entreprise) ;
- ✓ Contrôle : BETAS (Bureau d'Etude Technique d'assistance et de surveillance);
- ✓ Financement : Banque Mondiale.

II. Problématique

L'objectif principal de toute entreprise de construction est de faire des bénéfices. Cet objectif ne peut être atteint qu'en réalisant l'ouvrage suivant les règles de l'art et en respectant le cahier de charges établi. Le site de construction est déjà connu, la question principale est de savoir quel sera l'impact de cette réalisation sur l'environnement et les êtres vivants ? Sur quoi construire (le type de sol)? Quels sont les différents éléments de la structure porteuse de l'ouvrage ? Quels sont les différents corps et comment seront-ils réalisés ? Quels seront les effets climatiques sur l'ouvrage ? La dernière phase est de savoir comment gérer ce chantier et combien couteront ces travaux ?

Toutes ces questions sont primordiales, et permettent de clarifier les attentes pour aboutir à l'objectif principal de cette étude.

III. Objectif de l'étude

1. Objectif général

L'objectif général est de faire une étude et le dimensionnement de la structure d'un château de 2000 m³ en béton armé dans la ville de Niamey pour l'extension du réseau d'AEP.

2. Objectifs spécifiques

Pour atteindre l'objectif général, il faut :

- Faire une étude sur les impacts environnementaux et sociaux ;
- Faire une identification de la ressource en eau ;
- Détermination des besoins en eau
- Détermination de la capacité du réservoir
- Faire des études géotechniques en vue de savoir sur quel type de sol sera fondé l'ouvrage et quelle est la contrainte de ce sol ;
- Faire une analyse de la structure porteuse et la dimensionner ;
- Faire une note de calcul de tous les éléments de l'ouvrage.
- Elaborer des plans d'exécution des éléments constitutifs de l'ouvrage.
- Faire une programmation de chantier et estimer le coût global de travaux.

IV. Méthodologie

Pour mener à bien cette étude, la procédure suivante sera adoptée :

Etape Préliminaire

- Recherche documentaire sur la thématique
- Synthèse bibliographique
- Elaboration des outils de travail

Collecte des données

- Données Topographiques
- Données géotechniques

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

- Données climatiques

Travaux de terrain

- Visite du site
- Diagnostic visuel

Travaux de bureau

- Traitement des données obtenues
- Analyse des données
- Interprétations des données
- Rédaction du rapport

V. Résultats attendus

Un mémoire explicatif ;

Des notes de calcul détaillées de chaque volet ;

Des pièces dessinées ;

La mise en place d'une structure d'approvisionnement en eau potable durable.

La confirmation de la vérification de la stabilité de l'ouvrage.

La confirmation de la vérification de l'effet du poinçonnement.

Une notice d'impact sur l'environnement de chaque volet ;

Un métré du coût global du projet.

CHAPITRE II: GENERALITE

I. Présentation de la structure d'accueil

1. Présentation générale

La Société de Patrimoine des Eaux du Niger (SPEN) est une société d'Etat, issue de la volonté du gouvernement de la République du Niger de reformer le secteur de l'hydraulique urbaine en vue de le rendre plus performant. Elle est liée à l'Etat par un Contrat de Concession signé le 31 Mars 2001, pour une durée de 10 ans renouvelable.

Elle jouit d'une autonomie de gestion.

2. Mission de la SPEN

Les mission essentielles de la SPEN sont:

- la gestion du patrimoine et sa mise en valeur;
- l'établissement du plan directeur de l'hydraulique urbaine;
- l'élaboration et le suivi du programme d'investissement, des travaux de réhabilitation, de renouvellement et d'extension de l'infrastructure;
- la gestion des immobilisations;
- la recherche et la levée des fonds;
- la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre des travaux de réhabilitation et de renouvellement de l'infrastructure;
- la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre des travaux neufs et d'extension de l'infrastructure;
- la sensibilisation du public.

3. Situation géographique du siège de l'entreprise

Le bureau de la SPEN (Société de Patrimoine des Eaux du Niger) est situé à Kwarakano,

SIEGE SOCIAL : NIAMEY (KOIRA KANO, Bd des SY et MAMAR)

BP 10738 Niamey - NIGER

Téléphone: (227) 20 73 43 40 / (227) 20 73 53 20

FAX: (227) 20 73 46 40

Adresse mail : dg-spen@intnet.ne

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey



Figure 1: Plan de situation de la SPEN sur Google Map

(Source : Google Map)

4. Organisation et le personnel

Organigramme SPEN

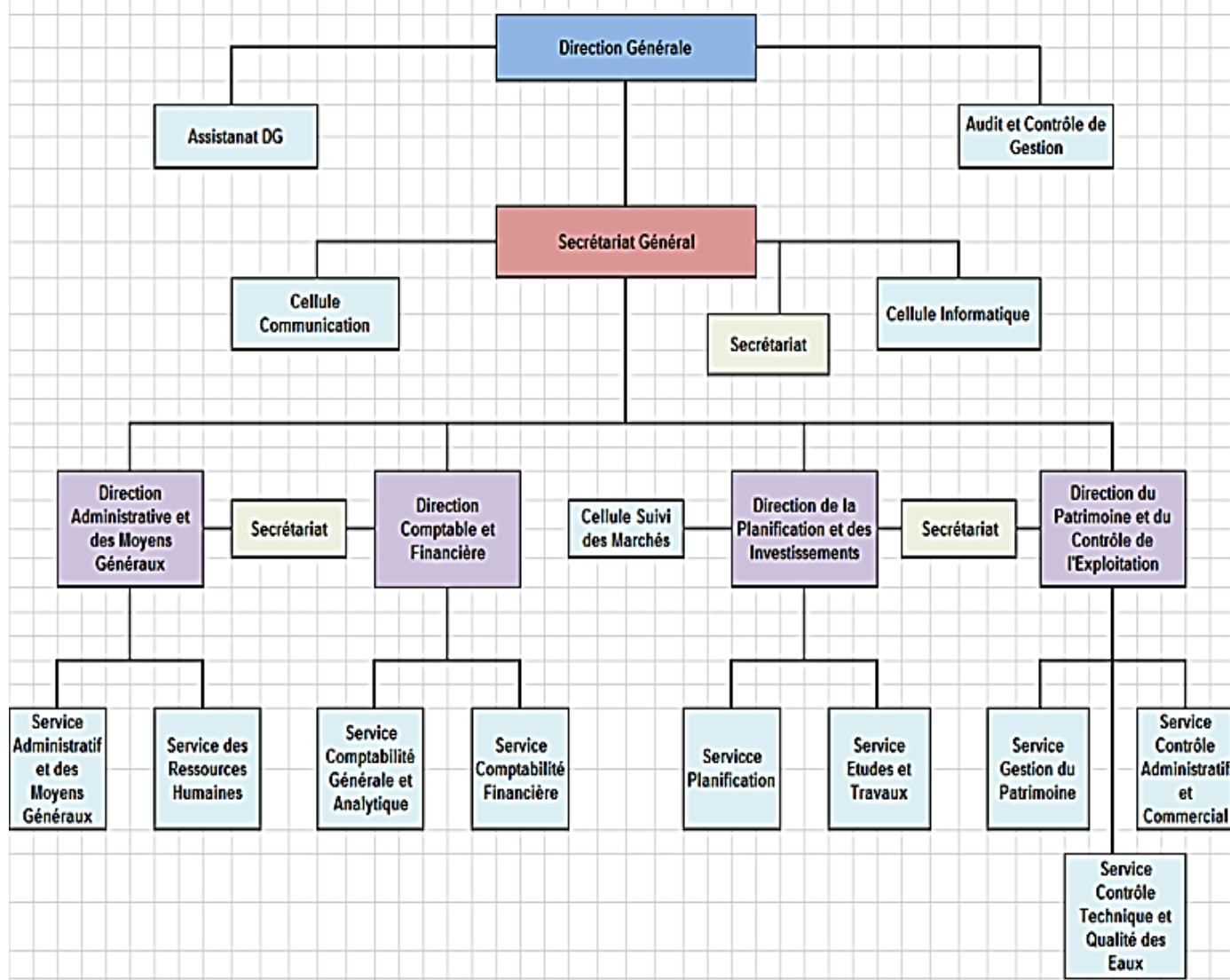


Figure 2: l'organigramme de la SPEN

(Source : cite de de la SPEN)

II. Présentation de la localité du projet

1. Contexte du Projet

L'alimentation en eau potable demeure une des préoccupations majeures des pays en voie de développement comme le Niger, c'est pour cette raison que l'Etat du Niger par l'intermédiaire de la SPEN (Société des Patrimoines des Eaux du Niger), lance le projet annuel de construction d'un réservoir d'eau dans la ville de Niamey.

Le réservoir doit :

- Respecter les normes environnementales et les consignes de sécurité ;
- Être en parfaite harmonie avec son environnement ;
- Répondre aux attentes de la population ;
- Couvrir tous les secteurs concernés ;
- Améliorer les conditions de vie de la population.

2. Présentation du site du projet

a. Situation géographique

La ville de Niamey est située entre 13°28 et 13°35 de latitude nord et 2°03 et 2°10 de longitude est. D'une superficie de 240 km², 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.

Le fleuve qui traverse la ville de Niamey constitue sa principale source d'eau potable bien que sa dégradation constante, provoquée par la désertification et la pollution de ses rives, pose de nombreux problèmes d'assainissement.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey



Figure 3: Vue d'en haut de la Zone du projet

(Source : Google Earth)

b. Le climat

Le climat est de type sahélien avec une pluviométrie variant de 500 à 750 mm par an. Pour combattre les fréquentes tempêtes de sable apportées par l'harmattan un vent venant du nord et la désertification qui s'ensuit, la municipalité a créé dans les années 1960 une ceinture d'arbres de 250 ha (25 km de long, sur une bande de 1 km de large). Cependant, avec l'exode rural causant une urbanisation croissante et l'établissement de nouveaux bidonvilles, cette barrière ne cesse de se réduire.

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. On est alors à une période de transition, entre les vents de mousson de sud-ouest, chauds et humides (qui sont en nette régression, puis disparaissent totalement), et l'Harmattan, un vent de nord-est chaud, sec, et parfois poussiéreux qui s'impose de jour en jour. De fin novembre à fin février, c'est l'harmattan

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

qui souffle. Il apporte une influence du désert, soit un air toujours très sec, d'assez grandes amplitudes thermiques entre le jour et la nuit, un fort ensoleillement, parfois gêné par une brume de poussières en suspension. Les températures sont nettement moins élevées en cette période : les minimales peuvent s'abaisser jusqu'à 14 - 15°C, voire 12°C très ponctuellement, surtout fin décembre et janvier, tandis que la journée, les maximales atteignent entre 28 et 33°C. Cela en fait la période où il est le plus facile de s'acclimater, grâce aux températures modérées et au temps le plus souvent stable.

De mars à mai, l'harmattan est en perte de vitesse, puis finit par tomber totalement. Coupée de l'influence du désert et de toute aération, 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). Les premières averses orageuses peuvent parfois tomber à la fin du mois de mai, ajoutant alors l'humidité à la chaleur, ce qui donne un ressenti extrêmement lourd.

La saison des pluies, qui s'étend de la fin mai à la fin septembre, est marquée par un flux de sud-ouest : la mousson. Il apporte au début de la saison des pluies des tempêtes de sables, dans lesquelles de nombreuses averses et des orages très violents se développent, avec un pic en août. Cette période correspond au passage du Front intertropical (FIT) au-dessus des pays sahéliens et subsahéliens. Malgré les températures beaucoup plus modérées (minimums à 21°C, sous les pluies principalement, maximums à 32 à 34°C), le ressenti est toujours lourd, en raison de la forte humidité ambiante.

c. Divisions administratives

La ville de Niamey est divisée en deux par le fleuve Niger. La partie la plus importante de la ville se trouve sur la rive gauche, avec les quartiers suivants : Anikwara, Balafon, Banifandou I et II, Bassora, Banizoumbou, Boukoki I, II, III et IV, Cité-Caisse, Cité-Faysal, Dangawo, Daressalam, Deuxième-Arrondissement, Gamkale, Kalley-Est, Kalley-Sud, Kwarakano, Kwaratagui Foulan Koira, Gandatche, Kombo, Banizoumbou II, Lakouroussou, Lazaré, Liberté, Lossagoungou, Madina, Niamey-2000, Plateau I et II, Quartier Aéroport, Quartier Sonni, Quartier Zabarkane, Saga, Sixième, Talladje, Terminus, Tourakou, Wadata, Yantala-Haut, Yantala-Bas, Bobiel, Riyad, Recasement, Issa Beri, le village de Gourou-Beri – rattaché au quartier Maourey –, Dan Zama Koira, Zongo, Gouadel et Koubia. Sur la rive droite, aussi

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

appelée Harobanda se trouvent les quartiers de Gawèye, Gnalga Lamordé, Pont Kennedy, Kirkissoye, Karadjé et Banga Bana. La ville de Niamey est subdivisée en cinq communes : les communes I, II, III, et IV se trouvent toutes sur la rive gauche du fleuve tandis que la commune V se trouve sur la rive droite. (Source : Google)

3. Description du projet

Le projet consiste à construire un château d'eau en béton armé d'une capacité de stockage d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable de la ville de Niamey.

a) Identification de la ressource en eau

La ressource en eau qui ciblée pour répondre aux besoins en eau de la population de la ville de Niamey est principalement l'eau du fleuve Niger.

b) Evaluation du besoin en eau de la population à l'horizon 2025

Il s'agit d'évaluer le besoin en eau de la population de la ville de Niamey qui est de 73 332 aujourd'hui (2015) et qui sera autour de 93871 habitants en 2025 avec un besoin total de 11966 m³/j (Source : Institut national de statistique)

c) Réservoir

Avec une forme tronconique, le réservoir aura une capacité de 2000 m³ et sera construit en Béton Armé dosé à 350KG/m³. Il se reposera sur la tour circulaire.

d) Tour

La tour est d'une hauteur de 25 m et d'une forme cylindrique. Elle sera également construite en Béton Armé dosé à 350KG/m³. Sa construction se fera en cinq niveaux de 5m chacun.

e) Fondation

Tout l'ensemble se reposera sur un radier général de forme circulaire avec un diamètre de 20 m et d'une profondeur d'ancrage de -3,00 m/TN. Le radier sera construit en béton armé dosé à 350Kg/m³. L'ensemble des éléments décrits ci-dessus sont représentés dans la figure suivante :

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

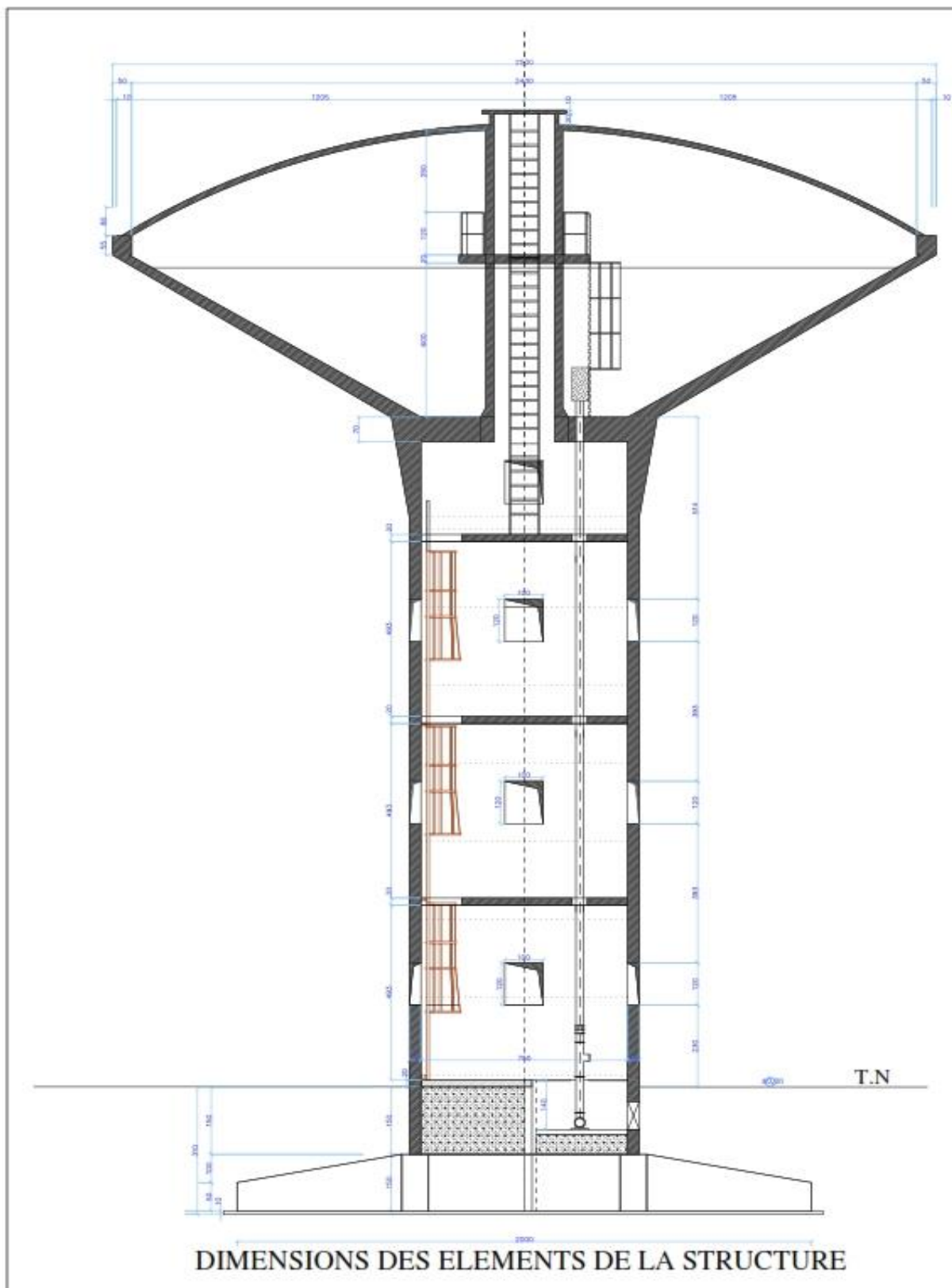


Figure 4: coupe transversale du réservoir tronconique

III. Généralité sur les réservoirs

1. Définition d'un réservoir

Les réservoirs sont des ouvrages destinés pour le stockage de liquide. On peut citer entre autre:

- Les piscines,
- Les stations d'épuration,
- Les décanteurs ou digesteurs,
- Les réservoirs d'eau.

Le cas de ce projet est basé sur un réservoir d'eau potable qui servira à contenir de l'eau pour l'alimentation de la population.

On distingue trois types de réservoirs en général:

- Enterrés ;
- Semi-enterrés ;
- Surélevés.

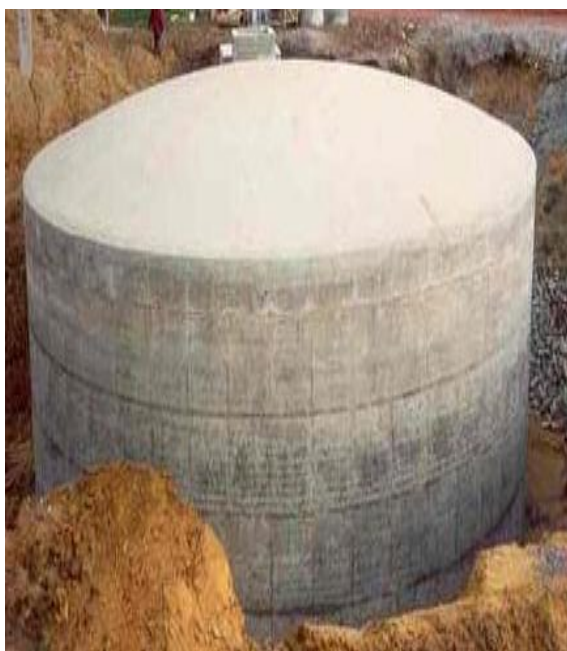


Figure 5: Réservoir Enterré

(Source : cours Dr Adamah MESSAN)

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey



Figure 6: Réservoir Semi-Enterré

(Source : cours Dr Adamah MESSAN)



Figure 7: Réservoir Surélevé

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Les réservoirs peuvent être construits ouverts ou munis d'une couverture en coupole ou en dalle plane. Les réservoirs peuvent être simples ou complexes et formés de plusieurs cellules même superposés.

La forme en plan peut être cependant la plupart du temps, les petits réservoirs se font carrés ou rectangulaires. Mais la forme circulaire est coûteuse, et lors que les moyens d'exécutions le permettent, on réalise des réservoirs en forme tronconique et cylindro-tronconique à la place de réservoirs cylindrique de grand volume.

Ils peuvent être réalisés selon le cas en maçonnerie ou en acier pour les petites capacités. Mais de nos jours, la plupart des réservoirs sont réalisés en béton armé ou en béton précontraint.

Pour le cas de notre projet vu l'importance de la capacité de stockage du réservoir, il sera préférable de réaliser en béton armé.

2. Place du réservoir dans le réseau

Les réservoirs sont présents partout dans le réseau d'adduction d'eau. Ils constituent les organes de stockages et des régulateurs des pressions et de débit entre le régime de production et le régime de consommation. Ils permettent d'emmagasiner l'eau lorsque la consommation est inférieure à la production, et la restituent lorsque la consommation devient supérieure à la production.

En tenant compte de l'augmentation de nombre des consommateurs, le rapport entre la capacité et le volume moyen diminue notablement.

a. Adduction gravitaire

Un réservoir a pour objectif premier de pouvoir stocker l'eau au moment de faible consommation et la restituer aux heures de pointe. Cet approvisionnement d'eau du réservoir se fera d'une manière gravitaire grâce à la hauteur suffisante du réservoir pour que tous les abonnés aient satisfaction.

b. Adduction par refoulement

Elle se fera d'une manière gravitaire vu le surélévement suffisant pour avoir un bon débit. L'absence d'un réservoir présente les inconvénients considérables dans un réseau d'adduction à savoir panne électrique, travaux sur le réseau, panne de pompe. Le château régularise le débit d'eau distribué avec une pression constante et maintient une sécurité d'approvisionnement de la population, voire la simplification dans son exploitation.

c. Réserve d'incendie

Non seulement le château approvisionne la population en eau potable mais permet aussi de stocker une certaine quantité appelée réserve d'incendie pour l'extinction du feu en cas d'incendie. La réserve d'incendie permet au sapeur-pompier de s'approvisionner pour éteindre le feu même si la quantité pour desservir la population est atteinte.

3. Château d'eau

Le château d'eau surélevé fait partie de la famille de réservoirs d'eau et aussi des ouvrages d'arts du point de vue esthétique, il est un élément important pour la distribution au réseau d'adduction. Lorsque la topographie permet de disposer d'un point haut pour construire un réservoir au sol, c'est cette option qui est en général choisie et lorsque le terrain ne présente pas un point assez haut, le concepteur du réservoir a le choix entre un château d'eau (réservoir surélevé) et un réservoir au sol alimentant un surpresseur.

Le château d'eau remplit double fonctions très considérables, constitue un réservoir tampon entre la production d'eau et la distribution aux consommateurs. La production d'eau doit se faire le plus régulièrement possible pour la bonne satisfaction des besoins, pendant que la livraison est soumise à la demande des usagers. Quelle que soit le moment de la journée et la hauteur de la demande en eau, il faut en assurer à chaque utilisateur un débit régulier.

Dans la mesure du possible, ces réservoirs sont placés en hauteur afin qu'ils se situent au-dessus du plus haut des robinets à desservir.

La distribution d'eau va pouvoir utiliser le phénomène de vases communicants pour alimenter le réseau de distribution. Le château d'eau est avant tout un réservoir surélevé, seule l'absence d'un relief suffisamment élevé impose de construire ce derniers sur une structure en hauteur (piliers ou tour).

Le remplissage du réservoir se fait par une pompe submergée d'alimentation automatique pour maintenir un niveau constant dans le réservoir. Dans le cas où une agglomération s'étend dans une direction donnée, un réservoir unique et de hauteur convenable peut devenir insuffisant pour assurer une pression correcte en tout point du réservoir et à tout moment, c'est alors que l'on a recours à un ou plusieurs réservoir d'équilibre en liaison par le réseau avec le réservoir principal, mais à une cote de niveau légèrement inférieure.

Le remplissage de réservoir d'équilibre se fait gravitairement au moment des faibles consommations, c'est-à-dire principalement la nuit, la journée la charge à partir du réservoir

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

principal diminue dans le réseau par suite de consommation, celle du réservoir d'équilibre devient alors prépondérante et c'est son action qui maintient une pression régulière.

CHAPITRE III : DETERMINATION DE LA DEMANDE EN EAU ET LA CAPACITE DU RESERVOIR

Le projet porte sur la Réhabilitation et l'extension des travaux d'approvisionnement d'eau des 12 quartiers de Niamey. Les infrastructures hydrauliques à construire sont :

- Une Station de pompage de 15 000m³/j;
- 19 km de conduite de refoulement en fonte DN 700 et DN 400;
- Un château d'eau en béton de 2000 m³;
- 72 km de conduite de distribution; 3000 branchements sociaux et 50 bornes fontaines.

1. Identification de la ressource en eau de la ville de Niamey

Le fleuve Niger est un fleuve d'Afrique occidentale, le troisième du continent par sa longueur après le Nil et le Congo. Sa longueur est de 4 180 km et possède une Superficie du bassin qui est de 2 118 000 km² il prend sa source dans les Hauts plateaux de Guinée dans les embouchures du Golfe de Guinée, il traverse les villes suivantes : Bamako, Niamey, Tombouctou, Onitsha, Lokoja, Tembakounda.

La ressource en eau actuelle utilisées pour couvrir le besoin de la population de Niamey est essentiellement le fleuve Niger.

La SEEN dispose de deux station de traitement d'eau potable situé sur les berges de la rive gauche du fleuve, qui à partir de ses différentes filières existantes qui traitent un volume d'eau journalier de plus de 118000 m³.

2. Description de la station de traitement de GOUDEL

La station de traitement d'eau potable de Goudel ou à lieu la présente étude se situe sur les berges de la rive gauche du fleuve Niger (Niamey-Niger). Elle comprend :

- **Deux exhaures** au bord du fleuve qui permettent de puiser l'eau brute pour le traitement. Et chaque exhaure est équipée de quatre pompes qui permettent de refouler l'eau brute dans les bassins de pré-décantation.

Exhaure 1 : quatre pompes de 700 m³/h soit au total 2800 m³ d'eau brute pompé par heure.

Exhaure 2 : quatre pompes de 1100 m³/h soit au total 4400 m³ d'eau brute pompé par heure.

Donc, la filière d'Exhaures de l'usine de traitement d'eau potable de GOUDEL exhaure 7200 m³/h au maximum, soit 144000 m³/j soit environ 52560000 m³/an.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

- **Deux bassins de pré-décantations** de capacité respective 10.000 m³ et 14.000 m³ reçoivent l'eau venant de l'exhaure pour une pré-décantation.
- Les effluents des bassins de pré-décantation coulent vers le répartiteur pour être distribuer dans les différents unités de traitement régler avec des vannes automatiques et manuelles ;
- la station compte quatre filières de traitement des eaux : Goudel I, Goudel II, et Goudel III et Yantala les trois premières disposent des capacités nominale respective de 28 000, 30 000, 30 000 m³/jour, on note aussi que chaque filière est équipée d'un décanteur et des filtres à sable ;
- Une salle des réactifs ou se fait la préparation des réactifs pour le dosage dans les filières, les pompes doseuse et le magasin de stockage des réactifs ;
- Un saturateur de chaux ;
- Quatre bâches d'eau pour stockés les eaux filtrées dans lesquelles s'effectuent la désinfection avant le refoulement vers les réservoirs de la ville de Niamey ;
- **Deux salles de refoulement:**

Dans la salle 1 s'effectue le refoulement vers les réservoirs **R8, R9** et **R10** et chaque réservoir est alimenté grâce à quatre pompes indépendantes nommées P1, P2, P3 et P4.

Pour le réservoir R8, chacune des pompes qui l'alimente refoule un débit de **402,97m³/h**, avec une puissance de 132 KW et une HMT de 70,99 m, le fonctionnement se fait de **24 h/24**.

- Pour le réservoir R9, chacune des pompes qui l'alimente refoule un débit de **402,98m³/h**, avec une puissance de 132 KW et une HMT de 78,80 m, le fonctionnement se fait de **24 h/24**.
- Pour le réservoir R10, chacune des pompes qui l'alimente refoule un débit de **350m³/h**, avec une puissance de 200 KW et une HMT de 121 m, le fonctionnement se fait de **24 h/24**.

Dans la salle 2 s'effectue le refoulement vers le réservoir **R12** et **R14**

- Pour le réservoir R12, chacune des pompes qui l'alimente refoule un débit de **339,61m³/h**, avec une puissance de 200 KW et une HMT de 125,59 m, le fonctionnement se fait de **24 h/24**.
- Pour le réservoir R14, chacune des pompes qui vont l'alimenté doit refouler un débit de **339,61 m³/h**, soit au total 1358,44 m³/h et 32602,56 m³/j avec une puissance de 200 KW et une HMT de 70,85 m, le fonctionnement se fait en **24 h/24**.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Tableau 1: Conditions de fonctionnement des pompes exhaures 1 et 2 pour la journée du 20 septembre 2015

Numéro de pompes	Courant 120 – 130 A	Index horaire
P 1	113	31740
P 2	129	24792
P 3	-	39019
P 4	117	35798
P A	-	32879
P B	180	46196
P C	180	38861
P D	180	30998

Tableau 2: Conditions de fonctionnement des pompes refoulements R8, R9, R10et R12 pour la journée du 20 septembre 2015

Conditions de Fonctionnement	Numéro pompes	Courant 180 A	Index horaire
Vers R8	P 1	192	6079
	P 2	190	7275
	P 3	188	36045
Vers R9	P 1	191	45992
	P 2	197	54326
	P 3	196	44750
Vers R10	P 1	247	58022
	P 2	259	37112
	P 3	249	30047
Vers R12	P 1	-	3682
	P 2	276	3389
	P 3	-	2050

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

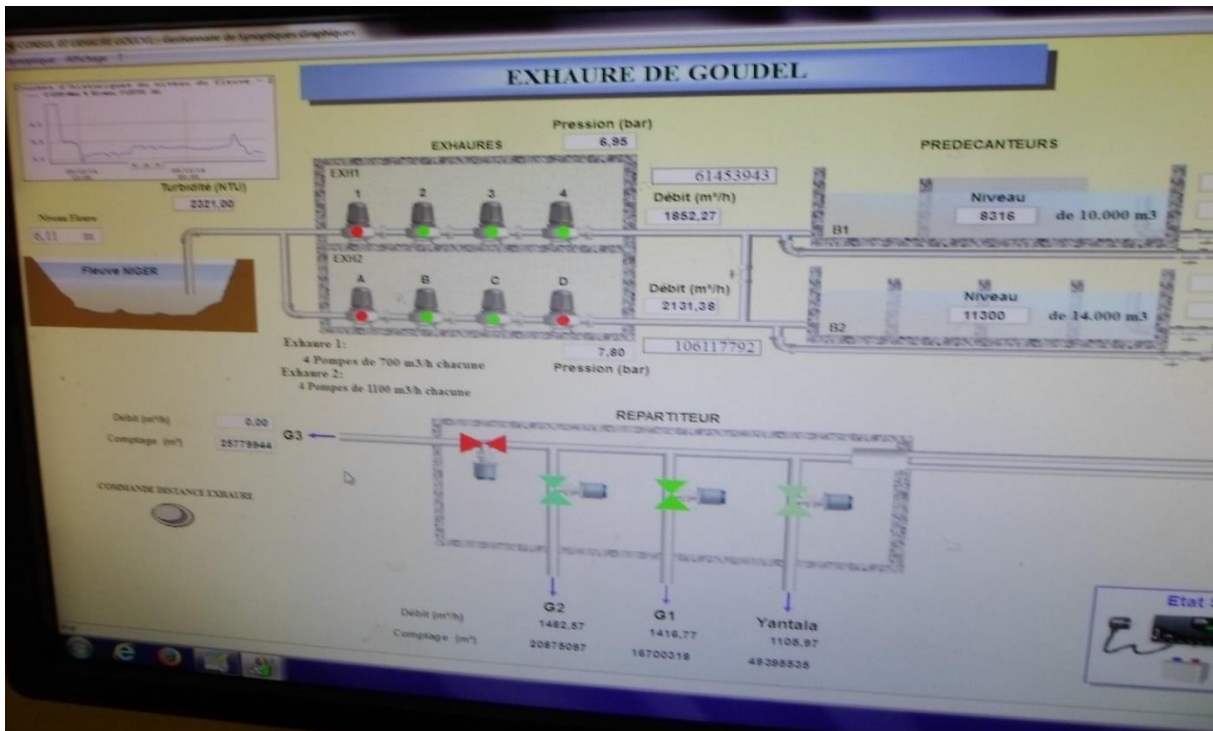


Figure 8: Shemas de la commande des pompes à l'exhaure

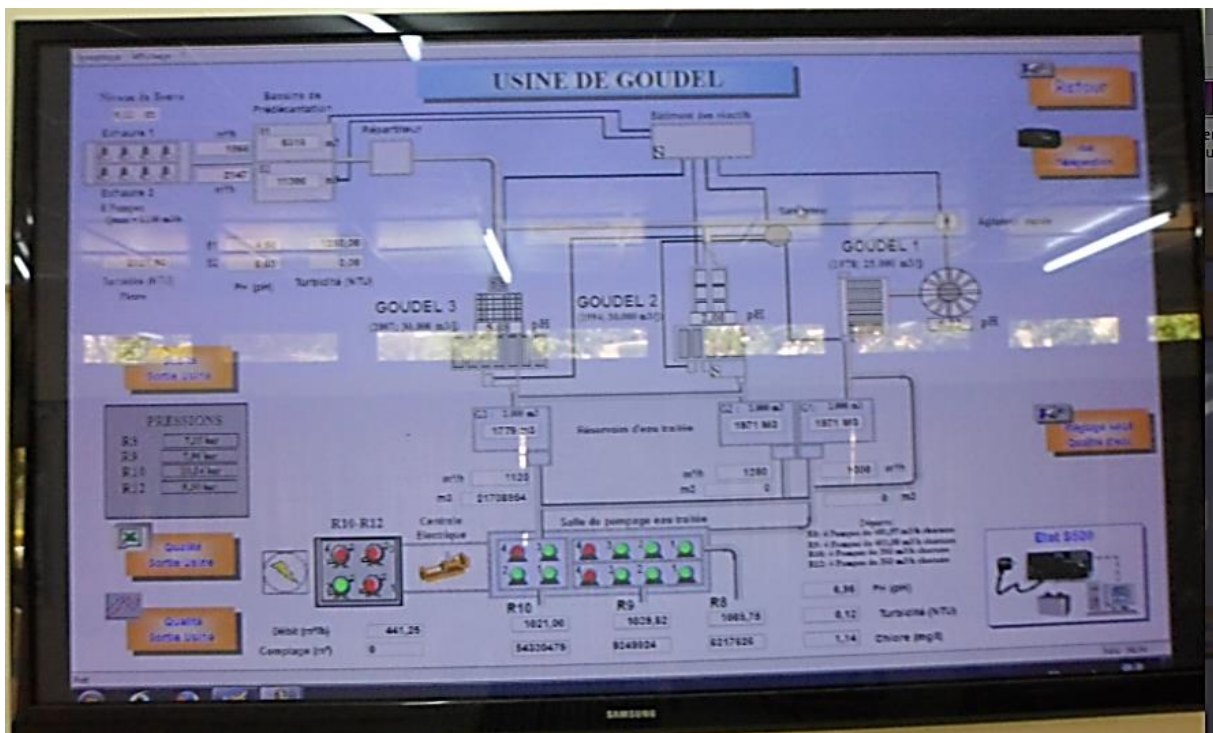


Figure 9: Shemas de la commande des pompes au refoulement

3. Processus de traitement d'eau potable de la ville de Niamey

Les principales étapes sont : coagulation, floculation, décantation, filtration et désinfection pour les eaux de surface.

a) Coagulation :

La coagulation est la déstabilisation des particules colloïdales par addition d'un réactif chimique, le coagulant. Elle se passe dans les bassins de pré-décantation d'eau brute avec l'ajout d'alumine (Al) et de la chaux éteinte. La dose injectée est fonction du nombre de pompes en service sur chaque bassin.

Il s'agit de composés susceptibles de libérer de nombreux cations lors de leur mise en solution dans l'eau. Ces ions chargés positivement auront tendance à neutraliser les charges négatives portées par les particules colloïdales. On a pu constater que le coagulant était plus efficace que les charges portées par les cations étaient nombreuses. Ces composés peuvent être minéraux ou organiques :

b) Floculation :

La floculation est l'agglomération de ces particules "déchargées" en micro floc, puis en flocons volumineux et décantable, appelés les flocons. Cette floculation peut être améliorée par l'ajout d'un autre réactif: le floculant ou adjuvant de floculation. Cette floculation s'est faite en présence de polymère appelé A₁₀₀ au niveau des décanteurs des différents bassins en fonction du débit traité. Une fois la coagulation réalisée, si les particules n'ont plus tendance à se repousser, elles n'ont pas pour autant celle de se rapprocher. Aussi faut-il faciliter leur regroupement afin qu'elles puissent former des agrégats conduisant à la formation d'un floc. Ce résultat est obtenu par la floculation. La solution exploitée par la floculation est, de proposer grâce à l'ajout de floculant, une agglomération des particules colloïdales.

Par la suite, cet agglomérat de colloïdes appelés floc dispose d'une masse suffisante pour pouvoir décanter. Le floculant ajouté est généralement un polymère A₁₀₀ (AN910), qu'il soit organique ou naturel, qui va jouer le rôle de colle entre les colloïdes.

Le temps à respecter entre les ajouts du coagulant et du floculant est primordial.

Un floculant n'est en général efficace que lorsque la phase de coagulation est achevée. La

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

durée de cette dernière dépend de la nature des colloïdes, mais aussi de la température de l'eau brute.

Les paramètres principaux à considérer sont la taille, la cohésion du floc et sa vitesse de décantation.

c) **Décantation**

La décantation est un processus qui permet d'assurer la sédimentation des particules isolées ou d'un floc selon les lois physiques de la gravitation en agissant sur la vitesse de chute de la particule ou du floc dans un liquide en mouvement horizontal ou vertical au sein du décanteur.

d) **Filtration**

La filtration consiste à séparer les particules solides d'un liquide à l'aide d'un matériau filtrant.

La filtration est l'étape de finition de la clarification: elle permet de retenir les quelques mg/L de MeS qui n'ont pas été retenus lors de la coagulation-floculation-décantation.

e) **Désinfection**

La désinfection est une priorité première de traitement d'eau de consommation. Elle permet de détruire, d'inactiver, de retenir les bactéries et autres micro-organismes pathogènes et virus, dangereux pour la santé humaine.

La désinfection est l'élimination : des bactéries, des virus pathogènes, des bio-indicateurs (coliformes fécaux et totaux, streptocoques fécaux, etc. ...), de certains parasites animaux (kystes d'amibes, de *Giardia* ou de *Cryptosporidium*.; œufs d'helminthes...).

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

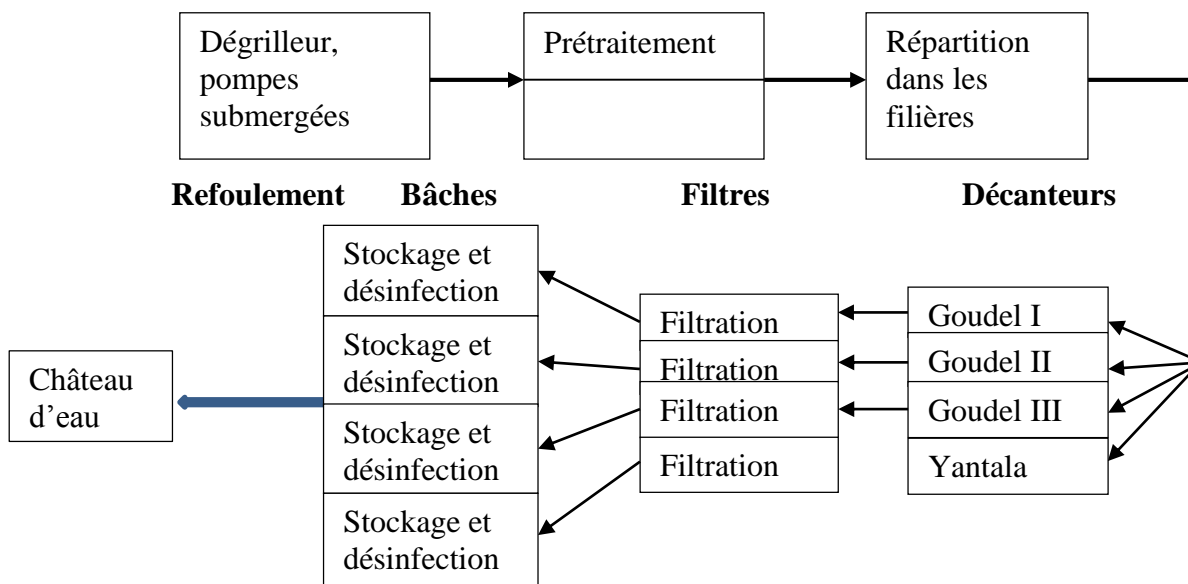


Figure 10: schéma de chaîne du traitement de la station

➤ **Synoptique**

La télégestion permet une gestion à distance à temps réel et continue. Les surveillants de quart contrôlent le traitement de l'eau à travers un ordinateur. En effet, les éléments comme, le niveau des châteaux d'eau en ville, des bassins de rétention, la mise en marche/arrêt des pompes d'exhaure et de refoulement sont gérés à distance. Les données sur les paramètres (pH, turbidité, pressions,....).

4. Evaluation des besoins/demandes en eau à l'horizon 2025

Le besoin en eau peut être défini comme la quantité d'eau nécessaire à fournir à un ou des usagers pour l'accomplissement de ses activités à un temps donné.

Mais, la demande en eau représente la quantité d'eau à prélever dans le milieu naturel pour faire face à la couverture des besoins et les différentes pertes.

Ainsi pour le dimensionnement du système d'AEP à mettre en place, la demande en eau sera utilisée.

a) Principe de calcul

La mise en place d'un système AEP viendrait augmenter le niveau de vie des populations (réduction du temps de puisage et hygiène des lieux) ; qui auront tendance à s'en servir. Ainsi il ressort que les puits et forages traditionnels seront progressivement abandonnés au profit du système AEP.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

On distingue à Niamey et principalement dans notre zone d'étude deux types d'abonnés au réseau susceptible d'être intéressé par l'AEP. Il s'agit : des abonnés en branchements privés et en borne fontaine. Nous faisons l'hypothèse que l'on se situe dans une situation où tous les points d'eau éventuels sont asséchés. Ce qui obligerait l'ensemble de la population de s'alimenter uniquement au niveau du réseau qui sera mis en place.

b) Horizon de dimensionnement

L'horizon du dimensionnement du projet est fixé à 2025 conformément aux termes de références.

c) La population en 2025

L'estimation de la population en 2025 s'est faite en utilisant le taux d'accroissement de la ville de Niamey qui est de 2,5% issue du recensement de 2013 (source Institut Nationale de la Statistique (INS)). Ainsi l'accroissement de la population suit une loi exponentielle linéaire on écrit :

$$P_{2025} = P_{2015} * (1+a)^n$$

Echéance du projet : 2025

Année de référence : 2015

Population à l'année de référence(2015) : 73332 habitants

a : taux d'accroissement de la population en 2025 = 2,5%

n= 2025 – 2015 = 10 ans

$$P_{2025} = P_{2015} * (1+a)^n$$

$$P_{2025} = 73332 * \left(1 + \frac{2,5}{100}\right)^{10}$$

P₂₀₂₅ = 93871 habitants

d) Typologie de la ville

Le niveau d'urbanisation d'une ville peut être caractérisé par la concentration de populations et d'activités dont la complexité détermine la taille et la nature des ouvrages à mettre en place. Il

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

est donc nécessaire de connaître le type de centre dont on a affaire. Ainsi pour une population de 93871 habitants on remarque que :

$10\ 000 < \text{population de } 93871 < 100\ 000$ habitants alors notre zone d'étude peut être assimilée à une ville secondaire à moyenne consommation

(Source : Béga Urbain OUEDRAOGO cours Adduction réservoir)

e) Typologie des abonnés au réseau et leur répartition

Le système AEP qui sera mis en place permettra de desservir les populations avec des BP et des BF. Or le rapport technique de la SEEN permet d'estimer à 98,36% la population utilisant les BP et 1,64% ceux utilisant les BF. (Source : SPEN)

La population en 2025 est estimée à 93871 habitants répartis entre:

$$\text{pop}_{BP} = 93871 \times 0.98$$

$$\text{pop}_{BP} = 92332 \text{ personnes}$$

$$\text{pop}_{BF} = 93871 \times 0,0164$$

$$\text{pop}_{BF} = 1340 \text{ personnes}$$

5. Calcul des différents besoins

a) Les consommations spécifiques (Csp)

Pour ce qui concerne les consommations spécifiques, nous prenons les valeurs proposées par la SEEN (Société d'Exploitation des Eaux du Niger) qui sont supérieures à celles du PN-AEPA au Niger soit :

BP : consommation spécifique par habitant de : 60 l/j/habitant

BF : consommation spécifique par habitant de : 25 l/j/habitant

6. Coefficient de pointe

a) Coefficient de pointe saisonnier (Cs)

Ce coefficient prend en compte la variation de la consommation au fil des saisons. En effet la consommation d'eau en saison sèche est plus élevée car les autres sources d'eau ont tari. Ce qui

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

augmente la demande sur le réseau. Selon les données du réseau existant. Le mois de plus forte consommation est le mois d'Avril avec un coefficient de pointe de $S_{\text{aisonnier}} = 1,3$.

b) Coefficient de pointe journalier (C_{pj})

Le coefficient permet de déterminer la consommation journalière maximale à prendre en compte pour le dimensionnement des équipements et ouvrages.

Le coefficient de pointe journalier peut atteindre 3 dans les zones semi rurales et rurale des pays sahéliens par contre il est nettement plus faible dans les pays équatoriaux.

(Source : Béga Urbain OUEDRAOGO cours qualité des eaux naturelles et des eaux de consommation besoins et demande en eau). Nous plaçant dans la situation des pays sahéliens et nous adoptons comme coefficient de pointe journalier $C_{pj} = 1.2$.

c) Le coefficient de pointe horaire (C_{ph}).

Il exprime le comportement des usagers par l'eau au cours de la journée. Ainsi :

Grandes ville $C_{ph} = 1,5$ à $2,0$

Villes moyennes $C_{ph} = 2,5$

Milieu rural $C_{ph} = 3$ à $4 - 6$

(Source : Béga Urbain OUEDRAOGO cours qualité des eaux naturelles et des eaux de consommation besoins et demande en eau)

Dans notre cas le coefficient de pointe horaire à adopter est de : $C_{ph} = 2,5$.

d) Le pourcentage de perte total (C_{pertes})

Les pertes dans le réseau de distribution sont de 10% du volume consommé soit un rendement de distribution de 90% selon les rapports de l'année 2014 de la SEEN pour la ville de Niamey.

Ainsi, le coefficient de perte à adopter pour les calculs de dimensionnement est de : $C_{pertes} = 1.1$

e) Détermination des besoins en eau journaliers

Les besoins en eau de la population de Niamey comprennent non seulement les besoins domestiques mais aussi d'autres besoins annexes. Les besoins annexes dans notre cas sont :

- Les besoins du cheptel
- Les besoins des centres de santé
- Les besoins de l'abattoir
- Les besoins de certains services administratifs et des écoles.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Les statistiques des sociétés africaines d'eau montrent que les besoins annexes représentent 30% des besoins domestiques. (Source : Béga Urbain OUEDRAOGO cours qualité des eaux naturelles et des eaux de consommation besoins et demande en eau)

7. Besoin journalier en eau de la population à l'horizon 2025

On distingue les besoins en eau des usagers qui utilisent les BP et ceux des BF.

$$B_j = C_{sp} \times POP_{BP} + 25\% \times C_{sp} \times pop_{BP}$$

Besoin en eau des BP de la population à l'horizon 2022

$$B_j = 60 \times 92\,331,67 + 0,25 \times 60 \times 92\,331,67$$

$$B_j = 6\,924\,875,46 \text{ l/j}$$

$$B_j = 6\,924,87 \text{ m}^3/\text{j}$$

8. Besoin en eau des BF de la population à l'horizon 2025

$$B_j = 25 \times 1\,539,49 + 0,25 \times 25 \times 1\,539,49$$

$$B_j = 48\,108,97 \text{ l/j}$$

$$B_j = 48,10897 \text{ m}^3/\text{j}$$

Ainsi le besoin en eau total de la population est de:

$$B_j = B_j \text{ (BP)} + B_j \text{ (BF)} = 6\,924,87 + 48,10897$$

$$B_j = 6973 \text{ m}^3/\text{j}$$

a) La Demande journalière en eau (D_j)

$$D_j = B_j \times C_s \times C_{pertes} = 6973 \times 1,3 \times 1,1$$

$$D_j = 9971,39 \text{ m}^3/\text{j}$$

b) La Demande en eau du jour de pointe (D_{jp})

$$D_{jp} = D_{jp} \times 1,2 = 9971,39 \times 1,2$$

$$D_{jp} = 11\,966 \text{ m}^3/\text{j}$$

c) Le débit moyen horaire (Q_{mh})

Le temps de pompage est de 12 h pour les BF et de 24h pour les BP. Ainsi la demande D_{jp} est répartie suivant: 553.8 m³/j pour les BF et 814.63 m³/j pour les BP.

$$Q_{mh} = \frac{11\,883,09}{24} + \frac{82,55}{12}$$

$$Q_{mh} = 502,01 \text{ m}^3/\text{h}$$

d) Le débit de l'heure de pointe horaire (Q_{ph})

$$Q_{ph} = Q_{mh} \times 1,2 = 502,01 \times 1,2$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$D_{jp} = 1255,02 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_{jp} = 348,62 \text{ l/s}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

e) Récapitulatif

Tableau 3: Détermination du besoin en eau à l'horizon 2025

Branchements	Branchement Privé	Bornes Fontaines
Année	2015	
Population en 2015 (P0)	73 332	
Taux d'accroissement (a)=2,5%	0,0250	
Horizon du projet	2025	
n= Année Projet 2025- Année 2015	10	
Population de 2025 $P_{2025} = P_{2015} * (1 + a)^n$	93 871,16	
Coefficient de pointe mensuelle	1,30	1,30
Répartition de la population(%)	98,36	1,64
Population correspondante (hbts)	92 331,67	1 539,49
Consommation spécifique (l/hab./j)	60,00	25,00
Perte dans réseau (%)	1,10	1,10
Coefficient de pointe journalière	1,20	1,20
Besoin en eau de la population l'horizon 2025	5 539 900,37	38 487,18
Consommation annexe	1 384 975,09	9 621,79
consommation moyenne totale de la population	6 924 875,46	48 108,97
Demande journalière (l/j)	11 883 086,29	82 554,99
Demande journalière (m ³ /j)	11 883,09	82,55
Demande journalière totat (m ³ /j)	11 966	
Temps d'utilisation(h)	24,00	12,00
Débit moyen horaire (m ³ /h)	495,13	6,88
Coefficient de pointe horaire	2,00	2,00
Débit de pointe horaire (m ³ /h)	990,26	13,76
Débit de pointe horaire (l/s)	275,07	3,82
Débit de pointe horaire total (l/s)	278,89	

9. Dimensionnement du réservoir

Les réservoirs d'eau sont des ouvrages destinés au stockage de l'eau dans le processus de distribution. Ils jouent un rôle tampon entre la production d'eau et la distribution d'eau aux consommateurs. Il assure l'écoulement gravitaire dans le réseau de distribution. Il permet en fin d'avoir un temps de contact nécessaire pour les désinfectants comme le chlore.

Choix du site pour l'emplacement du réservoir

Les paramètres suivants ont servi au choix du site du réservoir :

Il doit être située dans un endroit où il y a moins des contraintes environnementaux, dans une possible centrale tant que possible, et au niveau d'un point haut pour minimiser sa hauteur d'élévation lors de la construction tout en garantissant la pression minimale de service requise à tous les nœuds.

10. Détermination de la capacité utile du réservoir

Pour une meilleure évaluation du volume de cet ouvrage, nous procéderons par deux méthodes différentes dans leur approche. La méthode forfaitaire et la méthode du tableau

a) La méthode forfaitaire

La capacité de stockage sur dans réseau de distribution est comprise entre 25% et 50% avec une moyenne 33%, de la consommation journalière de pointe, (Denis ZOUNGRANA, 2008), ce volume se décompose en trois réserve : la réserve de distribution RD. La réserve de sécurité RS, qui dépend du niveau de service, la réserve d'incendie RI. Le ce calcul de la manière suivante.

$$V_{res} = \frac{C_{jmp}}{3}$$

V_{res} = Volume du réservoir

C_{jmp} = Consommation journalière de pointe.

- La somme totale vaut 11966 m³/j comme besoin de pointe journalière.
- Le volume sera donc : $V_{res} = \frac{11966}{3} = 3988,67\text{m}^3$
- Approximativement on a un volume de 4000 m³

b) La méthode de tableau

Cette méthode consiste à répartir en fonction des heures de consommation, des coefficients de consommation en se basant sur la demande pour ainsi évaluer la quantité d'eau consommée pendant ces heures. Nous supposerons que le pompage se fait pendant 24h/24 au niveau de la station de Goudel.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Le débit entrant dans le réservoir

$$Q_{entrant} = (B_{pjT})/24 = \frac{11988}{24} = 374,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le débit sortant du réservoir

$$Q_{Sortrant} = \frac{B_{pjT}}{24} = \frac{11966}{24} = 374,46 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le débit distribué

$$Q_{Distribué} = \text{Coefficient de consommation de la période} \times Q_{Sortrant}$$

Volume distribué

$$V_{Distribué} = Q_{Distribué} \times \text{durée de la période}$$

Volume entrant

$$V_{entrant} = Q_{entrant} \times \text{durée de la période}$$

Période: les heures représentant les variations des consommations et des adductions.

Volume pompé par jour = volume distribué par jour

$$C_u = |\text{déficit Max}| + \text{Excédent Max}$$

$$C_u = |-4038,4| + 2692,3 = 6731 \text{ m}^3$$

Calcul de la capacité totale du réservoir

Des considérations techniques amènent à réaliser un réservoir de capacité supérieure à la capacité utile qui ne prend en compte que la fonction régulation entre les consommations et les apports

Prise en compte de la réserve incendie

Vu la croissance démographique et la nécessité de la région de Niamey à l'horizon 2020, il est toujours important de disposer d'une réserve non utilisable dans les conditions normales d'exploitation.

Pour la capacité totale nous tenons en compte d'une réserve incendie de $V_{inc} = 2 \times 60 = 120 \text{ m}^3$ correspondant à 2 heures.

(Source : Béga Urbain OUEDRAOGO cours ouvrages constitutifs de systèmes d'AEP/ adduction-réservoirs-réseaux de distribution)

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

La justification de cette approche est qu'avant que les sapeurs-pompiers n'épuisent les 60 m³ disponibles en heure de temps, le délais est suffisamment long et permet de prendre les dispositions nécessaires pour alimenter le réservoir.

$C_t = C_u + V_{inc} = 6731 + 2 \times 60 = 6851 \text{ m}^3$ La prise en compte de la réserve incendie amène à retenir une $C_t = 7000 \text{ m}^3$ comme la capacité totale du réservoir.

Mais nous avons opté pour une capacité de 2000 m³ pour les raisons suivantes que nous allons justifier ci-dessous :

- Le réservoir sera équipé de quatre (04) pompes, chacune des pompes doit refouler un débit de **339,61 m³/h**, soit au total 1358,44 m³/h et 32602,56 m³/j contre un besoin journalier de pointe qui est de 11 966 m³/h (**le besoin journalier de pointe est nettement inférieur à la capacité de refoulement des quatre (04) pompes**). La puissance de chaque pompe est de 200 KW avec une HMT de 70,85 m. On remarque ici que les pompes peuvent remplir un réservoir de 2000 m³ en moins de 2h seulement.
- Les quatre (04) pompes sont contrôlées à partir de la salle télégestion qui est située à la station de traitement, à partir de cette salle on peut contrôler en temps réel le niveau de remplissage du réservoir. Donc ceci a pour conséquence d'éviter un déficit du niveau d'eau dans le château, en effet pendant la période de la journée ou la consommation est élevée on fait travailler toutes les pompes, et dans le cas contraire c'est-à-dire si la consommation baisse on procède à l'arrêt de certaines pompes tout en gardant l'œil sur la variation du niveau d'eau dans le réservoir.
- Compte tenu des infrastructures existantes on peut réduire la capacité de stockage de notre réservoir sans qu'on puisse perturber la consommation de la population, donc on permet à la SPEN d'économiser de ressources financières énormes.
- Le choix porté sur les 2000 m³ n'est pas le fruit d'un hasard, si non on aurait pu prendre 4000 ou 5000 m³ mais l'expérience a montré que sur les treize (13) châteaux d'eau qui existent à Niamey, le plus grand a une capacité de 3000 m³. Les autres ont en moyenne une capacité de stockage qui est proche de 2000 m³, donc on dispose plus des données en ce qui concerne le coût de réalisation, le mode d'exécution des ouvrages, les types d'engins. On a aussi plus de concurrent potentiel lors de la soumission du marché.

Voici quelques justifications sur le choix d'un réservoir de 2000 m³

CHAPITRE IV : DIMENSIONNEMENT EN BETON ARME DES ELEMENTS DU RESERVOIR

I. Hypothèse de l'étude

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

- Le fascicule 74 relative à la construction des réservoirs
- Cahier des clauses techniques générales : fascicule 62 titre 1, règle dénommées BAEL
- Règles NV65 qui définit les effets de la neige et du vent sur les constructions
- Le BAEL 91 modifiée 99 et DTU associés

1. Chargements

✓ **Charges permanentes**

- Poids propre de la construction
- Poids surfacique de l'étanchéité: 50 daN/ m²
- Escaliers métalliques
- Équipements

✓ **Charges variables**

- Liquide contenu : poids volumique : 1000daN/m³
- Charges d'entretien de couverture : 100 daN/m²
- Surcharges sur planchers : 200 daN/m²

✓ **Charges de neige :**

- Néant

✓ **Charges de vent**

- Zone 3 avec pression dynamique de base à 38,34 daN/m²
- Site exposé avec coefficient de site à 1,25

2. Combinaisons

✓ **Combinaisons aux ELS :**

- $G_{\max} + G_{\min} + Q_1 + \sum \psi_{0i} Q_i$

✓ **Combinaisons aux ELS :**

- $1,35G + 1,5(Q + \psi_{0i} T) + 1,2W$
- $1,35G + 1,8W + 1,3(Q + \psi_0 T)$
- $G + 1,8W + 1,3\psi_0 T$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

3. Béton

- La résistance caractéristique du béton à la compression à 28 jours est de 30 MPa;
- Poids volumique du béton 25 kN/m³
- L'enrobage est de 3 cm pour tous les éléments de la structure
- Résistance caractéristique à la traction du béton à l'ELS : $\sigma_{bc} = 0,6 \times f_{c28}$

$\sigma_{bc} = 0,6 \times 30 \Rightarrow \sigma_{bc} = 18$ MPa et en fondation, Le poids du radier et du liquide contenu sollicite le sol en compression. La contrainte correspondante est :

$$\delta = \frac{P}{S} = \frac{59300,62}{\pi \cdot 10^2} = 0,188 \text{ Mpa} = 2 \text{ bar}$$

- Le module de déformation longitudinale instantanée du béton

$$E_{ij} = 11000 \times f_{c28}^{1/3}$$

$$E_{ij} = 11000 \times 30^{1/3} = 34179,56 \text{ MPa}$$

- La déformation longitudinale complémentaire due au fluage du béton :

$$E_{vj} = 3700 \times f_{c28}^{1/3}$$

$$E_{vj} = 3700 \times 30^{1/3} = 11496,76 \text{ MPa}$$

Cas de la coupole

- Résistance caractéristique à la traction du béton à l'ELU: $f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c28}$

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times 30 \Rightarrow f_{t28} = 2,4 \text{ MPa}$$

Cas des sections entièrement tendues ou développées sur la face mouillée des parois.

4. Acier

Caractéristique des aciers utilisés :

- HAFE500 avec $f_y = 500$ MPa
- Acier doux FE235 avec $f_y = 235$ MPa
- module d'élasticité $E_s = 200\ 000$ MPa
- Les différents paramètres de limitation des contraintes de l'acier et béton sont explicités dans le Fascicule 74.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$\sigma_{st} = \alpha \times \sqrt{\frac{\eta f_{t28}}{\phi}} + \beta \times \eta$$

$$\alpha = 240 ; \eta = 1,6; f_{t28} = 2,4 \text{ MPa et } \beta = 30$$

$$\sigma_{st} = 240 \times \sqrt{\frac{1,6 \times 2,4}{\phi}} + 30 \times 1,6$$

$$\sigma_{st} = 240 \times \sqrt{\frac{3,84}{\phi}} + 48$$

Tableau 4: Contrainte admissible de l'acier tendu en fonction du diamètre des aciers

ϕ (mm)	σ_{st} (MPa)
6	228
8	204
10	187
12	175
14	166
16	158
20	146
25	136

5. Étanchéité

La cuve recevra un complexe d'étanchéité de type résine polyuréthane bi-composant sans solvant à très hautes performances qui sera adhérente au béton. Cette étanchéité devra donc assurée la protection du béton et être préconisée dans le cadre de cuves de réservoir, pour le cas de cet ouvrage il est préférable de s'orienter vers un produit de la société NORCO SA, à savoir le NOR 60 préconisé dans le cadre de l'étanchéité de réservoirs.

Les caractéristiques du produit permettront de définir la valeur du paramètre α dans le cadre de la limitation de la contrainte de traction dans les armatures.

6. Effets climatiques

Il est évident que la température et le retrait agissent sur un réservoir comme sur toute autre construction, surtout si le réservoir est surélevé. On n'en tient habituellement pas compte,

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

l'expérience montrant que cela n'a pas donné lieu à des désordres. Notons par ailleurs, que le retrait thermo-hygro-métrique est rare. Quand elle est pleine, il n'y a pas retrait, mais au contraire réduit les contraintes de traction dans le béton, c'est un élément favorable.

7. Etude des sols et Fondation

Cette étude a pour objectif principal de déterminer :

- La nature des sols de fondations ;
- Le système et le type de fondations ;
- Le niveau d'assise des fondations ;
- La contrainte admissible du sol ;
- Les précautions particulières à observer

Comme dans tout projet de génie civil, l'étude du sol sur lequel va être bâti un édifice est primordiale. En effet, le dernier élément qui supporte toutes les charges du château est le sol.

Ce dans cette optique que l'étude géotechnique se trouve au centre de notre travail.

Dans le cas de notre étude, le taux de travail de sol est de 2 bar admissible à -3,00 m/TN selon le rapport de sol de LEGENI S.A du Niger.

8. Données dimensionnelles architecturales

Le château d'eau a une cuve de forme tronconique et est constitué des éléments suivants :

- Ceinture supérieure : 0,50 m × 0,80 m
- La flèche de la coupole : $f = 2,64$ m
- Rayon de courbure de la coupole : $R_{courbure} = 29,28$ m
- Diamètre de la petite base de la cuve : $D_{int} = 14,70$ m ; $D_{ext} = 15,30$ m
- Diamètre de la grande base de la cuve : $D_{int} = 23,70$ m ; $D_{ext} = 24,30$ m
- Diamètre de la tour : $D_{int} = 7,90$ m ; $D_{ext} = 8,50$ m
- Diamètre de la cheminée : $D_{int} = 1,60$ m ; $D_{ext} = 2$ m
- Epaisseur de la coupole de couverture : 0,20 m
- Epaisseur de la paroi de la cuve: 0,30 m (le minimum d'après le Fascicule 74 est de 0,15 m)
- Epaisseur de la dalle de fond : 0,70 m
- Epaisseur de la tour : 0,30 m
- Epaisseur de la paroi de la cheminé : 0,20 m

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

- Forme de la cuve : tronconique
- Hauteur de la cuve : 10 m
- Volume de la cuve : 2000 m³

9. Vérification de la capacité

Tableau 5: Vérification de la capacité de la cuve

Elément de volume		Formules	Volumes
La cuve		$V_1 = \frac{\pi \times h}{3} (R^2 + r^2 + R \times r)$	2165,469133
H	7		
Rint	7,16		
Rext	12,45		
La cheminée		$V_2 = \pi \times r^2 \times h$	16,08495439
H	8		
R _c	0,8		
Volume d'eau dans la cuve		$V_t = V_1 - V_2$	2149,384179

II. Descentes des charges et Dimensionnement des éléments du château

Les éléments en béton armé de la structure sont dimensionnés manuellement sur la base des méthodes et hypothèses présent :

- la superstructure selon le BAEL 91 modifié 99, et le fascicule 74, et ;
- la fondation (radier général) selon le fascicule 62 Titre V et DTU.13.12.

1. Lanterneau

Le lanterneau est la partie située sur la coupole de couverture, il est percé de fenêtre et recouverte d'une dalle. Il a pour rôle de permettre l'éclairage et la ventilation de la cuve.

Le lanterneau est composé d'une dalle supportée par un voile cylindrique.

La dalle supporte son poids propre et le poids de l'étanchéité. Le voile cylindrique supporte le poids de la dalle, son poids propres plus l'étanchéité intérieur et extérieur.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Tableau 6: Détermination du poids total de Lanterneau

Elément		Formule du poids	Poids (kN)
Dalle circulaire au-dessus du voile		$P_1 = \frac{\pi \times D^2 \times e \times \gamma_b}{4}$	13,61438629
E	0,15		
γ_b	25		
D	2,15		
Étanchéité sur la dalle circulaire		$P_2 = \frac{\pi \times D^2 \times e \times \gamma_{\text{étanchéité}}}{4}$	0,054457545
γ étanchéité	0,5		
E	0,03		
Voile cylindrique au-dessus du lanterneau		$P_3 = \frac{\pi}{4} (D_{\text{ext}}^2 - D_{\text{int}}^2) \times h \times \gamma_b$	22,05987091
γ_b	25		
H	1,07		
D_{int}	1,6		
D_{ext}	1,9		
Étanchéité sur le voile cylindrique		$P_4 = \pi (D_{\text{ext}} - D_{\text{int}}) \times h \times \gamma_{\text{enduit}}$	0,141371669
γ étanchéité	0,5		
H	0,3		
D_{int}	1,6		
D_{ext}	1,9		
Total		$P_{\text{lanterneau}} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4$	35,87008642

Calcul de la dalle circulaire du lanterneau

- G = poids propre de la dalle + étanchéité = 13.66 kN
- Q = 3.63 kN

Calcul du poids par mètre carré (m²) de la dalle

- Surface de la dalle $S = \pi \times r^2 = \pi \times 1.075^2$

$$S = 3.63 \text{ m}^2$$

$$G_{\text{m}^2} = \frac{13.66}{3.63} = 3,76 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow G_{\text{m}^2} = 3,76 \times 10^{-3} \text{ MN/m}^2$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$Q_{m^2} = \frac{3,63}{3,63} = 1 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow Q_{m^2} = 1 \times 10^{-3} \text{ MN/m}^2$$

D'après le BAEL, $\alpha = \frac{l_x}{l_y} \leq 0,4$

Avec $l_x = 1,90 \text{ m}$ et $l_y = 1,90 \text{ m}$

$\alpha = 1 > 0,4$, la dalle est bidirectionnelle d'épaisseur 15 cm.

Le calcul se fera comme une poutre rectangulaire de largeur $b_0 = 1 \text{ m}$ et de hauteur $h = 0,15 \text{ m}$.

$$\text{A l'ELU : } P_u = 1,35 \times G_{m^2} + 1,5 \times Q_{m^2}$$

$$P_u = 1,35 \times 3,76 \times 10^{-3} + 1,5 \times 1 \times 10^{-3} \Rightarrow P_u = 6,58 \times 10^{-3} \text{ MN/m}^2$$

$$\alpha = 1 \Rightarrow \begin{cases} \mu_x = 0,037 \\ \mu_y = 1 \end{cases}$$

Calcul des moments

$$M_{ox} = \mu_x \times P_u \times l_x^2$$

$$M_{ox} = 0,037 \times 6,58 \times 10^{-3} \times 1,90^2$$

$$M_{ox} = 0,879 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

$$M_{oy} = \mu_y \times M_{ox}$$

$$M_{oy} = 1 \times 0,879 \times 10^{-3} \Rightarrow M_{oy} = 0,879 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

$$f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b}$$

$$f_{bu} = \frac{0,85 \times 30}{1 \times 1,5}$$

$$f_{bu} = 17 \text{ MPa}$$

Calcul de moment limite

$$M_{lim} = 0,392 \times f_{bu} \times b_0 \times d^2$$

$$M_{lim} = 0,392 \times 17 \times 1 \times (0,9 \times 0,15)^2$$

$$M_{lim} = 0,121 \text{ MN.m}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$M_{lim} = 0,121 \text{ MN.m} > M_{ox} = 0,879 \times 10^{-3} \text{ MN.m}$$

Calcul de la section d'armature

$$A_{ox} = \frac{M_{ox}}{z \times \frac{f_e}{\gamma_s}}$$

Avec $z = 0,9 \times d$

$$A_{ox} = \frac{0,879 \times 10^{-3}}{(0,9 \times 0,135) \times \frac{500}{1,15}}$$

$$A_{ox} = 0,166 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

$$A_{ox} = 0,166 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

$$M_{oy} = 0,879 \times 10^{-3} \text{ MN.m} < M_{lim} = 0,121 \text{ MN.m}$$

$$A_{oy} = \frac{M_{oy}}{z \times \frac{f_e}{\gamma_s}}$$

Avec $z = 0,9 \times d$

$$A_{oy} = \frac{0,879 \times 10^{-3}}{(0,9 \times 0,15) \times \frac{500}{1,15}}$$

$$A_{oy} = 0,166 \text{ cm}^2/\text{m}^2$$

$$A_{oy} = 0,166 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

Choix : 6HA8/ml suivant A_x et A_y avec une section de 3,02 cm² (voir annexe 1, tableau 1) avec un espacement de 20 cm

➤ **Calcul de la partie cylindrique du lanterneau**

La paroi de la partie cylindrique du lanterneau sera calculée comme un voile de 1.07 m (hauteurs entre la dalle du lanterneau et la coupole) 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

- Longueur « c » du voile supérieur ou égale à 5 fois son épaisseur

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$c = 2\pi r = 2\pi \times 0,95$$

$$c = 5,97 \text{ m}$$

$$5 \times e = 5 \times 0,15 = 0,75 \text{ m}$$

$$c = 5,97 \text{ m} > 5 \times e = 0,75 \text{ m} \text{ Ok !}$$

- Epaisseur supérieur ou égale à 10 cm : dans notre cas $e = 15 \text{ cm}$. Ok !
- L'élanement $\lambda = \frac{l_f \times \sqrt{12}}{a} \leq 0,80$ (voir annexe1, tableau 2) avec $\frac{l_f}{1} = 0,85$ (voir annexe1, tableau 3)

$$\lambda = \frac{0,85 \times 1 \times \sqrt{12}}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{0,85 \times 1,07 \times \sqrt{12}}{0,15}$$

$$\lambda = 21,00 > 0,80, \text{ la condition est vérifiée}$$

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

$$e = \min\left(0,02 \text{ m}; \frac{0,91}{300}\right) \Rightarrow e = \min(0,02 \text{ m}; 0,0030 \text{ m})$$

$$e = 0,0030 \text{ m, OK !}$$

- La résistance caractéristique du béton : $f_{c28} = 30 \text{ MPa} < 40 \text{ MPa}$; ok

Les conditions d'application de la méthode de voile sont vérifiées pour calculer la paroi de la tour comme un voile.

La charge permanente $G = \text{poids de la partie cylindrique} + \text{poids de la dalle} = 35,87 \text{ kN}$

La charge d'exploitation $Q = 1 \text{ kN}$

Combinaison de charge

- **A l'ELU**

$$P_u = \frac{1,35G + 1,5Q}{2\pi r}$$

$$P_u = \frac{1,35 \times 35,87 + 1,5 \times 1}{2\pi \times 0,95} = 8,36 \text{ kN/ml}$$

$$P_u = 0,00836 \text{ MN/ml}$$

Calcul d'armature

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Calcul de la quantité V_{u0}

V_{u0} Correspond la valeur que prend Nu_{lim} quand la section $A=0$

$$V_{u0} = \frac{65}{135 + 3,6 \left(\frac{l_f}{a}\right)^2}$$

$$V_{u0} = \frac{65}{135 + 3,6 \left(\frac{0,91}{0,15}\right)^2}$$

$$V_{u0} = 0,243$$

Calcul de la quantité V_u

V_u Correspond la valeur que prend Nu_{lim} quand la section $A \neq 0$

$$V_u = \frac{k \times P_u}{Br \times fc_{28}}$$

$$V_u = \frac{1 \times 0,00836}{(0,15 - 0,02) \times 30}$$

$$V_u = 0,0021$$

Comme $V_u = 0,0021 < V_{u0} = 0,243$, nous allons dimensionner le voile comme un voile armé aux armatures minimales de construction.

$$A_v \geq Av_{min} = a \times d \times \max \left[0,001; 0,0015 \frac{400}{f_e} \times \theta \left(\frac{3P_u}{Pu_{lim}} - 1 \right) \right]; \text{ (Voir annexe1, tableau 4)}$$

avec $\theta = 1,4$ pour voile de rive

$$Pu_{lim} = V_{u0} \times Br \times fc_{28} \Rightarrow Pu_{lim} = 0,243 \times (0,15 - 0,02) \times 30$$

$$Pu_{lim} = 0.948 \text{ MN}$$

$$Av_{min} = a \times d \times \max \left[0,001; 0,0015 \frac{400 \times \theta}{f_e} \left(\frac{3 \times P_u}{Pu_{lim}} - 1 \right) \right]$$

$$Av_{min} = 0,15 \times 1 \times \max \left[0,001; 0,0015 \frac{400 \times 1,4}{500} \left(\frac{3 \times 0,00836}{0,948} - 1 \right) \right]$$

$$Av_{min} = 0,1 \times 1 \times \max[0,001; -0,00168]$$

$$Av_{min} = 0,00015 \text{ m}^2$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$A_{v_{\min}} = 1.5 \text{ cm}^2$$

Choix : 4HA8 totalisant une section de 2.01cm² (voir annexe1, tableau 1) avec un espacement de 40 cm

- **Diamètre des armatures**

$$8 \text{ mm} \leq d \leq \frac{h_0}{10} \Rightarrow 8 \leq d \leq \frac{150}{10}$$

8mm ≤ d ≤ 10 mm ⇒ 8 mm < 15 mm , la condition est vérifiée

- **Armature horizontale**

$$A_{h_{\min}} = \max \left[0,001; \frac{2A_v}{3 \times a \times d} \right] ; \text{ (Voir annexe1, tableau 4)}$$

$$A_{h_{\min}} = 100 \times 10 \times \max \left[0,001; \frac{2 \times 2.01}{3 \times 15 \times 100} \right]$$

$$A_{h_{\min}} = 1000 \times \max[0,001; 0,00089]$$

$$A_{h_{\min}} = 1.34 \text{ cm}^2$$

Choix : 4HA8 totalisant une section de 2,01 cm² (voir annexe1, tableau 4)

- **Vérification de contrainte limite de compression dans le béton**

$$\sigma_b = \frac{N}{S}$$

$$\sigma_b = \frac{P_{\text{lanterneau}}}{S} \Rightarrow \sigma_b = \frac{0,0108}{\pi(1,9^2 - 1,6^2)}$$

$$\sigma_b = 0,0108 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{blim}} = \min \left[\frac{h_0 + 0,55}{3} f_{c28}; 130 \frac{h_0}{D} (f_{c28})^{1/3} \right]$$

$$\sigma_{\text{blim}} = \min \left[\frac{0,1 + 0,55}{3} \times 30; 130 \frac{0,15}{1,9} (30)^{1/3} \right]$$

$$\sigma_{\text{blim}} = \min[7 \text{ MPa}; 31,89 \text{ MPa}]$$

$$\sigma_{\text{blim}} = 7 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 0,0108 \text{ MPa} < \sigma_{\text{blim}} = 7 \text{ MPa}, \text{ OK}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

2. Coupole de couverture

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages
- Source : Dr Adamah MESSAN. COURS DE DIMENSIONNEMENT DES RESERVOIRS EN BETON ARME. 2015.

La coupole de couverture, (de même que la coupole de fond) 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.

Vérification des prescriptions de Fascicule 74.

Soit f la flèche au niveau de la coupole supérieure.

$$f \geq \frac{D}{10} \frac{D}{10} = \frac{25,4}{10} = 2,54 \text{ m. Dans notre cas } f = 2,64 \text{ m}$$

Rayon de courbure est donnée par

$$R_c = \left(\frac{r^2 + f^2}{2 * r} \right) = 29,28 \text{ m}$$

Vérification de l'épaisseur

L'épaisseur de la coupole doit satisfaire :

$e \geq 8$ cm pour les coupoles de couverture

Dans notre cas $e = 20$ cm

P_t = poids propre de la coupole + poids d'étanchéité + charge d'entretien

$$P_t = \gamma_b \times e + \text{poids d'étanchéité} = 25 \times 0,2 + 5 + 1 = 11$$

Périmètre de la coupole : $P = 2\pi \times R = 2\pi \times 12,15$

$$P = 76,34 \text{ m}$$

La charge permanente par mètre linéaire : $P_1 = \frac{(r^2 + f^2) \times p_t}{2 \times r}$

$$P_1 = 72,87 \text{ kN/ml}$$

$$P_1 = 0,0728 \text{ MN/ml}$$

$$Q_1 = \left(\frac{r^2 - f^2}{2 \times r \times f} \right) * p_t = 0,025 \text{ MN/m}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Tableau 7: Détermination du poids total de la coupole supérieur

Elément		Formule du poids	Poids	
			G (kN)	Q (kN/m ²)
F	2,64	$P_t = \gamma_b \times e + \text{etanchéité} \left(\frac{KN}{m^2} \right)$ $P_1 = \left(\frac{r^2 + f^2}{2 \times r} \right) \times p_t$ $Q_1 = \left(\frac{r^2 - f^2}{2 \times r \times f} \right) \times p_t$ $N = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2}$	11	1
R _{int}	12,15		72,8683	
γ _b	25			
Charge etanchéitéKN/m ²	5		25,315	
E	0,2		77,1404	
R _{ext}	12,7		1653,5105	
R _{crb}	29,28			
R _{int}	12,15			
Ouverture du lanterneau		$P_2 = \frac{\pi \times D^2 \times e \times \gamma_b}{4}$	18,1525	
γ _{etanchéité} (KN/m ³)	0,5			
Poids de l'étanchéité sur la coupole		Surface	485,665	
		$P_3 = S \times e \times \gamma_{\text{etanchéité}}$	48,5665	
Total		$P_C = P_1 - P_2 + P_3$	1683,92	

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

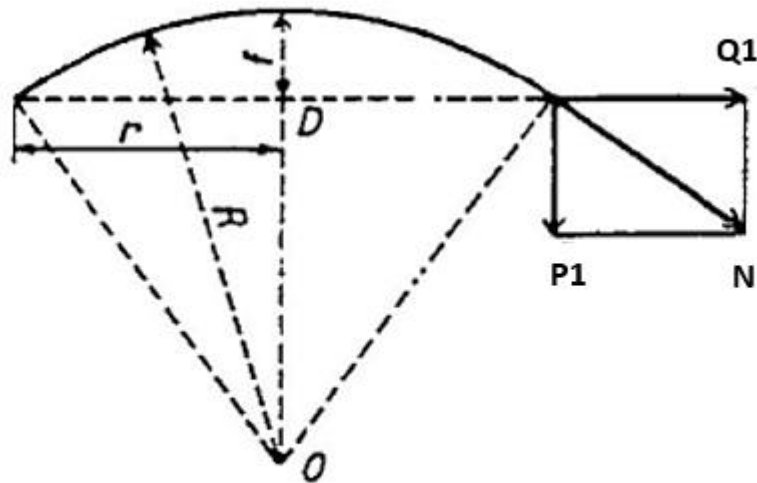


Figure 11: les différents efforts dûs à la coupole de couverture

L'effort normal est égal : $N = \sqrt{P1^2 + Q1^2}$

$$N = 0,077 \text{ MN/ml}$$

Comparaison de la contrainte σ et $\bar{\sigma}$

$$\sigma = \frac{N}{100 \times e} = \frac{0,077}{100 \times 0,2}$$

Contrainte admissible dans le béton

$$\bar{\sigma}_{adm} \leq \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \frac{100 \times e}{R} (f_{c28})^{1/3} \\ \frac{e+0,55}{3} f_{c28} \end{array} \right.$$

$$\leq \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} 2,12 \text{ Mpa} \\ 7,5 \text{ Mpa} \end{array} \right. \text{ Prenons } \bar{\sigma}_{adm} = 2.12 \text{ Mpa}$$

La contrainte dans le béton est inférieure à la contrainte admissible, on prendra comme section d'acier 0.2% de la section

$$\sigma = 0,0038 \text{ MPa} < 0,6 \times f_{c28} = 18 \text{ MPa}$$

Les aciers principaux

Le calcul de ferrailage se fera sur une bande de 1 m de largeur et de 0,2 m de hauteur

$$A_{st} = 0,2\% \times B$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Avec $B = h \times l$ par mètre linéaire

$$A_{st} = 0,2\% \times (0,2 \times 1) \times 10^4$$

$$A_{st} = 4 \text{ cm}^2/\text{ml}$$

On convient de prendre 5HA12 totalisant une section de 5,65 cm² (voir annexe, tableau 1) avec un espacement de 20 cm.

Les cerces

$$A_r \geq \frac{A_{st}}{4} = \frac{3,52}{4}$$

$$A_r \geq 1.41 \text{ cm}^2$$

On convient de prendre 5HA12 totalisant une section de 5,65 cm² (voir annexe, tableau 1) avec un espacement de 20 cm.

Comme la section de la coupole est supérieur à 15 cm et conformément au fascicule 74, nous disposerons les armatures en deux lits

Les appuis du lanterneau exercent un effort de compression sur la coupole donc elle sera renforcé par les armatures chapeaux de même diamètre que les armatures principales donc la longueur est de :

$$L_{\text{chap}} \geq \max\left(\max\left(\frac{1}{4}(l_x; l_y)\right); 40 \times \phi\right)$$

$$L_{\text{chap}} \geq \max\left(\max\left(\frac{1}{4}(12,15; 12,15)\right); 40 \times 0,012\right) \Rightarrow L_{\text{chap}} \geq \max(3,037; 0,48)$$

$$L_{\text{chap}} = 3,10 \text{ m}$$

La coupole étant soumise à une condensation de l'eau, par la suite la fissuration est donc jugée préjudiciable. La charge verticale permanente G crée un cisaillement dans la section.

Vérification à ELS

La contrainte limite du béton $\bar{\sigma}_{bc}$

$$\bar{\sigma}_{bc} = \frac{h_0 + 0,55}{3} \times f_{c28}$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = \frac{0,2 + 0,55}{3} \times 30$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$\bar{\sigma}_{bc} = 7,5 \text{ MPa}$$

La contrainte limite de l'acier $\bar{\sigma}_a = 204 \text{ MPa}$ (voir tableau N°1)

$$\bar{\sigma}_{bc} = 7,5 \text{ MPa} < \bar{\sigma}_a = 204 \text{ MPa OK}$$

Plan de ferrailage (voir annexe)

3. Ceinture supérieure

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages
- Source : Dr Adamah MESSAN. COURS DE DIMENSIONNEMENT DES RESERVOIRS EN BETON ARME. 2015.

Tableau 8: Détermination du poids total de la ceinture supérieur

Eléments		Formules	Poids (kN)
Ceinture		$P_1 = \frac{\pi \times (D_{Ext}^2 - D_{Int}^2) \times h \times \gamma_b}{4}$	858,75
Γb	25		
B	0,5		
H	0,8		
$R_{ceinture}$	12,7		
Dext	25,4		
Dint	24,3		
Poussée de l'eau P2		$P_2 = \left(\Delta \times \frac{H_{eau}^2}{2} \right)$	1,25
Hauteur	0,5		
γ_{eau} KN/m ³	10		
Total		$P_C = P_1 + P_2$	860,00

La ceinture supérieure est sollicitée par deux efforts à savoir

- la poussée hydrostatique
- la poussée due à la coupole

Pré-dimensionnement

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$N_f = B \times f_{t28} \Rightarrow B \geq \frac{N_f}{f_{t28}}$$

$$\checkmark Q_1 = 29,30 \text{ KN/ml} ; f_{t28} = 2,4 \text{ et } f_{t28} = Q \times R$$

$$\Leftrightarrow B \geq \frac{1,25 + 25,32 \times 12,7}{2,4} \times 10 \Rightarrow B = 1405,73 \text{ cm}^2.$$

Elle sera dimensionnée comme une poutre en flexion composée comme étant soumise à l'effort de poussée tangentielle due à la coupole et à l'eau. Notre poutre a pour section $h = 0,80 \text{ m}$ et $b_0 = 0,50 \text{ m}$

Le poids propre de la ceinture $G = 860,00 \text{ kN}$

Répartissons la charge sur la longueur

$$- \text{ Périmètre de la ceinture Périmètre} = 2\pi \times R = 2\pi \times 12,7$$

$$P = 79,75 \text{ m}$$

$$G_{ml} = \frac{G}{\text{Périmètre}} \Rightarrow G_{ml} = \frac{860}{79,75} = 10,77 \text{ kN/ml}$$

$$G_{ml} = 0,0177 \text{ MN/ml}$$

$$- \text{ La charge horizontale transmise par la ceinture est } Q_1 = 2\pi \times R = 2\pi \times 12,7$$

$$Q_1 = 0,043 \text{ MN/ml}$$

Calcul à l'ELS de la ceinture supérieure

$$P_{ser} = G_{ml} + Q_{ml} \Rightarrow P_{ser} = 0,0177 + 0,043$$

$$P_{ser} = 0,054 \text{ MN/ml}$$

$$\text{L'effort de traction } F = P_{ser} \times R \Rightarrow F = 0,054 \times 12,70$$

$$F = 0,69 \text{ MN}$$

$$\text{La contrainte de traction dans les armatures } \sigma_s = \min\{0,5 \times f_e; 90\sqrt{\eta \times f_{t28}}\}$$

Avec :

$$\eta = 1,6$$

$$f_{t28} = 0,6 + 0,06 \times f_{c28} = 0,6 + 0,06 \times 30 \Rightarrow f_{t28} = 2,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \min\{0,5 \times 500; 90\sqrt{1,6 \times 2,4}\} \Rightarrow \sigma_s = \min\{250 \text{ MPa}; 176,36 \text{ MPa}\}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$\sigma_s = 176,36 \text{ MPa}$$

Calcul de la section d'armature

$$A = \frac{F}{\sigma_s} = \frac{0,69}{176,36} = 0,003891 \text{ m}^2$$

$$A = 38,91 \text{ cm}^2$$

Condition de non fragilité

$$A_{\min} \geq B \frac{f_{t28}}{f_e}$$

$$A_{\min} \geq \frac{50 \times 80 \times 2,4}{500} \Rightarrow A_{\min} = 19,2 \text{ cm}^2 \text{ OK}$$

Choix : 20HA16 totalisant une section de 40.21 cm² (voir annexe1, tableau 1)

Vérification de la contrainte de l'acier

$$\bar{\sigma}_a = 240 \sqrt{\frac{\eta \times f_{t28}}{\Phi}} + \beta \times \eta$$

Avec $\alpha = 240$; $\beta = 30$; $\eta = 1,6$; $f_{t28} = 2,4 \text{ MPa}$

$$\bar{\sigma}_a = 240 \sqrt{\frac{1,6 \times 2,4}{16}} + 30 \times 1,6 = 165,57 \text{ MPa}$$

$$\bar{\sigma}_a = 165,57 \text{ MPa} > \sigma_s = 117,58 \text{ MPa}$$

Vérification de la contrainte de cisaillement : $\tau_u \leq \tau_{ulim}$

$$V_u = \frac{P_u \times \text{périmètre}}{2} \Rightarrow V_u = \frac{0,036 \times 79,75}{2}$$

$$V_u = 1,44 \text{ MN}$$

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 \times d} \Rightarrow \tau_u = \frac{1,44}{0,5 \times (0,9 \times 0,8)}$$

$$\tau_u = 4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ulim} = \min\left(\frac{0,2 \times f_{c28}}{\gamma_b}; 5 \text{ MPa}\right) \Rightarrow \tau_{ulim} = \min\left(\frac{0,2 \times 30}{1,5}; 5 \text{ MPa}\right)$$

$$\tau_{ulim} = \min(4 \text{ MPa}; 5 \text{ MPa})$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$\tau_{ulim} = 4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ulim} = 4 \text{ MPa} = \tau_u ; \text{OK}$$

Armature transversale

$$8 \text{ mm} \leq \phi \leq \frac{h_0}{10} \Rightarrow 8 \text{ mm} \leq \phi \leq \frac{800}{10}$$

$$8 \text{ mm} \leq \phi \leq 80 \text{ mm}$$

Nous adopterons pour les aciers transversaux les HA12

Espacement

$$S_t \leq \min(1,5 \times h_0; 20 \text{ cm})$$

$$S_t \leq \min(1,5 \times 80 ; 20 \text{ cm}) \Rightarrow S_t \leq \min(120 \text{ cm}; 20 \text{ cm})$$

$$S_t \leq 20 \text{ cm}$$

On adopte un espacement de 20 cm

✓ Zone de recouvrement (**Longueur de recouvrement**)

$$\checkmark \frac{l_s}{\phi} = 31 \Rightarrow \underline{l_s = 31 \times 2 = 62 \text{ cm}}$$

$$\checkmark l_r = 0.6 l_s \Rightarrow \underline{l_r = 37.2 \text{ cm}}$$

Plan de ferrailage (voir annexe).

4. Calcul de la paroi de la cuve tronconique

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages
- Source : Dr Adamah MESSAN. COURS DE DIMENSIONNEMENT DES RESERVOIRS EN BETON ARME. 2015.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Tableau 9: Epaisseur minimale des parois de la cuve d'un réservoir en béton

Classe A	15 cm
Classe B et C	12cm et 15 cm si le coffrage est glissant
Classe D	12 cm ; 10 cm si $F_{ck} \geq 30$ Mpa et 8 cm si $F_{ck} \geq 35$ Mpa

Action de la pression de l'eau

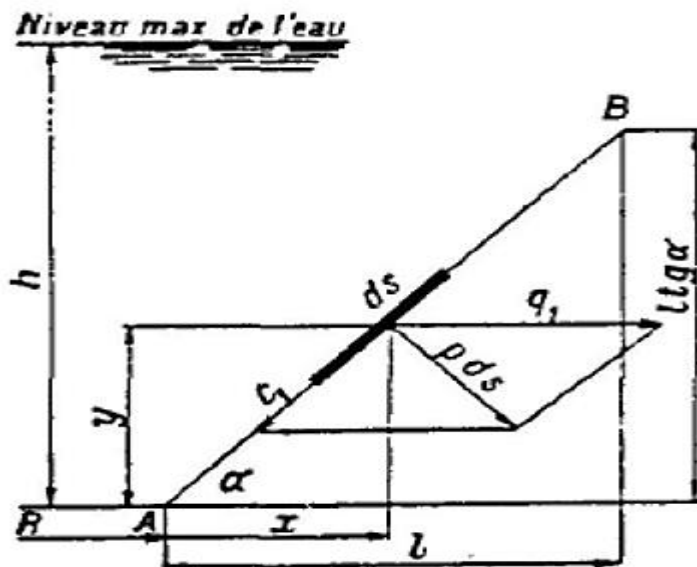


Figure 12: illustration de l'action du poids de l'eau sur la paroi de la cuve

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

$$F_1 = \frac{10 \times 5,54}{\sin 55^\circ \times \cos 55^\circ} \left[11,72 \times \left(3,82 + \frac{5,54}{2} \right) - \left(\frac{3,82}{2} + \frac{5,54}{3} \right) \right] \times 5,54 \times \tan 55^\circ$$

$$\Rightarrow F_1 = 1830,82 \text{ KN}$$

La force C_1 dirigée suivant les génératrices du tronc de cône.

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

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$= \frac{2 \times \pi \times 10}{\sin 55^\circ} \left[11,72 \times (3,82 + 1) - \left(\frac{3,82}{2} + \frac{5,54}{3} \right) \right] \times 5,54 \times \tan 55^\circ$$

$$\Rightarrow C_1 = 6556,93$$

Action du poids propre

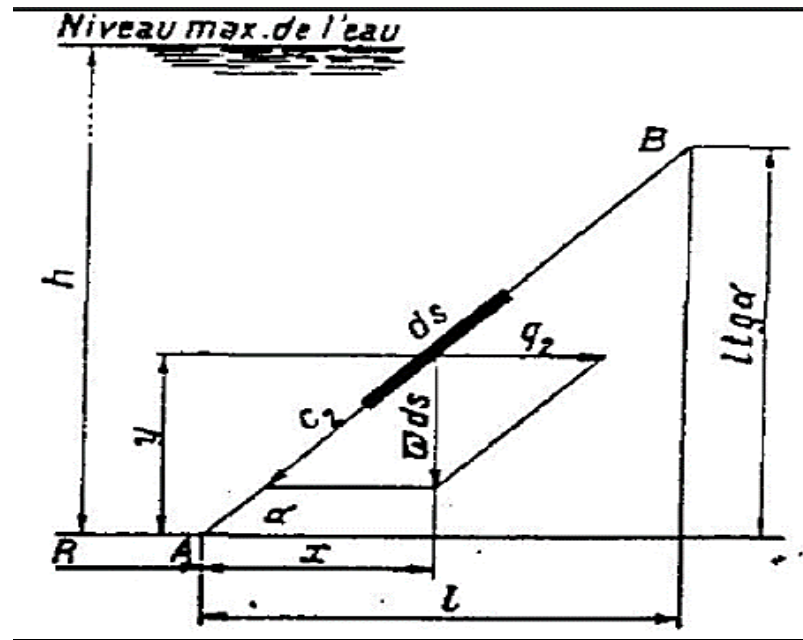


Figure 13: illustration de l'action du poids propre de la cuve

$$F_2 = \frac{\Delta l}{\sin \alpha} \times \left(R + \frac{l}{2} \right) \Rightarrow \frac{25 \times 0,2 \times 5,54}{\sin 55^\circ} \times \left(3,82 + \frac{5,54}{2} \right)$$

$$F_2 = 333,76 \text{ KN}$$

$$\text{Calcul de } C_2 = \frac{\Delta l}{\sin \alpha \cos \alpha} \times \left(R + \frac{l}{2} \right) \Rightarrow \frac{25 \times 0,2 \times 5,54}{\sin 55^\circ \cos 55^\circ} \times \left(3,82 + \frac{5,54}{2} \right)$$

$$\Rightarrow C_2 = 585,55 \text{ KN}$$

$$F = F_1 + F_2 \Rightarrow \underline{F = 2,51 \text{ MN}}$$

$$A = \frac{F}{\sigma_{s(F74)}} = \frac{2,51}{125,69} \Rightarrow \underline{A = 213,74 \text{ cm}^2}$$

Nous sommes en présence d'une double nappe donc on a $A = \frac{213,74}{2} = 106,87 \text{ cm}^2$. soit

34HA20

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Calcul des armatures de répartition pour les cerces (suivant les génératrices du tronc de cône)

La force de Compression C : $C = \frac{P}{\sin\alpha} + C_1 + C_2$

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

$$C_1 = \frac{2 \times \pi \times 10 \times 5,54}{\sin 55} \left[11,72 \times \left(3,82 + \frac{5,54}{2} \right) - \left(\frac{3,82}{2} + \frac{5,54}{3} \right) \right] \times 5,54 \times \tan 55$$

$$\Rightarrow C_1 = 6556,93 \text{ KN}$$

$$C_2 = \frac{\Delta l}{\sin\alpha \cos\alpha} \times \left(R + \frac{l}{2} \right) = \frac{10 \times 5,54}{\sin 55 \times \cos 55} \times \left[3,82 + \frac{5,54}{2} \right]$$

$$\Rightarrow C_2 = 585,55 \text{ KN}$$

Détermination de P (poids transmis au tronc de cône par la ceinture supérieure).

$$P = P_{\text{coupole}} + P_{\text{ceinture Supérieure}}$$

$$P_{\text{ceinture Supérieure}} = 860 \text{ KN}$$

$$P_{\text{coupole}} = 1683,92 \text{ KN}$$

$$P = 2543,92 \text{ KN}$$

$$C = \frac{2543,92}{\sin 55} + 6556,93 + 585,55$$

$$\Rightarrow C = 10244,83 \text{ KN}$$

Calcul de la contrainte de compression

$$\sigma_b = \frac{C}{1 \times e} \Leftrightarrow \sigma_b = \frac{10244,83}{100 \times 0,3} \Rightarrow \sigma_b = 3,41 \text{ Mpa}$$

Calcul de la contrainte limite de compression

$$\sigma = \min \left\{ \frac{(h_0 + 0,55) f_{c28}}{3}, 130 \frac{h_0}{D} f_{c28}^{1/3} \right\} \Leftrightarrow \sigma = \min \left\{ \frac{(0,15 + 0,55) \times 30}{3}, 130 \times \frac{0,15}{8,2} 30^{1/3} \right\}$$

$$\Leftrightarrow \sigma = \min \left\{ 7 \text{ Mpa}, 7,4 \text{ Mpa} \right\}$$

Prenons $\sigma_{\min} = 7 \text{ Mpa}$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Vérification : on a $\sigma_b < \sigma$. La condition étant vérifiée, on ne mettra que des aciers forfaitaires.
 $A_s = 0.125\% \times 30 \times 100 \Rightarrow A_s = 3,75 \text{ cm}^2$ soit 5HA10 L'épaisseur étant égale à 30 cm ces aciers seront disposés en 2 nappe.

5. Cheminée

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages
- Source : Dr Adamah MESSAN. COURS DE DIMENSIONNEMENT DES RESERVOIRS EN BETON ARME. 2015.

Tableau 10: Détermination du poids total de la cheminée

Eléments	Formules	Poids	
		G (KN)	Q (KN/m ²)
Cheminée		226,194671	2
H	8		
R_c	0,8		
Dext	2		
Γ_b	25		
Dint	1,6		
Enduit de 3 cm		0,75398224	
R	1		
$\gamma_{\text{étanchéité}}$	0,5		
E	0,03		
Total	$P = P_1 + P_2$	227,71	

La paroi de la cheminée est sollicitée par son poids propre et par la poussée hydrostatique.

- La charge permanente $G = 227,71 \text{ kN}$
- La surcharge $Q = 2 \text{ kN}$
- Le périmètre de la cheminée $P_{\text{périmètre}} = \pi \times D = 6,28 \text{ m}$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Répartissons les charges par mètre linéaire

$$G_{ml} = \frac{G_{ml}}{\text{périmètre}}$$

$$G_{ml} = \frac{227,71}{6,28} = 36,26 \text{ kN/ml}$$

$$G_{ml} = 0,03626 \text{ MN/ml}$$

$$Q_{ml} = \frac{Q}{\text{périmètre}}$$

$$Q_{ml} = \frac{2}{6,28} = 0,32 \text{ kN/ml}$$

$$Q_{ml} = 0,00032 \text{ MN/ml}$$

La pression hydrostatique de l'eau maximum à la base prise à la hauteur de la cheminée

$$h=7\text{m}$$

$$R_c=0.8\text{m}$$

$$\text{Le poids volumique de l'eau } \gamma_{eau} = 10 \text{ KN/m}^3$$

$$P = \gamma_{eau} \times h = 10 \times 7 = 70 \text{ KN/m}^2$$

L'effort de compression dans l'anneau

$$N = P \times R_c = 70 \times 0,80 \text{ KN/ml}$$

$$N = 56 \text{ KN/ml}$$

Le pourcentage minimum d'armatures à mettre en place :

$$\frac{A}{S} \geq 0,25\% \Rightarrow A \geq 0.25\% \times S$$

$$A = 0,25\% \times 20 \times 100 = 5 \text{ cm}^2$$

Vérification de la contrainte de compression

$$\sigma(bc) = \frac{N}{S}$$

$$\sigma(bc) = \frac{56}{2 \times 1} = 0,028 \text{ Mpa}$$

Vérification de la contrainte limite de compression

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$\bar{\sigma}(bc) = \frac{0,85 \times f_{c28}}{1,5} = \frac{0,85 \times 30}{1,5} = 17 \text{ Mpa}$$

$\sigma(bc) < \bar{\sigma}(bc) = 17 \text{ MPa}$ Donc la contrainte compression du béton est vérifiée

Choix : 6HA12 totalisant une section de 6,79 cm² (voir annexe 1, tableau 1)

Comme l'épaisseur de la paroi est supérieure à 15 cm, nous aurons deux nappes d'armatures

sur chaque face. $\frac{A_{st}}{3} = 2,26 \text{ cm}^2$

Calcul de la section minimale.

$A_{min} = 0.125\% \times B_r$ Avec B_r la section totale de béton

$$A_{min} = \frac{0.125}{100} \times 20 \times 100$$

$$A_{min} = 2,5 \text{ cm}^2$$

Comparaison

$$A_{sr} < A_{min} \quad A_{sr} = 2,5 \text{ cm}^2$$

Choix : 5HA8 espacée de 20 cm totalisant une section de 3,02 cm² (voir annexe 1, tableau 1)

Plan de ferrailage (voir annexe).

6. Poutre d'appuie

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages
- Source : Dr Adamah MESSAN. COURS DE DIMENSIONNEMENT DES RESERVOIRS EN BETON ARME. 2015.

Tableau 11: Détermination du poids total de la poutre

Eléments		Formules	Poids (kN)
La ceinture y compris le fut		$P_1 = (\pi \times r^2 \times h) * \gamma_b$	5390,776644
H	3,8		
b	0,25		
γ_b	25		
ri	3,95		
re	4,25		
Trou du fut		$P_2 = (\pi \times r^2 \times h) \times \gamma_b$	4656,586441
Total		$P_{poutre} = P_1 - P_2$	734,1902031
Poids total supporté par la poutre		$P_{sd} = P_e + P_{cp} + P_c + P_{cuv} + P_{cheminée} + P_3$	8047,64

Elle a une section de 25 cm × 380 cm et est un appui qui est sollicitée par l'effort normal P_u et le moment fléchissant M.

Les sollicitations de la poutre sont les suivants :

$$G = \text{poids propre de la poutre} + \text{poids du reservoir} = 8047,64 + 734,19 \text{ kN} \\ = 8,78 \text{ MN}$$

$$\text{Charge d'exploitation } Q = 20475,75 \text{ kN} = 20,48 \text{ MN}$$

$$\text{La longueur de la poutre est : } \Rightarrow L = \frac{\pi \times D}{4} = \frac{\pi \times 13,82}{4} \Rightarrow L = 10,85 \text{ m}$$

Calcul du poids par mètre linéaire

$$G_{ml} = \frac{G}{\pi \times D} = \frac{8,78}{43,41} \Rightarrow G_{ml} = 0,20 \text{ MN/ml}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$Q_{ml} = \frac{Q}{\pi \times D} = \frac{20,48}{43,41} \Rightarrow Q_{ml} = 0,47 \text{ MN/ml}$$

D'après le BAEL, à l'ELU :

$$L'effort normal P_u = 1,35 \times G_{ml} + 1,5 \times Q_{ml}$$

$$P_u = 1,35 \times 0,20 + 1,5 \times 0,47 \Rightarrow P_u = 0,98 \text{ MN/ml}$$

Le moment fléchissant

$$M_u = \frac{P_u \times L^2}{8} = \frac{0,98 \times 10,85^2}{8}$$

$$M_u = 14,34 \text{ MN.m}$$

Calcul de l'excentricité

$$e = \frac{M}{P_u} = \frac{14,34}{0,98} \Rightarrow e = 14,72 \text{ m}$$

$$d = 0,9 \times 3,80 \Rightarrow d = 3,42 \text{ m}$$

$$e_A = e - \left(d - \frac{h}{2}\right) = 14,72 - \left(3,42 - \frac{3,8}{2}\right) \Rightarrow e_A = 13,20 \text{ m}$$

$$M_{uA} = P_u \times e_A = 0,98 \times 13,20 = 12,95 \text{ MN.m}$$

Calcul d'une poutre en flexion simple avec M_{uA}

$$f_{bu} = 17 \text{ MPa}$$

$$\mu_u = \frac{M_{uA}}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{12,95}{0,25 \times 3,42^2 \times 17}$$

$$\mu_u = 0,147 < \mu_{AB} = 0,186, \text{ pivot A, pas d'acier comprimé}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,147})$$

$$\alpha = 0,20$$

$$Z = d(1 - 0,4\alpha) \Rightarrow Z = 1,89(1 - 0,4 \times 0,20)$$

$$Z = 3,145 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{M_{uA}}{Z \times \frac{f_e}{\gamma_s}} = \frac{12,95}{3,145 \times \frac{500}{1,15}}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$A_{st} = 9,468 \times 10^{-3} \text{ m}^2 = 94,68 \text{ cm}^2$$

Choix : 31HA20 totalisant une section de 97,39 cm² (voir annexe 4, tableau 21)

Vérification à la condition de non fragilité

$$A_{st} = 97,39 \text{ cm}^2 > \frac{0,23 \times b_0 \times d \times ft_{28}}{fe}$$

$$A_{st} = 94,39 \text{ cm}^2 > \frac{0,23 \times 0,3 \times 1,89 \times 2,4}{500} = 6,27 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{st} = 94,68 \text{ cm}^2 > \frac{0,23 \times b_0 \times d \times ft_{28}}{fe} = 9,44 \text{ cm}^2$$

La condition de non fragilité est vérifiée

Calcul des armatures transversales

$$\tau_u = \frac{V_u}{b_0 \times d}$$

Avec $V_u = \frac{P_u \times L}{2} = 9,22 \text{ MN/m}$

$$\tau_u = \frac{9,22}{0,25 \times 3,42} = 6,22 \text{ MPa}$$

$$\tau_{ulim} = \min\left(\frac{0,2 \times fc_{28}}{\gamma_b}; 5 \text{ MPa}\right) = \min\left(\frac{0,2 \times 30}{1,5}; 5 \text{ MPa}\right)$$

$$\tau_{ulim} = \min(4 \text{ MPa}; 5 \text{ MPa})$$

$$\tau_{ulim} = 4 \text{ MPa} < \tau_u = 6,22 \text{ MPa}, \text{ OK}$$

Nous utiliserons des HA10 pour les cadres

$$\text{Espacement des cadres : } S_t \leq \min(0,9 \times d; 40 \text{ cm})$$

$$S_t \leq \min(0,9 \times 189; 40 \text{ cm}) \Rightarrow S_t \leq \min(170; 40 \text{ cm})$$

$S_t \leq 40 \text{ cm}$ On convient de prendre un espacement de 20 cm plan de ferrailage (voir annexe 2)

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

7. Dalle de fond

- Source : HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages

Tableau 12: Détermination du poids total de la dalle de fond

Eléments		Formules	Poids (kN)
La dalle + le trou de la cheminée		$P_1 = \frac{\pi \times h}{3} (R_{ext}^2 + r_{int}^2 + R_{ext} \times r_{int}) \gamma_b$	712,9255479
H	0,7		
R _{ext}	3,75		
γ_b	25		
R _{int}	3,45		
Troue de la cheminée		$P_2 = (\pi \times r^2 \times h) \times \gamma_b$	35,18583772
Etanchéité de la dalle		$P_3 = \pi(R_{ext}^2 - r_{int}^2) \times \gamma_{étanchéité}$	3,392920066
R _{int}	3,45		
$\gamma_{étanchéité}$	0,5		
R _{ext}	3,75		
Total		$P_{dalle} = P_1 - P_2 + P_3$	681,1326302
Poids total supporté par la poutre		$P_{sd} = P_e + P_{cp} + P_c + P_{cuv} + P_{cheminée} + P_3$	8047,64

Elle est une dalle uniformément chargée appuyée par la poutre d'appui. $P_t = \text{poids de la dalle} + \text{poids de l'étanchéité} + \text{poids de la cheminée}$

$$P_t = 680,13 + 227,71 = 907,84 \text{ kN}$$

$$\text{Poids de l'eau } P_{eau} = \gamma_{eau} \times h = 10 \times 7$$

$$P_{eau} = 70 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Périmètre de la dalle} = 2\pi \times r = 2\pi \times 3,75 \Rightarrow \text{périmètre de la dalle} = 23,56 \text{ m}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

La surface de la dalle $S = \pi \times r^2 = \pi \times 3,75^2 \Rightarrow S = 44.18 \text{ m}^2$

Calcul des charges par mètre linéaire

$$G_{ml} = \frac{P_t}{\text{périmètre}} = \frac{907.84}{23,56} \Rightarrow G_{ml} = 38,57 \text{ kN/ml}$$

$$G_{ml} = 0,038 \text{ MN/ml}$$

$$Q_{ml} = \frac{P_t}{\text{périmètre}} = \frac{10}{23,56} \Rightarrow Q_{ml} = 0,42 \text{ kN/ml}$$

$$Q_{ml} = 0,00042 \text{ MN/ml}$$

$$N = \sqrt{G_{ml}^2 + Q_{ml}^2} = \sqrt{0,038^2 + 0,00042^2}$$

$$N = 0,0385 \text{ MN/ml}$$

Comparaison de la contrainte de béton

$$\sigma = \frac{N}{100 \times e} = \frac{0,0385}{100 \times 0,7}$$

$$\sigma = 5,5 \text{ MPa} < 0,6 \times f_{c28} = 18 \text{ MPa, ok}$$

Calcul de la section d'armature

$$A = 0,6 \times e = 0,6 \times 70$$

$$A = 42 \text{ cm}^2$$

Choix : 10HA25 totalisant une section de 49,09 cm² (voir annexe 4, tableau 21) avec un espacement de 11 cm Plan de ferrailage (voir annexe)

Les appuis de la cheminée exercent une compression sur la dalle de fond, donc ils seront renforcés par les aciers chapeaux de même diamètre (20) dont la longueur est de :

$$l_{\text{acier chapeau}} = \max \left[\max \frac{1}{4} (13,82; 13,82); 40 \right] \Rightarrow l_{\text{acier chapeau}} = \max [3,45 ; 40]$$

$$l_{\text{acier chapeau}} = 3,45 \text{ m}$$

Au niveau de la trémie, des aciers de renfort seront placés sur la bordure de l'ouverture centrale qui donne l'accès à la cheminée et prendront le même diamètre des aciers que la dalle de fond.

Plan de ferrailage (voir annexe)

8. Calcul de la dalle intermédiaire

- Fascicule 74 Cahier des clauses techniques générales (1998); construction des réservoirs en béton, N° 98-3 T.O du BOMETL Imprimerie des Journaux officiels, 26, rue Desaix, Paris.
- Jean-Pierre Mouglin Béton armé. BAEL 91 modifié 99 et DTU associés, deuxième Edition EYROLLES et quatrième tirage 2006, Paris.

Tableau 13: Détermination du poids total de la dalle intermédiaire

Eléments		Formules	Poids (kN)	
E	0,2	$P = \pi \times r^2 \times e \times \gamma_b$ $S = \pi \times r^2$	G	Q
R	3,95		245,083497	2
γ_b	25		49,01669938	
Total		$P_U = 1,35G + 1,5Q$	245,083497	98,0333988

Poids surfacique des charges

La charge permanente $G = 0,2 \times 25 = 5 \text{ kN/m}^2$

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

- L'effort normal

$$P_u = 1,35 \times G + 1,5 \times Q = 1,35 \times 5 + 1,5 \times 2$$

$$P_u = 9,75 \text{ kN/m}^2$$

- Le moment fléchissant

$$L = \frac{\pi \times D}{4} = \frac{\pi \times 7,90}{4} = 6,20\text{m}$$

$$M_u = \frac{P_u \times L^2}{8} = \frac{9,75 \times 7,90^2}{8} = 46,92 \text{ kN.m}$$

$$M_u = 0,047 \text{ MN.m}$$

- Le moment réduit

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'alimentation en eau potable dans la ville de Niamey

$$\mu_u = \frac{M_u}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{0,047}{1 \times (0,9 \times 0,2)^2 \times 17}$$

$$\mu_u = 0,085 < \mu_{AB} = 0,186, \text{ pivot A, pas d'acier comprimé}$$

$$\alpha = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times \mu_u}) = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,085})$$

$$\alpha = 0,11$$

$$Z = d(1 - 0,4\alpha) \Rightarrow Z = 0,9 \times 0,2(1 - 0,4 \times 0,11)$$

$$Z = 0,172 \text{ m}$$

$$A_{st} = \frac{M_u}{Z \times \frac{f_e}{\gamma_s}} = \frac{0,047}{0,172 \times \frac{500}{1,15}}$$

$$A_{st} = 6,27 \text{ cm}^2$$

Choix : 6HA12 totalisant une section de 6,79 cm² (voir annexe, tableau 1) avec un espacement de 20 cm

Plan de ferrailage (voir annexe)

9. Tour-support

- Fascicule 74 Cahier des clauses techniques générales (1998); construction des réservoirs en béton, N° 98-3 T.O du BOMETL Imprimerie des Journaux officiels, 26, rue Desaix, Paris.
- Jean-Pierre Mougin Béton armé. BAEL 91 modifié 99 et DTU associés, deuxième Edition EYROLLES et quatrième tirage 2006, Paris.

Tableau 14: Détermination du poids total de la tour-support

Eléments		Formules	Poids (kN)
Le fut		$P = \pi(R_{ext}^2 - r_{int}^2) \times h \times \gamma_b$	19320,79482
γ_b	25		
H	25		
R _{ext}	8,5		
R _{int}	7,9		
Total		P total	19320,79482

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

La paroi de la tour sera calculée comme un voile de 25 m (hauteur entre les planchers de la tour) 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 la voile

- Longueur « c » du voile supérieur ou égale à 5 fois son épaisseur

$$c = 2\pi r = 2\pi \times 4,25$$

$$c = 53,40 \text{ m}$$

$$5 \times e = 5 \times 0,3 = 1,50 \text{ m}$$

$$c = 53,40 \text{ m} > 5 \times e = 1,50 \text{ m} \text{ Ok !}$$

- Epaisseur supérieur ou égale à 10 cm : dans notre cas $e = 30 \text{ cm}$. Ok !
- L'élancement $\lambda = \frac{l_f \times \sqrt{12}}{a} \leq 0,80$, (voir annexe 4, tableau 19) avec $\frac{l_f}{l} = 0,85$ (voir annexe, tableau 2)

$$\lambda = \frac{0,85 \times l \times \sqrt{12}}{a} \Rightarrow \lambda = \frac{0,85 \times 25 \times \sqrt{12}}{0,3}$$

$$\lambda = 245,37 < 0,80, \text{ la condition est vérifiée}$$

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

$$e = \min\left(0,02 \text{ m}; \frac{21,25}{300}\right) \Rightarrow e = \min(0,02 \text{ m}; 0,071 \text{ m})$$

$$e = 0,02 \text{ m}, \text{ OK !}$$

- La résistance caractéristique du béton : $f_{c28} = 30 \text{ MPa} < 40 \text{ MPa}$; ok

La charge permanente $G = \text{poids de la tour} + \text{poids du réservoir} = 28,10 \text{ MN}$

La charge d'exploitation $Q_t = 20,47 \text{ MN}$

Combinaison de charge

- A l'ELU

$$P_u = \frac{1,35G + 1,5Q}{2\pi r}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$P_u = \frac{1,35 \times 28,10 + 1,5 \times 20,47}{2\pi \times 4,25} = 1,28 \text{ MN/ml}$$

$$P_u = 1,28 \text{ MN/ml}$$

- **A l'ELS**

$$P_{ser} = \frac{G + Q}{2\pi r}$$

$$P_{ser} = \frac{28,10 + 20,40}{2\pi \times 4,25} = 0,36 \text{ MN/ml}$$

$$P_{ser} = 0,36 \text{ MN/ml}$$

Calcul d'armature

Calcul de la contrainte de compression du béton

$$\sigma_{bc} = \frac{N_s}{S} = \frac{P_u}{S} = \frac{1,28}{\pi \times (D_{ext}^2 - D_{int}^2)} = 0,042$$

$$\sigma_{bc} = 0,042 \text{ Mpa}$$

Vérification de la contrainte limite de compression du béton sur la tour

$$\bar{\sigma}_{bc} \leq \min \left\{ \frac{h_0 + 0,55}{3} \times f_{c28} \right. \left. \min = \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,4 + 0,55}{3} \times 30 = 8,5 \text{ MPa} \\ \frac{130 \times 0,30}{4,56} (30)^{1/3} = 21,19 \text{ MPa} \end{array} \right. \right.$$

- D : diamètre de la tour support,

- h₀: épaisseur de la paroi

- $\sigma_{bc} = 0,042 \text{ MPa} \leq \bar{\sigma}_{bc} = 8,5 \text{ MPa}$ Condition vérifiée.

Ferraillage de la tour

$$\frac{A}{S} \geq 0,25\% \Rightarrow A \geq 0,25\% \times S \quad A = 0,25\% \times 30 \times 100 = 7,5 \text{ cm}^2 \quad A = 7,5 \text{ cm}^2,$$

soit 5 cm² par face ce qui équivaut à des barres HA12 (voir annexe 4, tableau 21) Les vérifications de cet élément ont été faites à l'État Limite de Service et tout en tenant compte des effets du vent sous combinaison la plus défavorable.

- **Espacement des armatures**

$$S_t \leq \min[1,5 \times h_0; 20 \text{ cm}]$$

$$S_t \leq \min[1,5 \times 30; 20 \text{ cm}] \Rightarrow S_t \leq \min[45; 20 \text{ cm}]$$

$$S_t \leq 20 \text{ cm}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

- **Diamètre des armatures**

$$8 \text{ mm} \leq d \leq \frac{h_0}{10} \Rightarrow 8 \leq d \leq \frac{300}{10} \quad 8 \text{ mm} \leq 12 \text{ mm} \leq 30 \text{ mm} , \text{ la condition est vérifiée}$$

Plan de ferrailage (voir annexe)

10.Radier

- Jean-Pierre Mougouin Béton armé. BAEL 91 modifié 99 et DTU associés, deuxième Edition EYROLLES et quatrième tirage 2006, Paris.

Tableau 15: Détermination du poids total du Radier

Eléments		Formules	Poids (kN)
Partie tronconique		$P_1 = \frac{\pi * h}{3} (R^2 + r^2 + R * r) * \gamma_b$	6 452,14
H	1,5		
R	4,45		
R	10		
γ_b	25		
Partie cylindrique		$P_2 = \pi * R^2 * h * \gamma_b$	3 926,99
H	0,5		
R	10		
Total		$P_{radier} = P_1 + P_2$	10 379,13
Poids total du réservoir		$P_{radier} + P_{reservoir}$	38 726,84

La surface du Radier

$$S = \frac{P_t}{\delta_s} = \frac{38726,84 + 20573,78}{200} = 296,50 \text{ m}^2$$

Hauteur du radier : $H \geq \frac{D}{20} = \frac{20}{20} = 1 \text{ m}$

$H \geq 1$

On convient de prendre $e = 1,5 \text{ m}$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

La charge permanente $G = \text{poids du château} + \text{poids du radier} = 24,33 + 4,55$

$$G = 38\,726,84 \text{ MN}$$

La charge d'exploitation $Q = 20\,573,78 \text{ MN}$

La charge en mètre carré

$$G_{m^2} = \frac{G}{S} = 0,123 \text{ MN/m}^2$$

$$G_{m^2} = \frac{Q}{S} = 0,065 \text{ MN/m}^2$$

D'après le BAEL

$$\alpha = \frac{l_x}{l_y} \leq 0,4$$

Or $l_x=l_y=15 \text{ m}$

$\alpha = 1 > 0,4$, le radier se comporte comme une dalle portant sur deux côtés.

La dalle sera calculée comme une poutre rectangulaire de hauteur $h = 1 \text{ m}$ et de largeur $b_0 = 1 \text{ m}$

$$P_u = 1,35 \times G + 1,5 \times Q \Rightarrow P_u = 1,35 \times 0,123 + 1,5 \times 0,065$$

$$P_u = 0,264 \text{ MN/m}^2$$

$$\alpha = 1 \Rightarrow \begin{cases} \mu_x = 0,0368 \\ \mu_y = 1 \end{cases}$$

Calcul de moment

$$M_{ox} = \mu_x \times P_u \times L_x^2 =$$

$$M_{ox} = 0,0368 \times 0,264 \times 20^2 = 3,92 \text{ MN.m}$$

$$M_{ox} = 3,92 \text{ MN.m}$$

$$M_{oy} = \mu_y \times M_{ox}$$

$$M_{oy} = 1 \times 3,92 = 3,92 \text{ MN.m}$$

$$M_{oy} = 3,92 \text{ MN.m}$$

- **Suivant x**

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

En travée

$$M_{tx} = 0,85 \times M_{ox}$$

$$M_{tx} = 0,85 \times 3,92 = 3,33 \text{ MN.m}$$

Sur appui

$$M_{ax} = 0,5 \times M_{ox}$$

$$M_{ax} = 0,5 \times 3,92 = 1,96 \text{ MN.m}$$

- **Suivant y**

En travée

$$M_{ty} = 0,85 \times M_{ox}$$

$$M_{ty} = 0,85 \times 3,92 = 3,33 \text{ MN.m}$$

Sur appui

$$M_{ax} = 0,5 \times M_{ox}$$

$$M_{ax} = 0,5 \times 3,92 = 1,96 \text{ MN.m}$$

Calcul de la section d'armature

$$f_{bu} = \frac{0,85 \times f_{c28}}{\theta \times \gamma_b} = \frac{0,85 \times 30}{1 \times 1,5}$$

$$f_{bu} = 17 \text{ MPa}$$

$$\mu_u = \frac{M_{tx}}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{3,33}{1 \times (0,9 \times 1,35)^2 \times 17}$$

$$\mu_u = 0,107$$

$$\mu_u = 0,107 < \mu_{AB} = 0,186, \text{ pivot A, pas d'acier comprimé}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \Rightarrow \alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,107})$$

$$\alpha_u = 0,142$$

$$Z = d(1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,9 \times 1(1 - 0,4 \times 0,142)$$

$$Z = 1,27 \text{ m}$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

$$A_{stx} = \frac{M_{tx}}{Z \times \frac{f_e}{\gamma_s}} = \frac{3,33}{1,27 \times \frac{500}{1,15}}$$

$$A_{stx} = 60,15 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Choix : 20HA20 totalisant une section de 62,83 cm² (voir annexe, tableau 1) en nappe supérieure et inférieure avec un espacement de 5 cm.

Section d'acier chapeau

$$\mu_u = \frac{M_{ax}}{b_0 \times d^2 \times f_{bu}} = \frac{1,95}{1 \times (0,9 \times 1,35)^2 \times 17}$$

$$\mu_u = 0,0632$$

$$\mu_u = 0,0632 < \mu_{AB} = 0,186, \text{ pivot A, pas d'acier comprimé}$$

$$\alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2\mu_u}) \Rightarrow \alpha_u = 1,25(1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,0632})$$

$$\alpha_u = 0,081$$

$$Z = d(1 - 0,4 \times \alpha_u) = 0,9 \times 1(1 - 0,4 \times 0,081)$$

$$Z = 1,31 \text{ m}$$

$$A_{stx} = \frac{M_{ax}}{Z \times \frac{f_e}{\gamma_s}} = \frac{1,95}{1,31 \times \frac{500}{1,15}}$$

$$A_{stx} = 34,49 \text{ cm}^2$$

Choix : 18HA16 totalisant une section de 39,19 cm² (voir annexe 4, tableau 21)

La longueur d'acier chapeau : $L_{achap} \geq \max\left(\max\frac{1}{4}(l_x; l_y); 40 \times \phi\right)$

$$L_{achap} \geq \max\left(\max\frac{1}{4}(20; 20); 40 \times 0,016\right) \Rightarrow L_{achap} \geq \max(5 \text{ m}; 0,64 \text{ m})$$

$$L_{achap} \geq 5 \text{ m}$$

On convient de prendre $L_{achap} = 5 \text{ m}$

Comme $L_x = L_y$, $\rightarrow A_{sx} = A_{sy}$

Tout comme la section d'acier chapeau suivant x est égale à la section d'acier suivant y

Plan de ferrailage (voir annexe)

III. Vérification de la Stabilité de l'ouvrage

1. Stabilité au poinçonnement

$$\sigma_{sol} \geq \frac{4 \times (P_{total} + P_{eau})}{\pi \times D_{radier}^2}$$

$$\frac{4 \times (38,73 + 20,47)}{\pi \times 20^2} = 0,188 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{sol} = 0,2 \text{ MPa} > \frac{4 \times (P_{total} + P_{eau})}{\pi \times D_{radier}^2} = 0,188 \text{ MPa}$$

La condition est vérifiée

2. Stabilité au renversement

La résultante horizontale des efforts du vent appliquée à une structure constituée de n tronçons superposable est donnée par l'équation suivante :

$$F = q_{10} \times k_s \times \beta \times \sum c_{ti} \times k_{Hi} \times \delta_i \times S_i$$

- q_{10} est la pression dynamique est liée à la vitesse du vent par :
- Vitesse 25 m/s, on a : $q_{10} = \frac{25^2}{16,3} \Rightarrow q_{10} = 38,34 \text{ daN/m}$.

$$q_{10} = 39,08 \text{ daN.m}^{-2}$$

- Le site est supposé normal $K_s = 1$
- c_{ti} est un coefficient de trainée. Nous allons décomposer la structure en deux éléments :

(Source Bruno COUSIN ; Cours d'ouvrages spéciaux; année académique 2014-2015)

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

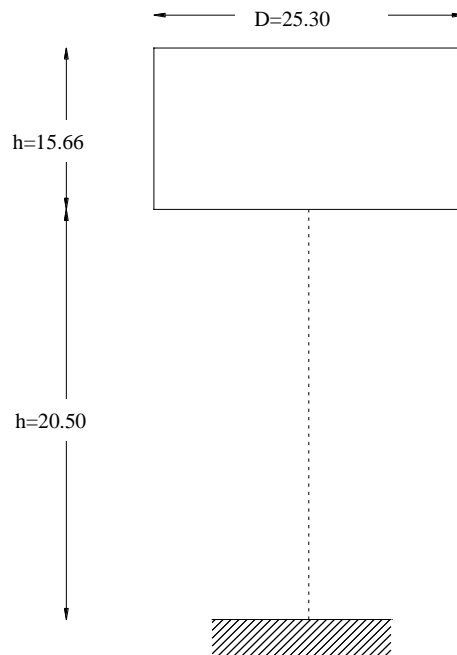


Figure 14: illustration de l'effet du vent sur le réservoir

$$c_t = \gamma c_{t0}$$

Nous supposons que le réservoir est un cylindre rugueux donc $c_{t0} = 0,55$

$$\lambda = \frac{h}{D2} = \frac{15,66}{25,30}$$

$$\lambda = 0,62 \rightarrow \gamma_h = 0,9 \text{ (Figure 1 en Annexes)}$$

$$c_t = \gamma c_{t0} = 0,9 \times 0,55$$

$$c_t = 0,495$$

- $k_H = 2,5 \times \frac{H+18}{h+60}$

Dans notre cas $H = h_1 + h = 20,50 + 15,66$

$$H = 36,16 \text{ m}$$

$$k_H = 2,5 \times \frac{36,16 + 18}{23,50 + 60} \rightarrow k_H = 1,58$$

- δ est le coefficient de réduction des pressions dynamiques qui prend en compte l'effet de dimension : $H = 36,16 \text{ m}$ et $D_{max} = 25,3 \text{ m}$ on lit dans l'abaque (figure 2. dans l'annexe) $\delta = 0,65$
- S est le maître couple : $S = D_{max} \times h = 25,30 \times 15,66$ Donc $S = 396,198 \text{ m}^2$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

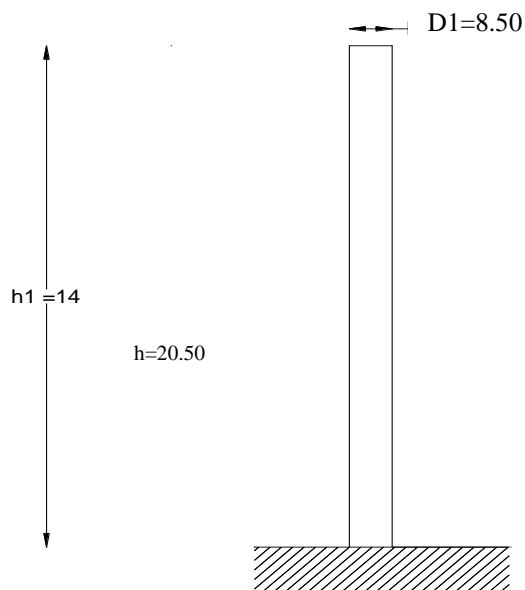


Figure 15: illustration de l'effet du vent sur le réservoir

$$c_t = \gamma c_{to}$$

Nous supposons que le réservoir est un cylindre rugueux donc $c_{to} = 0.55$

$$\lambda = \frac{h}{D1} = \frac{20,50}{8,5}$$

$$\lambda = 2,41 \rightarrow \gamma_o = 0,93 \text{ (Figure 1 en Annexes)}$$

$$c_t = \gamma c_{to} = 0,93 \times 0,55$$

$$c_t = 0,51$$

- $k_H = 2,5 \times \frac{H+18}{h+60}$

Dans notre cas $H = h_1 = 14\text{m}$ car la construction est posé au sol.

$$k_H = 2,5 \times \frac{20,50+18}{20,50+60}$$

$$k_H = 1,19$$

- δ est le coefficient de réduction des pressions dynamiques qui prend en compte l'effet de dimension avec $H = 20,5\text{m}$ et $D_{\text{max}} = 8,5 \text{ m}$ on lit dans l'abaque (figure 2 : dans annexe) $\delta = 0,95$

S est le maitre couple = $D_{\text{tour}} \times h_1 = 8,50 \times 20,50$

$$S = 174,25 \text{ m}^2$$

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

- β est un coefficient d'amplification dynamique

$$\beta = 1$$

$$F1 = 38,34 \times 1 \times 1 \times 0,495 \times 1,58 \times 0,65 \times 396,198$$

$$F1 = 7758,77 \text{ daN}$$

$$F2 = 38,34 \times 1 \times 1 \times 0,511 \times 1,19 \times 0,95 \times 174,25$$

$$F2 = 7589,16 \text{ daN}$$

$$F = F1 + F2 = 15347,92$$

$$F = 15347,92 \text{ daN}$$

La position Z_F de la force F :

$$Z_F = \frac{Z1 \times F1 + Z2 \times F2}{F} =$$

$$Z_F = 19,39 \text{ m}$$

3. Vérification de la stabilité

- **Moment pondéré de renversement du au vent**

$$M_{\text{vent}} = F \times Z_F \times 1,2 \times 1,5 = (15347,92 \times (19,39 + 1,5)) \times 1,2 \times 1,5$$

$$M_{\text{vent}} = 535723,06 \text{ daN.m}$$

- **Moment stabilisant**

Il s'agit de comparer le moment dû aux forces déstabilisantes et celui des forces stabilisantes (sans eau c'est-à-dire l'ouvrage à vide)

- Action déstabilisantes : vent, poussée des terres
- Action stabilisante : Poids propre du massif

NB : le poids de l'eau et les charges d'entretien sur la couverture ne sont pas prise en compte pour la vérification de la stabilité.

Poids total (béton du château) = $P_{\text{cuve}} + P_{\text{tour}}$

$$P_t = 38\,726,84 \text{ KN}$$

Le poids étant favorable, il n'y a pas de majoration → Combinaison C3

$$M_{\text{stab}} = P_t \times X \quad \text{Avec } X \text{ le bras de levier} = 10 \text{ m}$$

$$M_{\text{stab}} = 38\,726,84 \times 10 \leftrightarrow M_{\text{stab}} = 38\,726\,842,63 \text{ daN.m}$$

$$38\,726\,842,63 > 535\,723,05 \rightarrow \underline{\underline{M_{\text{stab}} > M_{\text{vent}} \text{ donc la stabilité est assurée}}}$$

CHAPITRE V : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTALE ET SOCIAL

I. Etude d'impact environnementale

L'étude d'impact environnementale est un facteur indispensable dans tous projets de génie civil. C'est dans cette optique que le gouvernement Nigérien stipule dans sa loi N° 006-2013 du 02 Avril 2013 portant code de l'Environnement en son article 2 qui définit l'environnement comme l'ensemble des éléments physiques, chimiques et biologiques, naturels ou artificiels et des facteurs économiques, sociaux politiques et culturels qui ont un effet sur le processus de maintien de la vie, la transformation et le développement du milieu, les ressources naturelles ou non et les activités humaines. La notion d'environnement doit être interprétée au sens large, intégrant à la fois les impacts sur les milieux physiques, biologiques et humains. Ces études sont centrées sur les points suivants :

- **une étude de l'état initial du site et de son environnement**
- **une analyse des conséquences éventuelles des travaux sur l'environnement**
- **une étude après travaux**
- **une justification des travaux**
- **une évaluation des risques sur l'environnement d'un Etat voisin ou des riverains**
- **une mesure de limitation ou d'atténuation ou encore de compenser les impacts négatives**

La réalisation d'un projet de construction quelle que soit son envergure engendre des impacts sur la qualité de vie des personnes et de l'entourage, d'où la nécessité d'une étude d'impact environnemental.

1. Impacts négatifs

En ce qui concerne les impacts négatifs nous avons :

La pollution du sol par le rejet d'hydrocarbures (huile de vidange, fuite de carburant) et par l'utilisation de produits chimiques (adjuvant, ciment, huile de décoffrage, huile des engins, etc...).

La pollution sonore et atmosphérique causées par les engins de construction (bétonnière, camions bennes, groupe, etc.) Les risques d'érosion et de pollution du sol pendant l'excavation.

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Le défrichage de la végétation (abattage des arbustes) pour les fouilles de fondation et d'excavation pour la pose des conduites. La perturbation de la structure du sol par les fouilles pour la fondation, l'implantation des conduites et pour les sites d'emprunts. Le tableau ci-dessous nous présente un bref aperçu sur les impacts sur la nature et sur les riverains :

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Tableau 16: Causes des impacts sur la nature et sur les riverains

	Source d'impact	Elément environnemental	impact
Atmosphère	Préparation du chantier	-La fumée	Dégradation de la qualité de l'air
	Installation du chantier	-La poussière dans l'atmosphère	
	Circulation des engins		
	Phase de construction		
	Transport des matériaux		
	Fouille pour la fondation		
Sol	Préparation du chantier	Erosion du sol	Dégradation de la qualité du sol
	Installation du chantier		
	Circulation des engins		
	Phase de construction	Pollution du sol par les déchets du chantier	Dégradation de la texture et de la structure du sol
	Transport des matériaux	Erosion du sol	
	Fouille pour la fondation		
Végétation	Préparation du chantier		
	Installation du chantier	Flore ligneuse	Destruction des ligneux
	Circulation des engins		
	Phase de construction	Strates arbustive	
	Transport des matériaux		Destruction des arbustes
	Fouille pour la fondation	Strates herbacées	Destruction du tapis herbacée
Riverains	Préparation du chantier	Pendant l'exécution de l'ouvrage	Risque de propagation des IST/SIDA
	Installation du chantier		Risque d'accident sur le chantier et lors du transport des matériaux
	Circulation des engins		
	Phase de construction		
	Transport des matériaux		
	Fouille pour la fondation		

2. Impacts positifs

Les impacts positifs engendrés par ce projet dans la ville de NIAMEY sont :

- La création temporaire d'emplois (ouvriers et tout le personnel du chantier)
- La contribution à l'embellissement de la ville
- L'amélioration des conditions de vies par l'apport d'eau potable et le raccourcissement de la distance d'approvisionnement en eau potable.

3. Mesures d'atténuation

L'application se fait par la surveillance environnementale qui consiste à veiller au respect des consignes proposées dans l'étude d'impact durant la phase de construction du projet. Elle vise également à surveiller toute autre perturbation de l'environnement durant la réalisation du projet. Face à des impacts importants, il faut définir et mettre en œuvres des mesures d'atténuation. Ces mesures visent à réduire ou à éliminer la gravité des impacts environnementaux négatifs prévus et à améliorer la performance et l'acceptabilité globale du projet sur le plan environnemental.

4. Protection et conservation de l'environnement

L'entreprise s'engage à se soumettre aux dispositions prévues par la réglementation en vigueur en matière de protection et de conservation de l'environnement. Elle s'engage à prendre les mesures nécessaires afin de minimiser ou d'éviter les effets négatifs possibles sur l'environnement en étant regardant sur les points suivants :

- **la protection et la bonne gestion des écosystèmes forestiers (faune et flore);**
- **la protection des espaces esthétiques ;**
- **les risques d'érosion du sol et de la perte du couvert végétal, de coupure des circulations hydrauliques, de modifications des écoulements et de pollution des milieux aquatiques ;**
- **la pollution atmosphérique pouvant provenir des activités de construction ;**
- **Les risques de maladie professionnelle pour les travailleurs pendant la période de construction;**
- **Les risques divers liés à la construction et à l'exploitation de l'ouvrage;**

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Les spécifications techniques des mesures de protection seront précisées dans un rapport final à la réception de l'ouvrage et remis au Maître d'Ouvrage ;

Elle s'engage à tenir compte de la réglementation en vigueur en matière d'environnement au NIGER et des directives internationales reconnues.

CHAPITRE VI : DEVIS ESTIMATIF ET QUANTITATIF DES TRAVAUX

L'évaluation consiste à calculer les quantités élémentaires des matériaux qui rentrent dans la composition de l'ouvrage, les prix unitaire des matériaux et enfin l'application du prix unitaire aux quantités des matériaux pour avoir le coût total. Elle permet d'évaluer le coût de réalisation de l'ouvrage et au maître d'ouvrage d'avoir une idée sur l'enveloppe financière à mobiliser pour l'exécution des travaux. Dans le cadre de notre projet, le coût de la réalisation de l'ouvrage s'élève à la somme **de Neuf cent quatre-vingt-dix-neuf million neuf cent douze mille neuf cent soixante un (995 912 961).**

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Tableau 17: Devis quantitatif et estimatifs

N°	DESIGNATION	Unité	Quantités	P. Unitaire	Prix Total
I	ETUDES ET INSTALLATION DU CHANTIER				
1	Études du projet	Ff	1	25 000 000	25 000 000
2	Études d'impacts environnementaux et sociaux	Ff	1	12 868 035	12 868 035
3	Installation du chantier	Ff	1	38 800 000	38 800 000
4	Terrassement et implantation	m ³	538	7 000	3 766 000
5	Remblai	m ³	224	9 000	2 016 000
SOUS TOTAL 1					82 450 035
II	BETON ARME FONDATION				
1	Béton de propreté dosé à 150Kg/m ³ pour semelles	m ³	15	250 000	3 750 000
2	Béton Armé pour fondation dosé à 350Kg/m ³	m ³	415,16	350 000	145 306 000
SOUS TOTAL 2					149 056 000
III	BETON ARME DE LA TOUR				
3	Béton armé de la tour dosé à 350Kg/m ³	m ³	772,83	400 000	309 132 000
4	Béton armé pour planchers intermédiaires dosé à 350Kg/m ³	m ³	9,8	400 000	3 920 000
SOUS TOTAL 3					313 052 000
IV	BETON ARME DU RESERVOIR				
5	Béton armé pour plancher sous la cuve dosé à 350Kg/m ³	m ³	27,11	400 000	10 844 000
6	Béton armé pour parois de la cuve	m ³	323	400 000	129 200 000
7	Béton armé pour la cheminée intérieure	m ³	9,05	400 000	3 620 000
8	Béton armé pour la ceinture dosée à 350 Kg/m ³	m ³	34,35	400 000	13 740 000
9	Béton armé pour acrotère dosé à 350 Kg/m ³	m ³	105,08	400 000	42 032 000
10	béton armé pour la coupole dosé à 350Kg/m ³	m ³	27,11	400 000	10 844 000
SOUS TOTAL 4					199 436 000
V	EQUIPEMENTS				
11	Fourniture et Pose Équipements hydrauliques	U	1,00	100 000 000	100 000 000
SOUS TOTAL 5					100 000 000
TOTAL HT					843 994 035
TOTAL T VA (19%)					160 358 867
TOTAL T TC					1 004 352 902

CONCLUSION

Dans sa politique d'obtenir une solution aux besoins de la population en alimentation en eau potable, le gouvernement de la république du Niger a opté pour la construction d'un château d'eau, celui-ci va contribuer à répondre aux besoins de la consommation en eau de la capitale. À cet effet, le gouvernement a lancé un appel d'offre de la réalisation de ce projet ou la SPEN en est l'attributaire du marché. C'est dans ce cadre que s'inscrit ce présent travail dont l'objectif principal est le dimensionnement du château en béton armé qui sera implanté dans la cité francophonie. Compte tenu de la capacité de rétention du château qui est très importante, le dimensionnement a été effectué manuellement et des vérifications des résistances de la structure suivant toutes les contraintes agissant. Il en ressort un coût global du projet de 1 004 352 902 FCFA.

Le dimensionnement a été fait de sorte que chaque élément soit calculé de façon isolé, donc fonction du type de sollicitation qui lui est propre, raison pour laquelle on est abouti aux résultats suivant:

5HA12 pour la section d'armature de la coupole

20HA16 pour la section d'armature de la ceinture

6HA12 pour la section d'armature de la cheminée

6HA12 pour la section d'armature de la dalle intermédiaire

10HA25 pour la section d'armature de la dalle de fond

7HA12 pour la section d'armature de la tour support

20HA20 pour la section d'armature du radier.

Au terme de cette étude, retenons que le château d'eau est une partie importante de l'acheminement de l'eau de la source jusqu'aux habitations. En effet, même s'il n'est qu'un morceau de ce réseau, Il en représente l'organe le plus important. Car c'est dans celui-ci que l'eau sera stockée en attendant d'être acheminée vers les habitations. Le dimensionnement de ses différents éléments doit respecter rigoureusement les règles de calcul préétablies afin d'éviter la dégradation prématurée de sa structure ou même son effondrement, mettant en danger la vie des riverains.

BIBLIOGRAPHIE

- HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 3 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 779-1285 pages
- HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 4 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1291-1657 pages
- HENRY THONIER ; Conception et calcul des structures de bâtiment tome 5 (1996), Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. 1661-1991 pages
- Jean-Pierre Mougins Béton armé. BAEL 91 modifié 99 et DTU associés, deuxième Edition EYROLLES et quatrième tirage 2006, Paris.
- Fascicule 74 Cahier des clauses techniques générales (1998); construction des réservoirs en béton.
- A. GUERRIN et R.C. LAVAUUR Traité de béton armé Tome 6 (1979). : réservoirs château d'eau, piscines. DUNOD, France.8039-Imprimerie NOUVELLE ORLEANS.
- Bruno COUSIN ; Cours d'ouvrages spéciaux; année académique 2014-2015
- Dr Adamah MESSAN. COURS DE DIMENSIONNEMENT DES RESERVOIRS EN BETON ARME. 2015.
- Béga Urbain OUEDRAOGO. COURS SUR QUALITE DES EAUX NATURELLES ET DES EAUX DE CONSOMMATION (besoins et demande en eau tirage 2006).
- Béga Urbain OUEDRAOGO cours ouvrages constitutifs de systèmes d'AEP/ adduction-réservoirs-réseaux de distribution.
- (Source : Jacques Bonvin cours de Modélisation des réseaux en charge AEP).

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

ANNEXES

Tableau 1: Section en cm² de 1 à 20 armatures de diamètre ϕ en mm

\emptyset	5	6	8	10	12	14	16	20	25	32	40
1	0,20	0,28	0,50	0,79	1,13	1,54	2,01	3,14	4,91	8,04	12,57
2	0,39	0,57	1,01	1,57	2,26	3,08	4,02	6,28	9,82	16,08	25,13
3	0,59	0,85	1,51	2,36	3,39	4,62	6,03	9,42	14,73	24,13	37,70
4	0,79	1,13	2,01	3,14	4,52	6,16	8,04	12,57	19,64	32,17	50,27
5	0,98	1,41	2,51	3,93	5,65	7,70	10,05	15,71	24,54	40,21	62,83
6	1,18	1,70	3,02	4,71	6,79	9,24	12,06	18,85	29,45	48,25	75,40
7	1,37	1,98	3,52	5,50	7,92	10,78	14,07	21,99	34,36	56,30	87,96
8	1,57	2,26	4,02	6,28	9,05	12,32	16,08	25,13	39,27	64,34	100,5
9	1,77	2,54	4,52	7,07	10,18	13,85	18,10	28,27	44,18	72,38	113,1
10	1,96	2,83	5,03	7,85	11,31	15,39	20,11	31,42	49,09	80,42	125,7
11	2,16	3,11	5,53	8,64	12,44	16,93	22,12	34,56	54,00	88,47	138,2
12	2,36	3,39	6,03	9,42	13,57	18,47	24,13	37,70	58,91	96,51	150,8
13	2,55	3,68	6,53	10,21	14,70	20,01	26,14	40,84	63,81	104,6	163,4
14	2,75	3,96	7,04	11,00	15,83	21,55	28,15	43,98	68,72	112,6	175,9
15	2,95	4,24	7,54	11,78	16,96	23,09	30,16	47,12	73,63	120,6	188,5
16	3,14	4,52	8,04	12,57	18,10	24,63	32,17	50,27	78,54	128,7	201,1
17	3,34	4,81	8,55	13,35	19,23	26,17	34,18	53,41	83,45	136,7	213,6
18	3,53	5,09	9,05	14,14	20,36	27,71	36,19	56,55	88,36	144,8	226,2
19	3,73	5,37	9,55	14,92	21,49	29,25	38,20	59,69	92,27	152,8	238,8
20	3,93	5,65	10,05	15,71	22,62	30,79	40,21	62,83	98,17	160,8	251,3

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Tableau 2: Conditions de vérification du voile armé ou non verticalement

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

Tableau 3: Valeurs de la hauteur libre du voile entre nus du 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

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

Tableau 4: calcul de la section des armatures du voile

	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	$\rho_v = \text{Max} \left[0,001 ; 0,0015 \frac{400 \theta}{f_e} \left(\frac{3 \sigma_u}{\sigma_{ulim}} - 1 \right) \right]$ avec $\theta = 1,4$ pour un voile de rive $\theta = 1$ pour un voile intermédiaire par moitié sur chaque face	$\text{Max} \left[\frac{2 \rho_{vmax}}{3} ; 0,001 \right]$ ρ_{vmax} = le pourcentage vertical de la bande la plus armée

Figure 1: Abaque permettant la détermination de γ_h et γ_{ho}

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

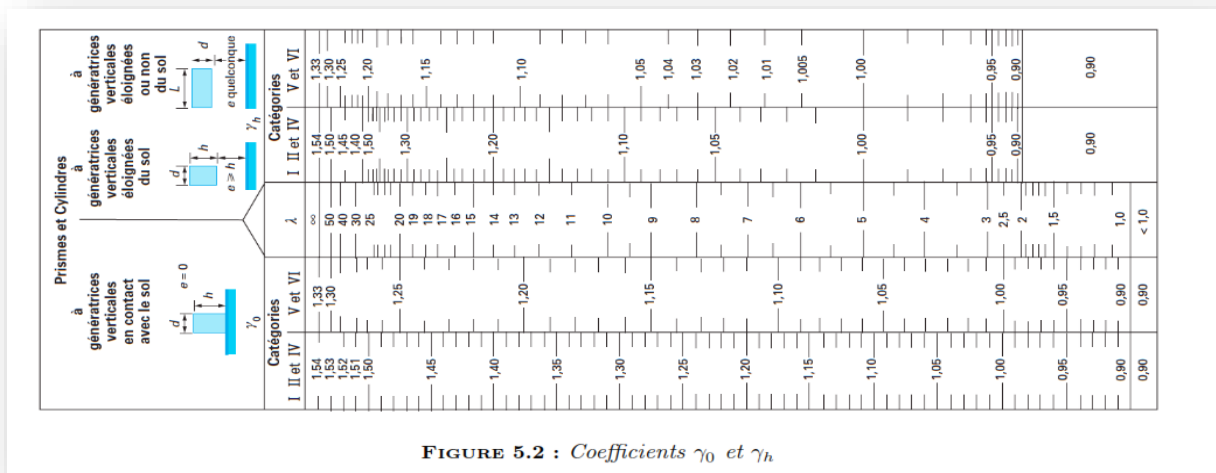
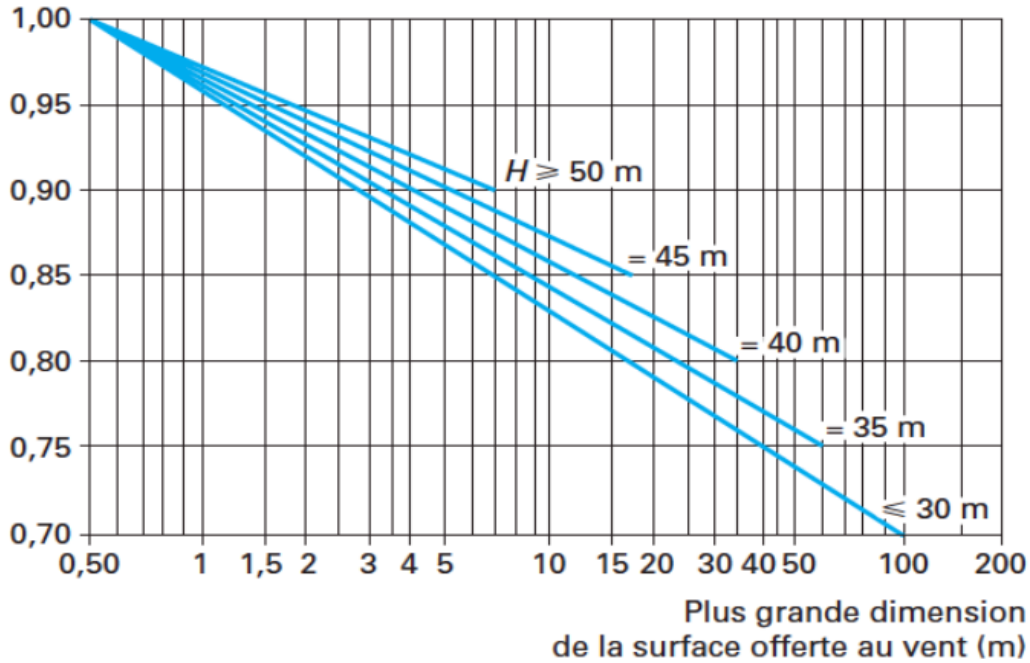
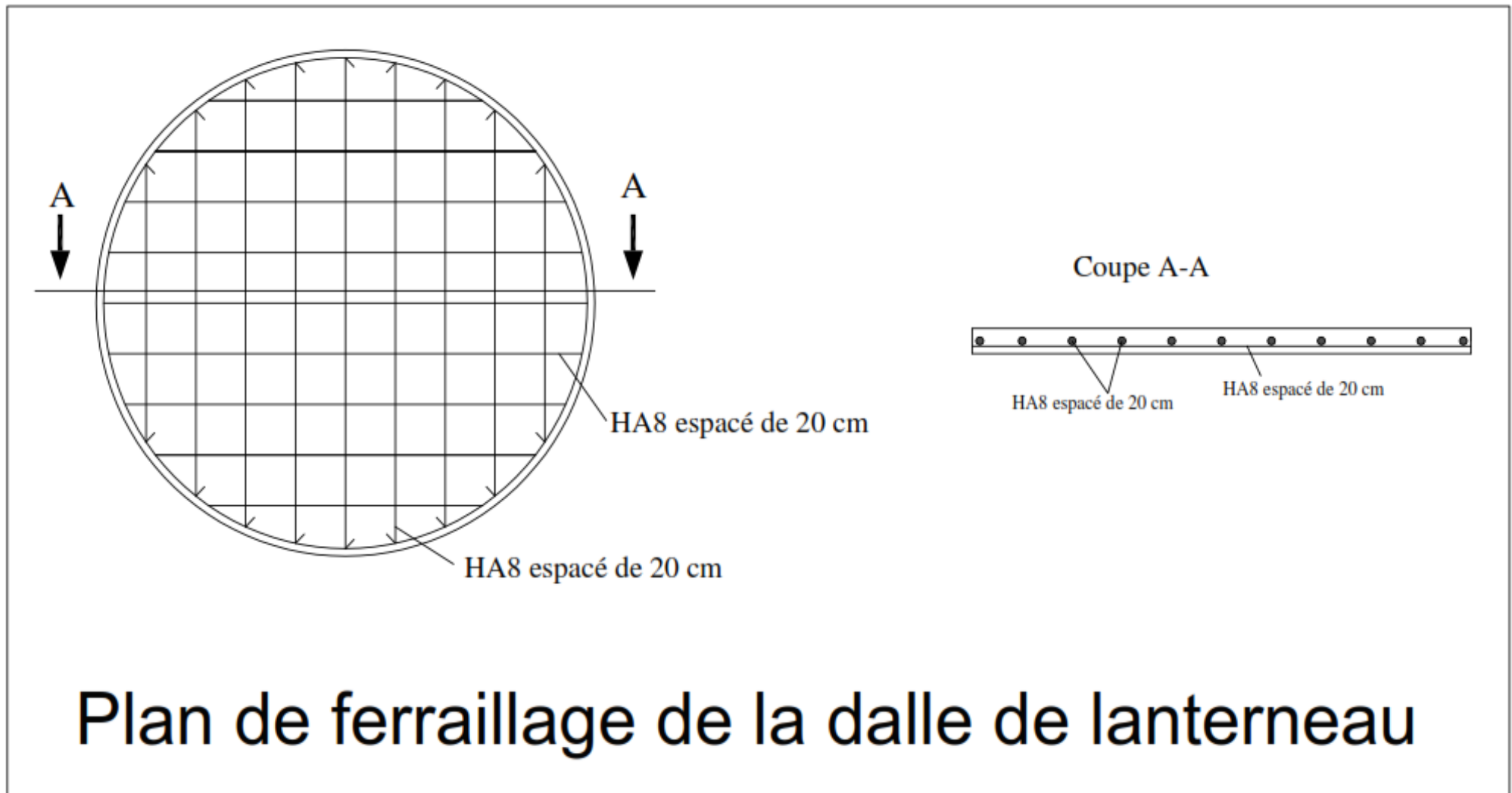


FIGURE 5.2 : Coefficients γ_0 et γ_h

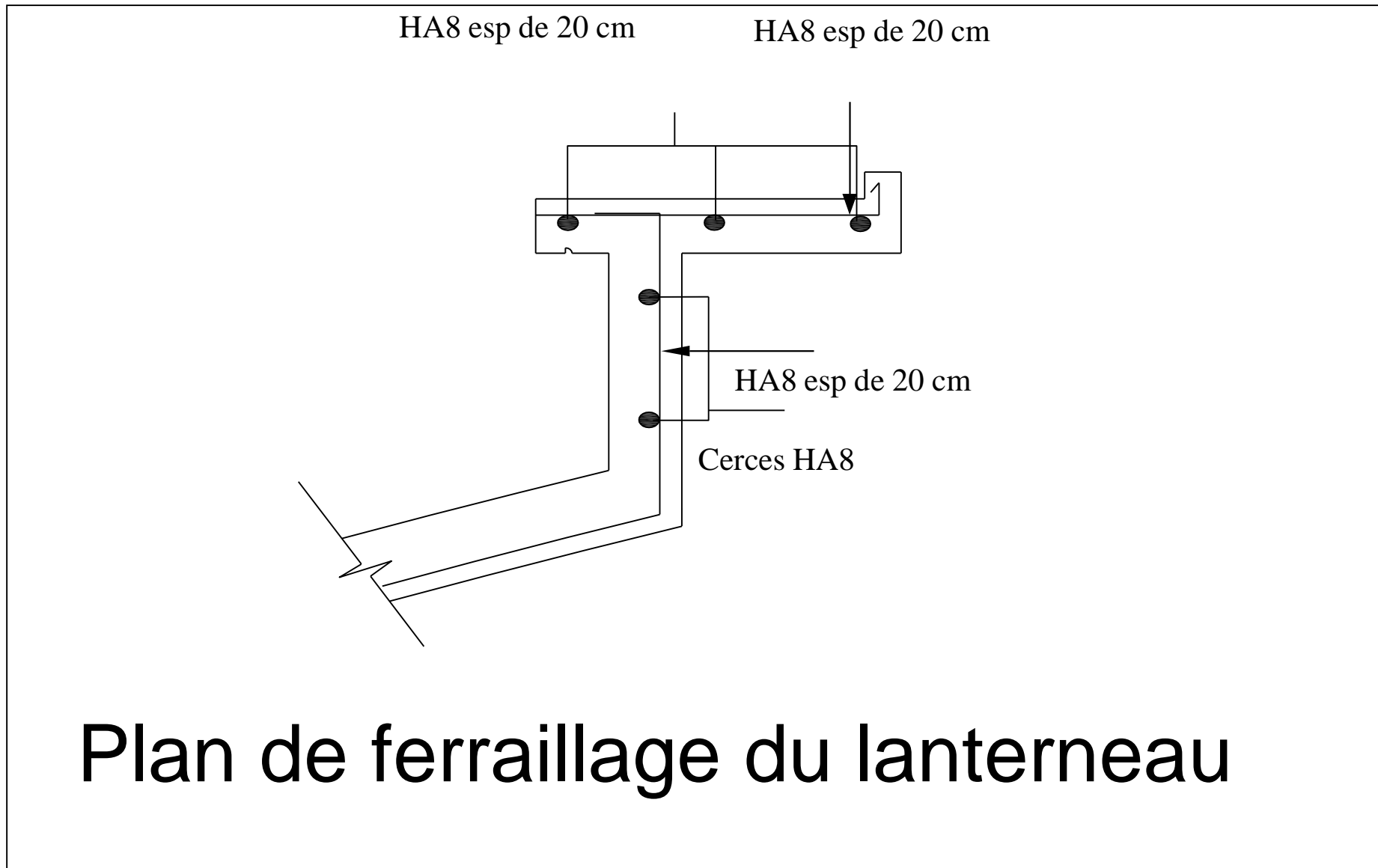
Figure 2: Abaque permettant la détermination de δ

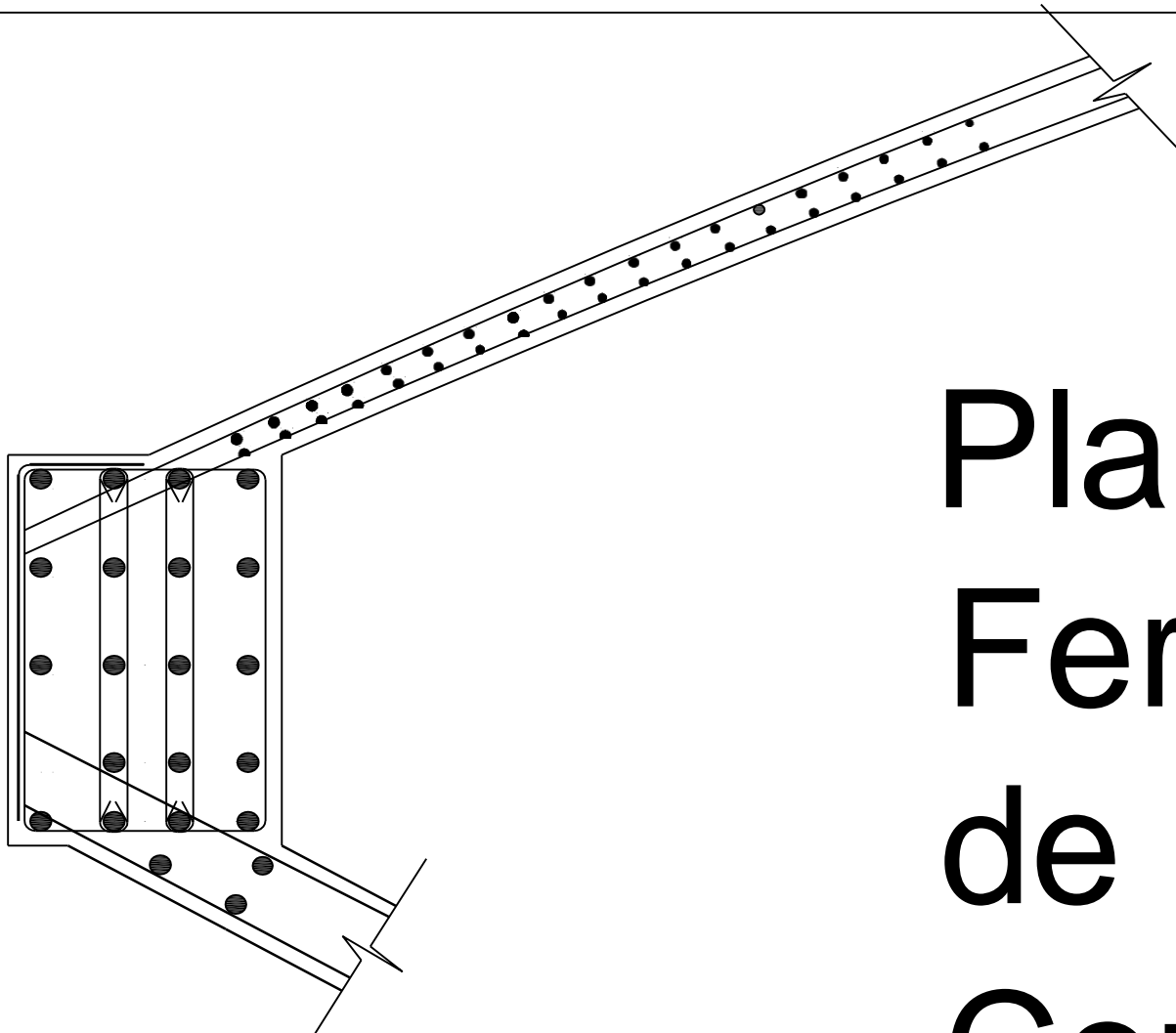


Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey



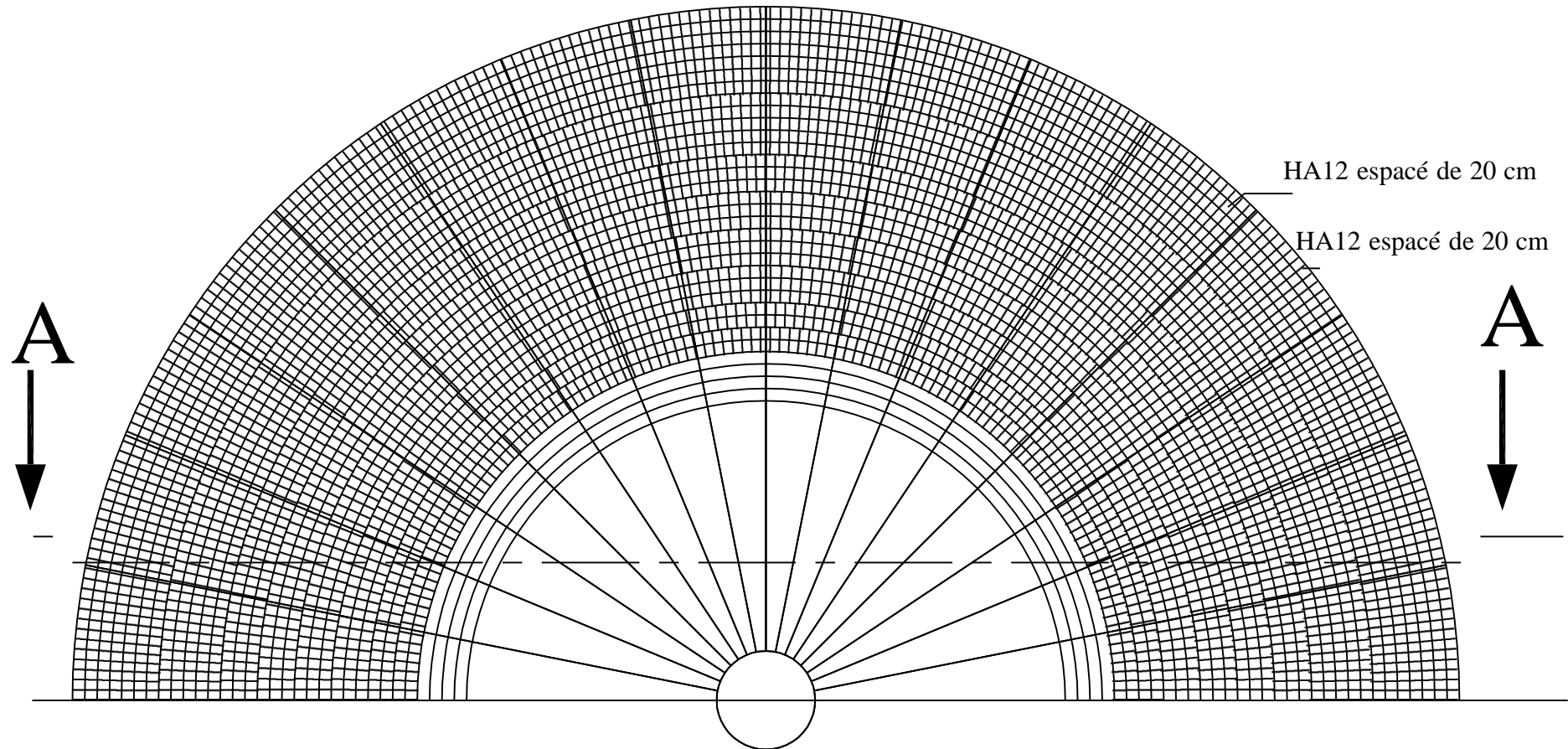
Plan de ferrailage de la dalle de lanterneau





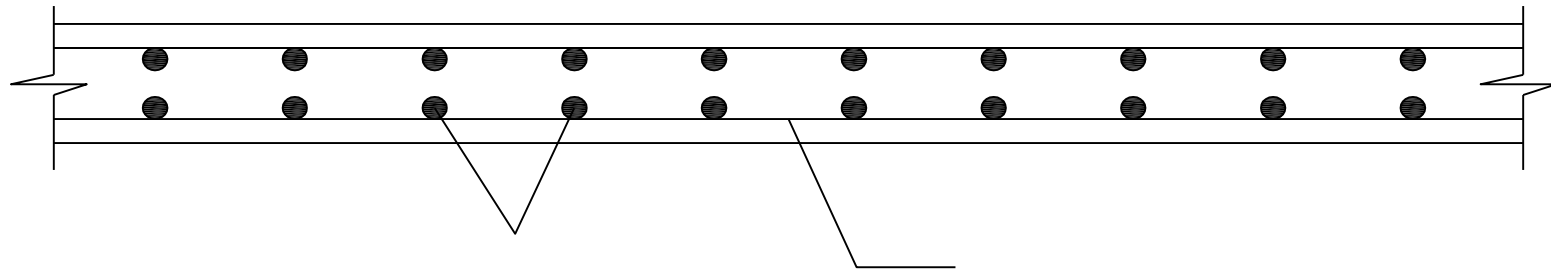
Plan de Ferrailage de la Coupole

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey



Détail sur le plan de ferrailage de la coupole de couverture

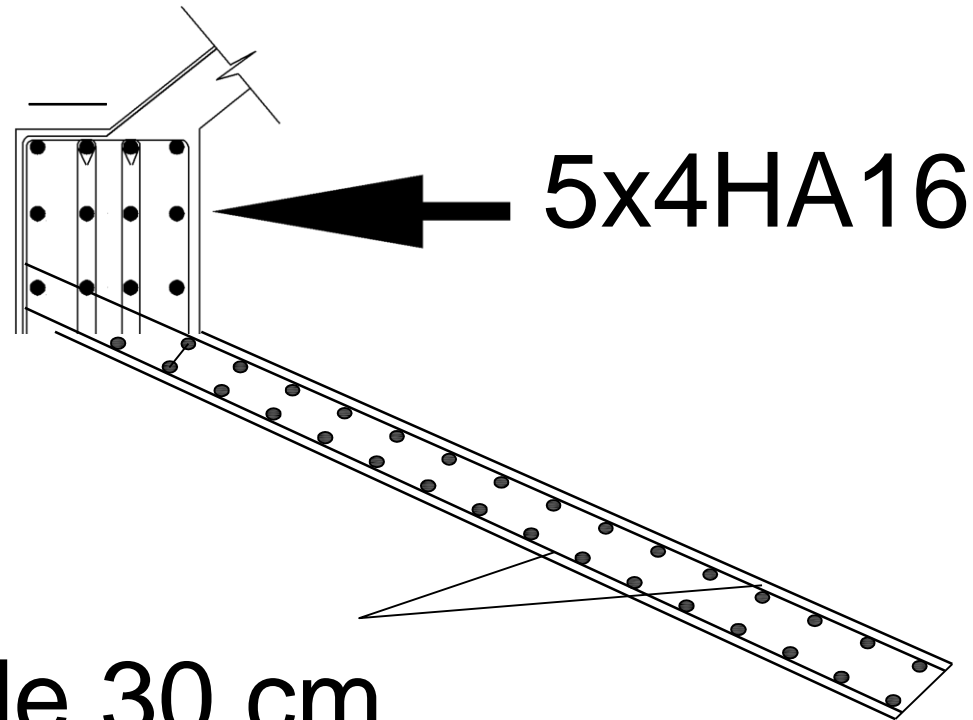
COUPE A-A



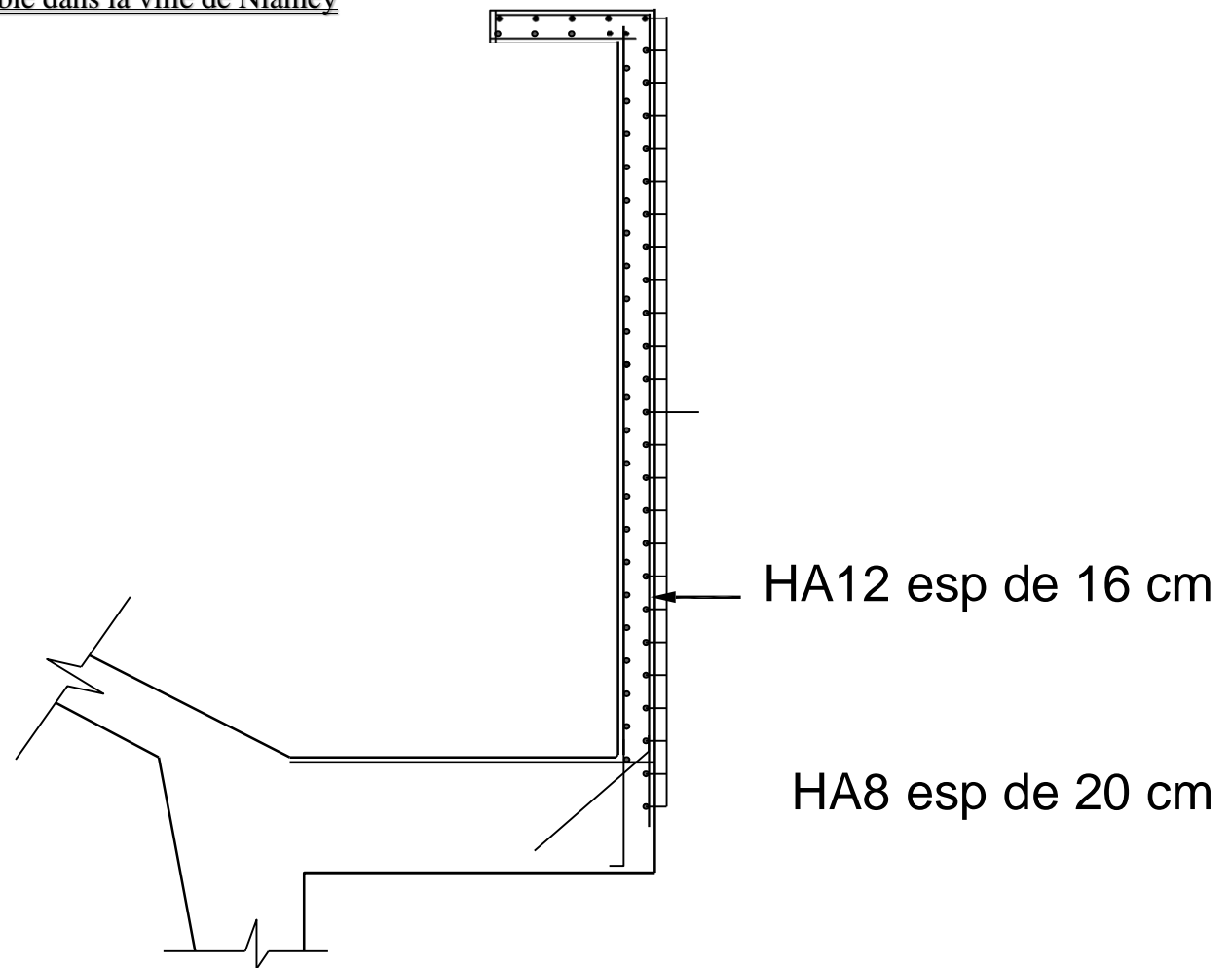
HA12 espacé de 20 cm

HA12 espacé de 20 cm

Détail sur le plan de ferrailage de la coupole de couverture

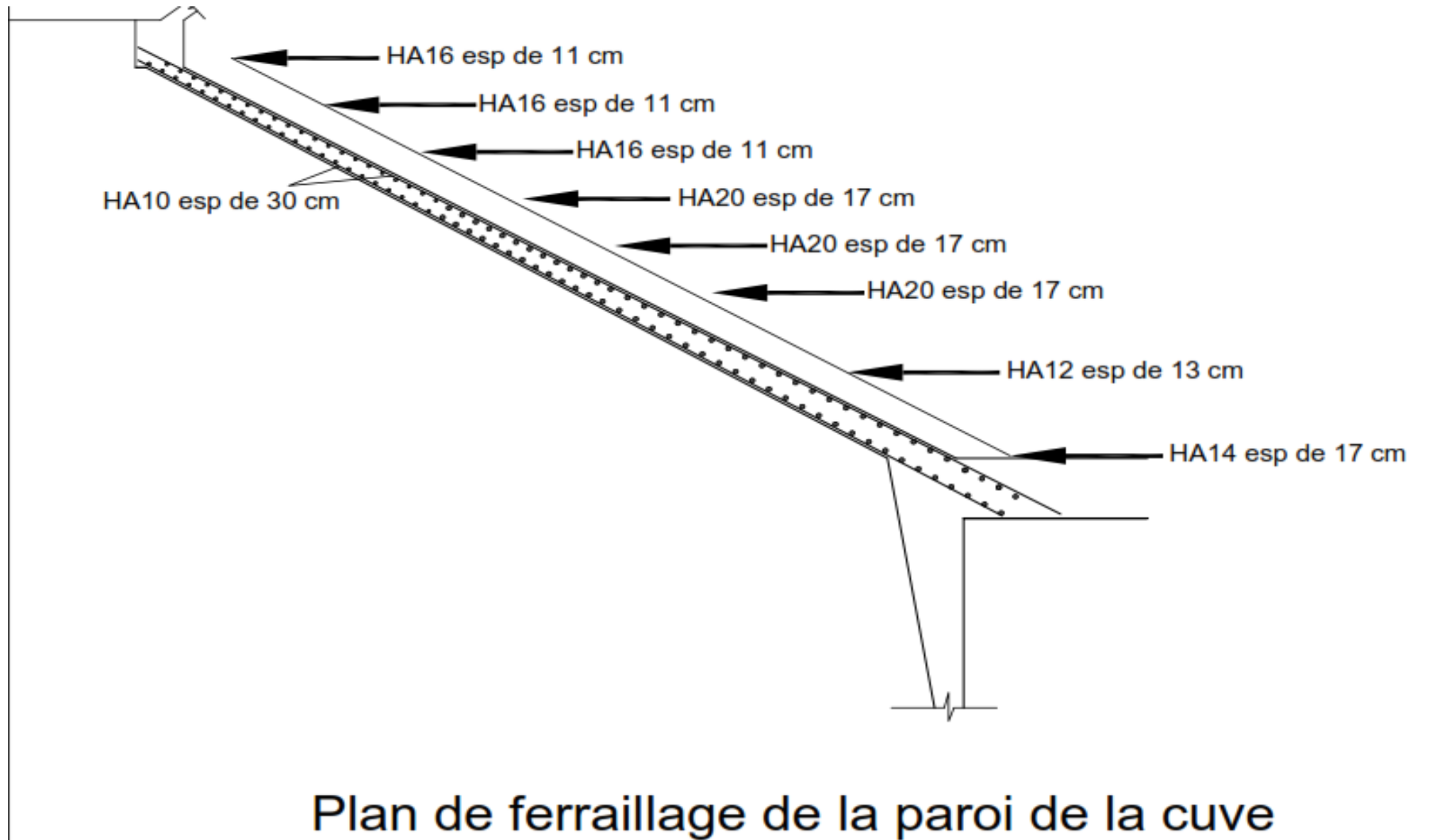


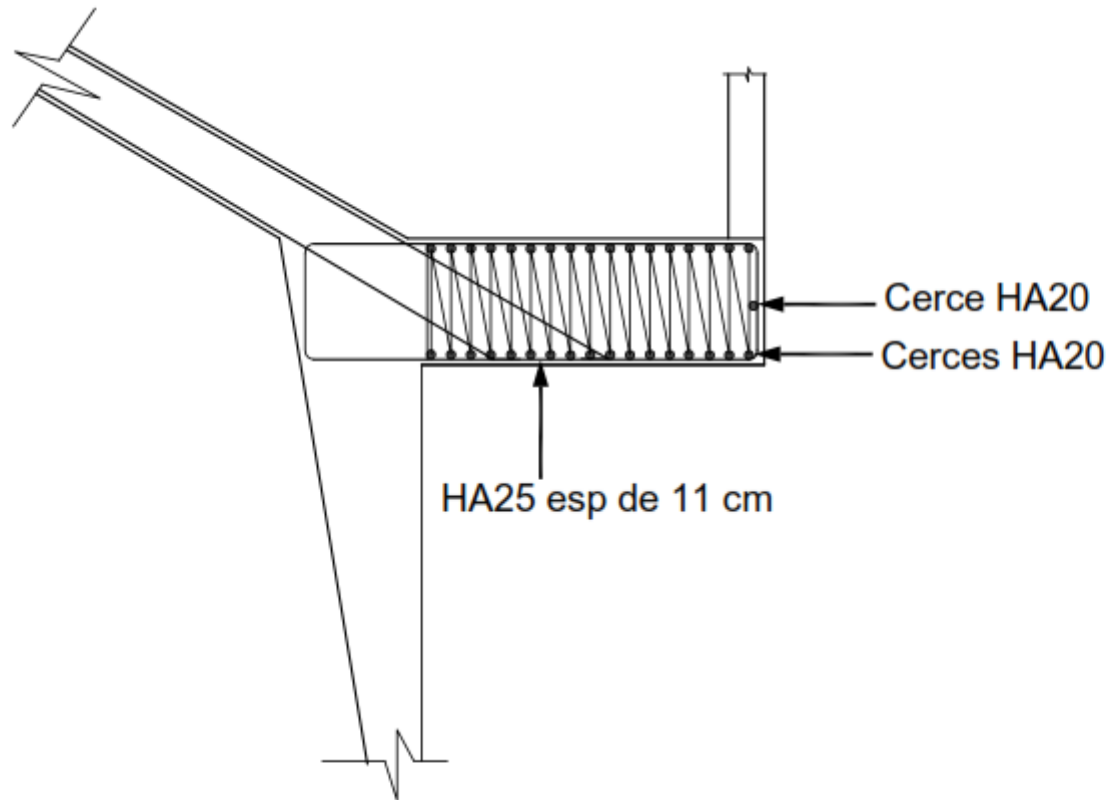
HA10 esp de 30 cm
Plan de ferrailage de la ceinture



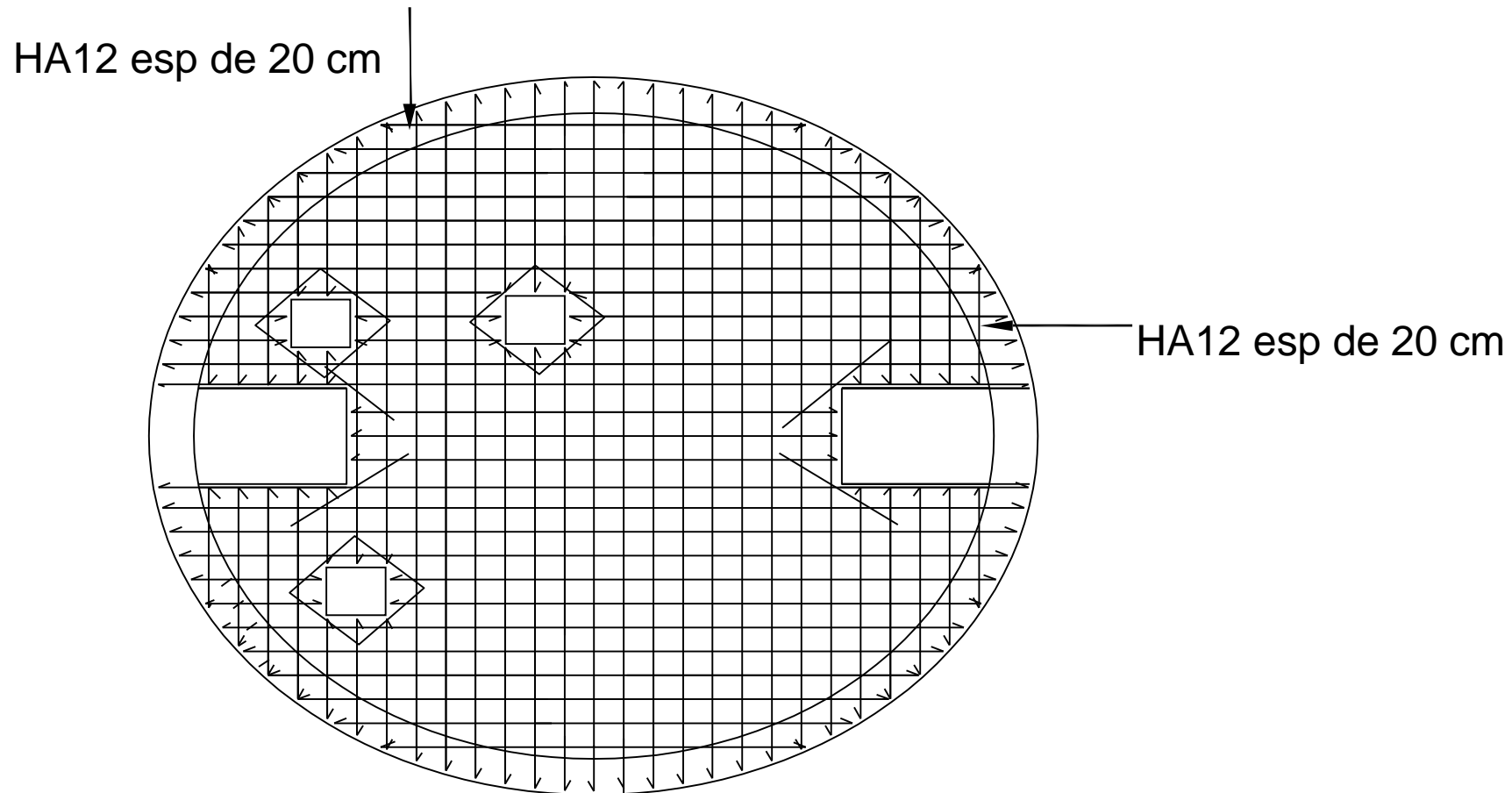
Plan de ferrailage de la cheminée

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey

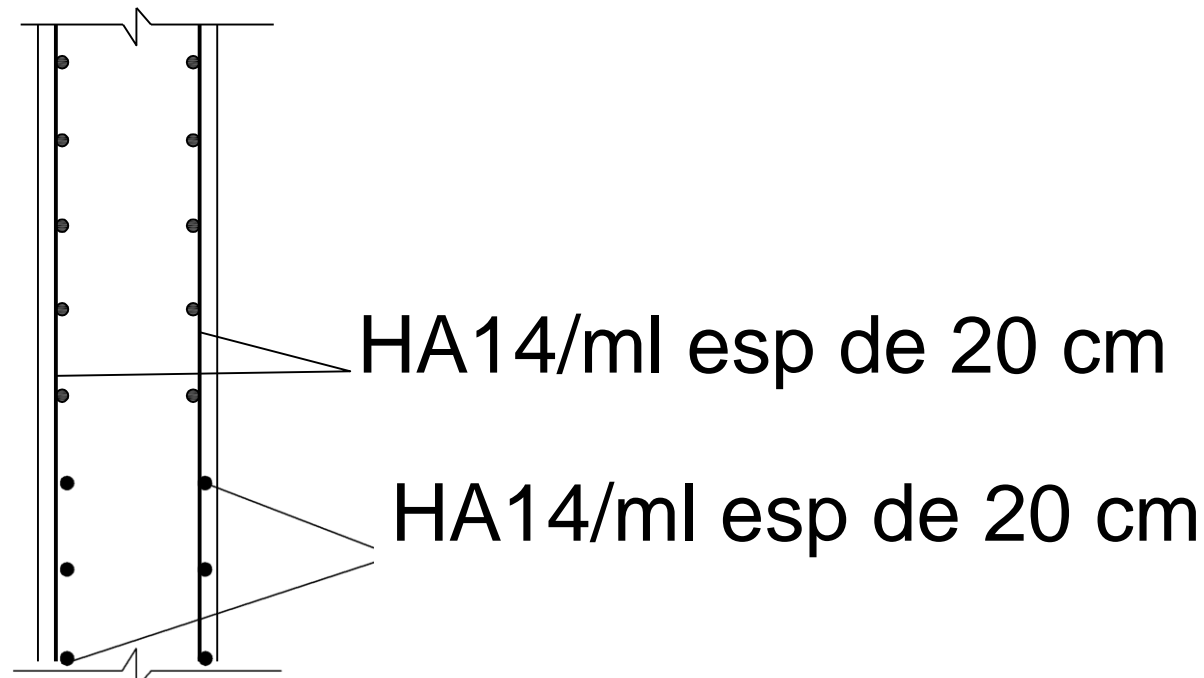




Plan de ferrailage de la dalle de fond

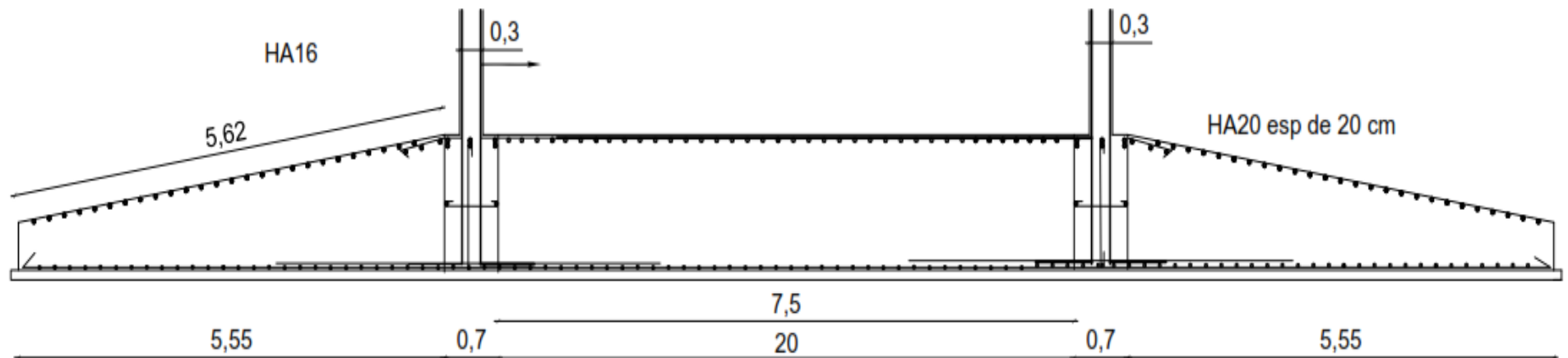


Plan de ferrailage de la dalle intermédiaire



Plan de ferrailage de la paroi de la tour-support

Etude de la structure d'un château d'eau de 2000 m³ en vue de contribuer à l'extension du réseau d'approvisionnement en eau potable dans la ville de Niamey



Plan de ferrailage du radier