CONCEPTION ET ÉTUDE TECHNIQUE DÉTAILLÉE D'UN CHÂTEAU D'EAU TRONCONIQUE DE CAPACITÉ 300M^3 : APPLICATION AU PROJET SP-EAU/AFD À GLÉI, RÉGION DES PLATEAUX (TOGO)

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR 2IE AVEC GRADE DE

MASTER

SPECIALITÉ : GENIE CIVIL BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS**.**

Présenté et soutenu publiquement le 22 Janvier 2026 par :

LARE Lékpièguibe (20210404)

Directeur de mémoire : **Pr. Adamah MESSAN**, Professeur Titulaire (CAMES), Enseignant chercheur 2iE, Directeur de la Recherche 2IE et Chef de Laboratoire du département Génie Civil ;

Maître de stage : **M. BIAKU Kodzomesa Like,** Ingénieur en Génie civil, Directeur chez GOUPE BKL BTP sis à Lomé- Togo

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : Dr. Angelbert Chabi BIAOU, Maitre de conférences (CAMES), Enseignant chercheur à l'Institut 2IE

Membres et correcteurs : **Promotion [2025 - 2026]**

Dr. Seick Omar SORE

M. Kader BANAOU DJIBO

DEDICACE

Je dédie ce mémoire :

A Dieu Tout-Puissant, source de sagesse et de persévérance

A mes Parents, pour leurs sacrifices inestimables et leur amour indéfectible

A mon épouse Ayawa Mawuhoégnon, pour sa loyauté, sa patience, ses encouragements et son soutien moral constant

A mes enfants, pour leur prière quotidienne surtout dans mes allers-retours depuis le début de mes études jusqu'ici et au-delà

A mes enseignants et encadreurs, pour leur accompagnement et surtout leurs conseils fructueux

A tous ceux ou celles qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, je dédie ce travail avec gratitude

CITATION

Concevoir, c'est transformer la science en utilité, avec la responsabilité de bâtir des ouvrages sûrs et durables ; Jean Prouvé, ingénieur et constructeur

Remerciements

Je rends grâce à Dieu Tout-Puissant, source de toute sagesse et de toute force, non seulement pour m'avoir inspiré vers ce noble parcours, mais aussi pour m'avoir donné la santé, le courage et la persévérance nécessaires à la réalisation de ce travail.

C'est ici le lieu pour moi, d'exprimer ma profonde gratitude à tout le personnel enseignant et administratif de l'institut 2iE, nommément à :

- **M. El Hadji Bamba DIAW**, Professeur Titulaire (CAMES), Directeur Général de 2iE ;
- **M. Mahamadou KOITA**, Professeur Titulaire (CAMES), Directeur des Enseignements et des Affaires Académiques ;
- **M. Adamah MESSAN**, Professeur Titulaire (CAMES), Directeur de recherches de l'Institut 2IE, Chef de Laboratoire du Département de Génie Civil 2IE et Directeur de ce présent mémoire ;
- **M. Césaire HEMA**, Maître-Assistant (CAMES) ; chef du Département de Génie Civil Bâtiment et Travaux Publics

Un sincère merci à tout le personnel de GROUPE BKL BTP, ma structure d'accueil pour le stage qui m'a permis de réaliser ce travail. Ma gratitude particulièrement à **M. BIAKU Kodzomesa Like**, mon Maître de stage, Ingénieur Génie Civil/Bâtiment, Directeur de GROUPE BKL BTP pour son attention particulière à ma personne et son encadrement de fond.

Je tiens également à exprimer ma reconnaissance à mon administration, notamment le Ministre de l'Education Nationale du Togo, pour la confiance placée en moi à travers l'octroi de ce congé de formation.

Enfin, je n'oublie pas mes amis, mes collègues et camarades de promotion, pour leur soutien moral, leurs encouragements et les échanges constructifs qui ont toujours enrichi mes réflexions

A toutes et à tous, trouvez ici l'expression de ma profonde gratitude et mon sincère respect.

RESUME

Pour de nombreuses localités du Togo, notamment en milieu semi-urbain et rural, l'accès à l'eau potable reste un défi majeur. Dans le cadre de la mise en œuvre du projet SP-EAU/AFD dans la région des Plateaux, il a été retenu la réalisation d'un château d'eau surélevé afin d'assurer un approvisionnement fiable et durable en eau potable à Gléi. Le présent mémoire porte sur la conception et étude détaillée d'un château d'eau tronconique de capacité 300m^3.

La méthodologie adoptée s'appuie sur : (i) présentation de la structure d'accueil et du projet ; (ii) généralités sur les châteaux et méthodologie la conception de ces types d'ouvrages ;

(iii) conception géométrique et structurale du château d'eau à Gléi ; et enfin (iv) impact environnemental et estimation financière du projet.

Les résultats obtenus montrent qu'un tel château d'eau tronconique de 300m^3 est réalisable avec un coût prévisionnel de cent soixante-deux millions soixante-dix-huit mille huit vingt de francs CFA dont quatre millions huit cent cinquante-neuf mille cinq cents de francs CFA pour l'étude d'impact environnemental et social.

Mots clés :

1. château d'eau ;

2. conception ;

3. coût

4. dimensionnement;

5. stabilité;

ABSTRACT

In many localities of Togo, particularly in semi-urban and rural areas, access to safe drinking water remains a major challenge. Within the framework of the implementation of the SP-EAU/AFD project in the Plateaux Region, the construction of an elevated water tower was selected in order to ensure a reliable and sustainable supply of potable water to the locality of Gléi. This dissertation focuses on the design and detailed technical study of a truncated-cone water tower with a storage capacity of 300m^3.

The adopted methodology is structured around: (i) the presentation of the host institution and the project; (ii) general considerations on water towers and the methodology for designing such structures; (iii) the geometric and structural design of the water tower in Gléi; and finally (iv) the assessment of the environmental and social impacts, as well as the financial cost estimation of the project. .

The results obtained demonstrate that the proposed 300 m³ truncated-cone water tower is technically feasible, with an estimated total cost of one hundred sixty-two million seventy-eight thousand eight hundred twenty CFA francs, including four million eight hundred fifty-nine thousand five hundred CFA francs allocated to the environmental and social impact asses

Keywords:

1. cost

2. design;

3. stability;

4. structural design;

5. water tower ;

Liste des abréviations et sigles

AFD : Agence Française de développement

BAEL : Béton Armé aux Etats Limites

BPU : Bordereau des Prix Unitaires

BTP : Bâtiment et Travaux Publique

CEBTP : Centre Expérimental et d'étude du Bâtiment et des Travaux Publics

DTU : Document Technique Unifié

DQE : Devis Quantitatif et Estimatif

EIES : Etude d'Impact Environnemental et Social

ELS : Etat Limite de Service

GND : Grossesse Non Désirée

GPS : Global Positionning System

HIMO : Haute Intensité de Main d'œuvre

HSSE : Hygiène, Santé, Sécurité et Environnement

IRA : Infection Respiratoire Aigue

ISO : International Standard Organisation

IST : Infection Sexuellement Transmissible

MDC : Mission de Contrôle

MEEDD : Maison de l'Education à l'Environnement et Développement Durable

MGP : Mécanisme de Gestion des Plainte

Mr : Moment renversant

Ms : Moment stabilisant

NES : Normes Environnementales et Sociales

NIES : Notice d'Impact Environnemental et Social

NV65 : Normes vent et neige 65

ONG : Organisation Non Gouvernementale

PAP : Personne Affectée par le Projet

PAR : Plan d'Action de Réinstallation

PGES : Plan de Gestion Environnementale et Sociale

PHSS : Plan Hygiène, Santé, sécurité

PSE-TOGO : Projet de Sécurité de l'Eau au Togo

PV : Procès-Verbal

SIDA : Syndrome d'Immunodéficience Acquise

SP-EAU : Société du Patrimoine Eau

SSES : Services de suivi environnemental et social

SST : Santé et la Sécurité au Travail

UGP : Unité de Gestion du Projet

VBG/ VCE : Violence Basée sur le Genre/ Violence Contre les Enfants

VIH : Virus de l'Immunodéficience Acquise

Table des matières

DEDICACE I

CITATION II

REMERCIEMENTS III

RESUME IV

ABSTRACT V

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES VI

TABLE DES MATIÈRES VIII

ANNEXES X

LISTE DES TABLEAUX XI

LISTE DES FIGURES XII

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET 2

I- PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL 2

1.1. Présentation de la structure d'accueil 2

1.2 Présentation du projet SP-EAU/AFD 2

1.3 Situation géographique de Gléi 3

II-**CADRE LOGIQUE** 5

CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES CHATEAUX ET METHODOLOGIE LA CONCEPTION DE CES TYPES D'OUVRAGES 6

I- GENERALITES SUR LES CHATEAUX 6

1.1- Définition et rôle du château d'eau 6

1.2- Typologies des réservoirs surélevés 6

II- METHODOLOGIE DE CONCEPTION DE CES TYPES D'OUVRAGES 6
2.1 Critères de choix d'un réservoir tronconique 6
2.2 Normes et règlements de calcul 7
2.3 Données de base du projet 7
2.4 Hypothèses structurelles 8
Hypothèses géométriques et prédimensionnement 9
2.5 Méthodes et matériels 10
Méthodes d'étude technique 10

CHAPITRE 3 : CON CEPTION GEOMETRIQUE ET STRUCTURALE DU CHATEAU D'EAU A GLEI 12
3.1 Conception géométrique 12
3.2 Calcul des charges et dimensionnement des différentes parties structurelles 15
3.2.1 Couple de couverture 15
➢ **Épaisseur de la coupole supérieure (e_{cs})** 15
Détermination du rayon de courbure de la coupole supérieure 16
➢ **Calcul de la section d'Acier As** 18
3.2.2 La ceinture supérieure 20
➢ **Prédimensionnement de la ceinture supérieure** 20
3.2.3 Dimensionnement de la cuve tronconique 23
5.1.3.2- Action du poids propre 25
Vérification des contraintes dans le béton de la partie tronconique 27
..... 29
3.2.4 Coupole de fond 29
La contrainte de compression du béton est : 31
3.2.6 La ceinture d"appui sur la tour 35
3.2.7 Etude de la Tour du château d'eau 38
3.2.8 Etude du radier 40
3.3 Etude de stabilité globale 48
3.3.1 instabilités internes 49
3.3.2 instabilités externes 49
➢ **Tassement/Poinçonnement** 49
➢ **Paramètres de calcul** 50
3.4 Analyse et discussion des résultats 55

CHAPITRE 4 : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL ET ESTIMATION FINANCIÈRE 56
4.1 Etude financière du château d'eau 56
4.2- d'Impact Environnemental et Social (EIES Etude) 56

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 58

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 60

ANNEXES

ANNEXE 1: Le détail de calcul des contraintes admissibles des aciers HA I
ANNEXE 2: Sections totales d'acier III
ANNEXE 3: Devis Quantitatif et Estimatif IV
ANNEXE 4 : Notice d'impact environnemental et social V

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1:cadre logique 5
Tableau 2:contraintes admissibles des (HA) dont le détail de calcul (en annexe 1) 8
Tableau 3:récapitulatif des données géométriques 14
Tableau 4 : récapitulatif des valeurs de coupole de couverture 19
Tableau 5:Récapitulatif de la ceinture supérieure 22
Tableau 6:Récapitulatif des résultats de la cuve tronconique 26
Tableau 7:récapitulatif de vérification 28
Tableau 8:récapitulatif des résultats obtenus 31
Tableau 9:récapitulatif du calcul de la cheminée 34
Tableau 10:récapitulatif du calcul de la ceinture d'appui 37
Tableau 11:récapitulatif du calcul de la Tour 39
Tableau 12:Ferraillage des sections 47
Tableau 13: Pression dynamique du vent pour une hauteur inférieur à 1000 m (NV65) 50
Tableau 14:Coefficient d'exposition aux pressions de base (NV65) 50
Tableau 15:Valeur minimale et maximale de pressions dynamique (NV65) 52

LISTE DES FIGURES

Figure 1:organigramme de Groupe BKL BTP 2
Figure 2: situation géographique de Gléi dans la région des savanes 3
Figure 3: le site de l'ouvrage 4
Figure 4:Description de quelques éléments de la cuve tronconique 12
Figure 5:éléments géométriques de notre château tronconique 13
Figure 6:schéma de principe de la coupole supérieure 15
Figure 7:Plan de ferraillage de la coupole de couverture 19
Figure 8:Les dimensions de la ceinture (base b et hauteur h) et niveau de l'eau maximal 20
Figure 9:coupe de la ceinture supérieure 23
Figure 10:Action du poids de l'eau 24
Figure 11:le ferraillage de la cuve tronconique 29
Figure 12:la vue du dessue de la coupole de fond 32
Figure 13: plan de ferraillage de la cheminée 35
Figure 14: le principe des efforts dans la ceinture d'appui 36
Figure 15:coupe de la ceinture inferieure 38
Figure 16:plan de ferraillage de la tour 40
Figure 17:plan de ferraillage et Coupe verticale du radier 47
Figure 18:plan de coffrage 48

INTRODUCTION GENERALE

L'accès à l'eau potable constitue un enjeu majeur pour le développement socio-économique et la santé publique. Dans de nombreuses localités rurales et semi-urbaines du Togo, la couverture en infrastructures d'approvisionnement reste encore insuffisante. La localité de Gleï, avec une population d'environ 12000 d'habitants, située dans la région des Plateaux, illustre cette réalité. La mise en place d'un système moderne de stockage et de distribution de l'eau apparaît dès lors comme une nécessité pour améliorer les conditions de vie des populations et soutenir les politiques publiques de développement durable.

L'alimentation en eau potable de qualité à Gleï est confrontée à plusieurs défis : croissance démographique, faible capacité des ouvrages existants, pertes liées au vieillissement des infrastructures et vulnérabilité aux changements climatiques. Ces contraintes posent la question centrale suivante : comment concevoir et dimensionner un château d'eau tronconique de 300 m³, à la fois durable, stable et économiquement optimisé, pour répondre durablement aux besoins en eau potable de la localité ?

Pour répondre à cette question de la problématique, des objectifs suivants ont été ainsi définis.

L'objectif général de cette recherche est de concevoir et réaliser une étude technique détaillée du château d'eau tronconique de capacité 300 m³ à Gleï, en vue d'assurer une bonne durabilité avec optimisation technicoéconomique

- Faire la conception géométrique et le prédimensionnement du château d'eau ;
- Réaliser la descente des charges et le dimensionnement des différents éléments de la structure ;
- Évaluer la stabilité globale de l'ouvrage face aux risques de flambement, de renversement, de cisaillement et de tassement ;
- Estimer le coût du projet de construction du château d'eau avec étude d'impact environnemental et social

I- présentation de la structure d'accueil et du projet ;

II- généralités sur les châteaux et méthodologie la conception de ces types d'ouvrages ;

III- conception géométrique et structurale du château d'eau à Gléi

IV- Etude d'impact environnemental, estimation financière du projet et conclusion

CHAPITRE 1 : PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET

I- PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

1.1. Présentation de la structure d'accueil

Le Groupe BKL-BTP est une entreprise basée à Lomé au Togo depuis 2009. Elle intervient dans les études et exécutions des projets en topographie, en génie civil et en hydraulique. Enregistré au registre légal sous le numéro matricule NIF : 1000203346, RCCM : TG-LOM2014A4466 et CNSS : 43136, le Groupe BKL BTP est une structure qui compte dix-sept (17) employés dont sept (07) permanents et dix (10) consultants. Elle a pour siège Lomé au Togo mais possède des succursales au Mali, au Gabon et en Guinée Conakry et offre ses services d'ingénierie et technologie de construction aux ONG, aux Bureaux d'étude, aux entreprises de BTP, aux Etats et aux particuliers.

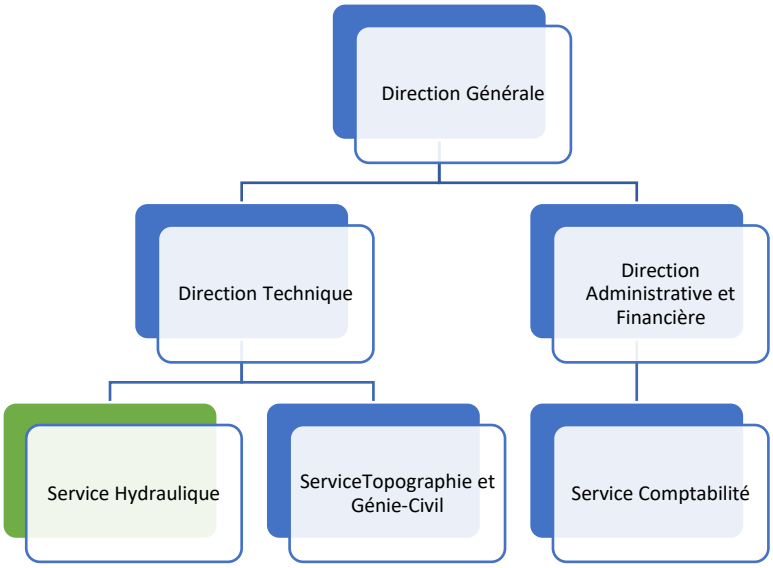


Figure 1:organigramme de Groupe BKL BTP

1.2 Présentation du projet SP-EAU/AFD

Le projet SP-EAU/AFD a pour objectif de renforcer l'accès à l'eau potable dans plusieurs localités du Togo, notamment dans la région des Plateaux. À Gleï, le projet vise la construction d'un château d'eau surélevé sur tour de 300 m³ afin d'assurer une distribution fiable et durable de l'eau potable. Les

principaux acteurs incluent l'Agence Française de Développement (AFD), le ministère de l'eau et les autorités locales de Gleï. Le délai d'exécution est de 12 mois.

1.3 Situation géographique de Gléi

Gleï est dans la région des Plateaux au Togo, localité du site de ce projet (figure3) situé à environ 120 km de Lomé. La localité présente une topographie mixte avec des zones plates et légèrement vallonnées. Les données démographiques indiquent une population en croissance (12.000 habitants d'après le récent Recensement Général de l'Habitat et de la Population au Togo du 23 octobre au 16 novembre 2022) ; ce qui accentue la demande en eau potable. Les conditions climatiques sont caractérisées par une saison pluvieuse et une saison sèche, influençant la planification des infrastructures hydrauliques et en bâtiment et de travaux publics.

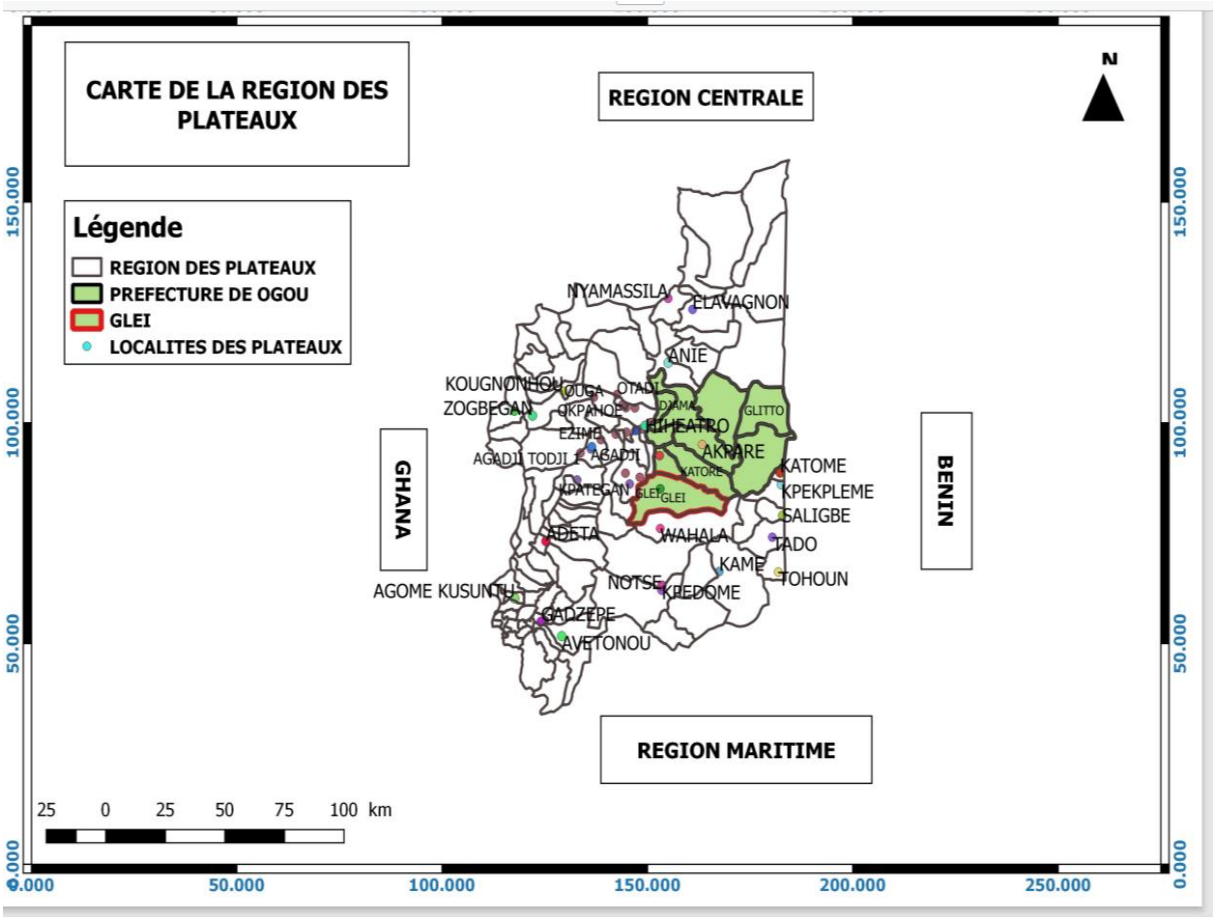


Figure 2: situation géographique de Gléi dans la région des savanes



Figure 3: le site de l'ouvrage

II-CADRE LOGIQUE

Le tableau 1 ci-dessous récapitule les objectifs, activités, livrables et planning/délai du projet

Tableau 1:cadre logique

Objectif Général	Objectifs Spécifiques	Résultats attendus	Activités à mener	Livrables par activité	Délai fixé
Concevoir et réaliser une étude technique détaillée du château d'eau, de forme tronconique, de capacité 300m^3 à Gléi, en vue d'assurer une bonne durabilité avec une optimisation technico-économique.	**1.Conception géométrique et Prédimensionnement**	Diamètres D1 et D2, hauteur H et volume exact de 300m^3	Collecte de données, Calcul géométrique Prédimensionnement	Tableau des dimensions géométriques, schéma/coupe	21/10/ 2025
	2.Descente des charges et dimensionnement	Vérifications à ELU et ELS réussies	Calcul des charges permanentes et variables Dimensionnement béton armé ;	Tableau des charges, diamètres des armatures bien connus	15/11/2025
	3.Evaluation stabilité globale	Stabilité assurée face au flambement, au renversement et tassement.	Analyse flambement, au renversement ;	Tableau des résultats de vérifications de stabilité	30/11/2025
	4.Estimation du coût	Coût total estimé ≤Budget Projet	Collecte prix matériaux, prix main d'œuvre et équipements ;	Devis estimatif et quantitatif	07/12/2025
	5.Evaluation des impacts environnementaux et sociaux	Compensation des impacts environnementaux, sociaux et sécurité au chantier.	Enumérer les impacts négatifs et positifs puis proposer l'atténuation des impacts négatifs	Tableau des coûts et estimation globale Plan de Gestion environnementale et sociale (PGES)	15/12/2025
	Résultat Final	Château d'eau fonctionnel, sécurisé et durable en réponse aux attentes des habitants de Gléi	Intégration des résultats obtenus et synthèse.	Document final muni des plans et annexes	05/01/2026

CHAPITRE 2 : GENERALITES SUR LES CHATEAUX ET METHODOLOGIE LA CONCEPTION DE CES TYPES D'OUVRAGES

I- GENERALITES SUR LES CHATEAUX

1.1- Définition et rôle du château d'eau

Les châteaux d'eau sont des réservoirs surélevés destinés au stockage et à la distribution d'eau potable. Ils permettent de garantir la pression dans le réseau de distribution, de sécuriser l'approvisionnement en période de forte demande et de compenser les variations de débit. Ces ouvrages jouent également un rôle stratégique en cas d'incendie et dans la gestion quotidienne de l'eau potable.

1.2- Typologies des réservoirs surélevés

Les châteaux d'eau peuvent se présenter sous plusieurs formes selon la capacité, la topographie et le contexte technique :

- Cylindriques : Réservoirs à fût vertical, souvent simples à construire et adaptés aux petites capacités ;
- Tronconiques : Réservoirs à base plus large que le sommet, offrant une bonne stabilité et un meilleur compromis technico-économique pour des volumes moyens ;

- Sphériques et ovoïdes : Formes utilisées pour de très grandes capacités, optimisant la distribution des contraintes sur les parois ;

- Polyvalents ou atypiques : Combinaisons de plusieurs formes adaptées à des besoins spécifiques donnés.

II- METHODOLOGIE DE CONCEPTION DE CES TYPES D'OUVRAGES

2.1 Critères de choix d'un réservoir tronconique

La conception des châteaux d'eau combine plusieurs disciplines :

- Hydraulique : Calcul de la demande en besoin d'eau potable, de la pression de service dans le réseau et du débit de distribution.

- Génie civil : Dimensionnement structurel des parois, radier et fût, étude de la stabilité globale.
- Économie et durabilité : optimisation des coûts de construction, entretien et durée de vie de l'ouvrage.

Le choix de la forme tronconique, comme dans le cas de ce projet à Gleï, résulte d'un compromis entre sa capacité, 300m^3, la stabilité et l'économie de matériaux. Les principes théoriques reposent sur l'équilibre des contraintes mécaniques et la sécurité vis-à-vis des états limites normés.

2.2 Normes et règlements de calcul

Les **règlements et normes utilisés** pour le dimensionnement des châteaux d'eau reposent les standards suivants :

- Fascicule 74 relative à la construction des réservoirs [1];
- Règlement de calcul des ouvrages en BA suivant la méthode des états limites (BAEL 91 modifié 99) [2];
- Béton armé – Règles BAEL – Ouvrage particuliers ;
- Traité du béton armé tome 6 (Réservoir) ;
- Précis de calcul béton armé, Guerrin [3];
- Règles NV65 qui définit les effets de la neige et du vent sur les constructions et ouvrages annexes [4].

La méthodologie suivie repose sur une combinaison d'approches participatives et d'outils techniques modernes. Elle a permis d'assurer la fiabilité des données collectées, la rigueur des calculs de dimensionnement et la pertinence des choix techniques, économiques et environnementaux.

2.3 Données de base du projet

Etant entendu que le projet est réel, les données, pour l'essentiel, ont été collectées dans les documents d'étude du projet et validées par les visites du terrain sur le site.

Le volume utile du château est de **300m^3** et la contrainte de rupture/ admissible du sol est de 0,20 **MPa**.

2.4 Hypothèses structurelles

Caractéristiques des matériaux :

Béton à utiliser pour béton armé. Les contraintes admissibles à retenir pour le béton sont en fonction des conditions du contrôle de la fabrication et des dosages en ciment.

A cause de la classe d'exposition de l'ouvrage (en contact permanent avec l'eau), la classe de béton retenue est **B25**

La fissuration étant très nuisible pour l'ouvrage, tous les calculs se feront à l'état limite de service **ELS.**

La classe de l'ouvrage est la classe B.

Contraintes admissibles :

La résistance de compression à 28 jours du béton notée σ_b est σ_b =0,6×f_{c28}=**15 MPa**
La résistance de traction du béton à 28 jours notée f_{t28} est f_{t28} = 0,6+0,06 ; f_{t28} =**2,1 MPa**

Enrobage 4cm sur les parois et 5 cm en fondation

Poids volumique ou densité du béton : 2,5 t/m^3 = 25 kN/m^3 ;

Nuance des aciers pour béton armé : HAFeE**500 ;**

Le fascicule 74 donne la contrainte de l'acier ($\overline{\sigma_{st}}$) à considérer par la formule suivante :

$$\overline{\sigma_{St}} = \min \begin{cases} \alpha\sqrt{\frac{\eta f_{t28}}{\emptyset_s}} + \eta\beta ; \\ 0{,}5 f_e ; \\ 90\sqrt{\eta f_{t28}}. \end{cases} \qquad \textbf{(1)}$$

f_{t28} (en MPa) est la résistance en traction du béton à 28 jours ; f_e est la nuance de l'acier de valeur 500 ;α est le Coefficient lié à l'adhérence entre l'acier et béton et sa valeur est 240 ;

η est le coefficient de conditions de travail du béton. Il prend en compte l'environnement, la durée d'application des charges et les conditions d'exploitation de l'ouvrage. Ici, η est égal à 1.6 ;

β est le Coefficient correctif de fissuration et il vaut 30 ;

$\overline{\sigma_{st}}$ est la contrainte admissible à calculer en fonction du diamètre $\emptyset_s$ de l'acier Haute

Le détail de calcul ayant donné les différentes valeurs de $\overline{\sigma_{st}}$ consignées dans le tableau 2 en fonction des différents diamètres est en annexe I.

Tableau 2 : contraintes admissibles des HA

Contraintes admissibles d'aciers						
ϕ_s aciers (HA)	8	10	12	14	16	20
$\overline{\sigma_{st}}$ **(MPa)**	164.97			165.58	157.98	146.37

Les Actions à prendre en compte sont :

- **Actions permanentes :**

Poids propre du réservoir ;

Poids de l'étanchéité : 1,2kN/m^2

- **Actions variables** :

Le poids et la poussée du liquide (γ_e=10kN/m^3 ; charges climatiques (vent : w) ; charges d'entretien et de protection : 1,5kN/ m^2 ; exploitation sur passerelle de commande et planchers : 2,5kN/m^2

Hypothèses géométriques et prédimensionnement

Pour des raisons économiques, de la meilleure répartition des charges et de l'esthétique, la forme de notre château d'eau retenue est **tronconique** de capacité V représentant la valeur utile de volume 300m^3 qui doit être plus ou moins justifié suffisant dans la conception ;

- D_1 : le grand diamètre de la cuve tronconique est à déterminer par calcul ;
- D_2 : le petit diamètre de la cuve tronconique **D_2=6m** ;
- H_{cuve} : la hauteur de la cuve (hauteur d'eau + revanche :**1m**) est **4.90m**

- H_e : la hauteur maximale d'eau dans la cuve lors de l'exploitation $\mathbf{H_e=3.90m}$;
- D_{ch} : le diamètre extérieur de la cheminée $\mathbf{D_{ch}=2m}$

Les formules sont celles de calcul du volume d'un cône et les méthodes utilisées sont des méthodes empiriques admises dans le dimensionnement des réservoirs tronconiques.

2.5 Méthodes et matériels

La démarche générale suivie repose sur une approche participative et scientifique, permettant d'obtenir un projet techniquement fiable, économiquement réaliste et socialement accepté. Elle comprend les étapes suivantes :

- Identification et cadrage du projet ;
- Collecte des données de base (documentaires, topographiques, géotechniques, hydrauliques)
- Conception préliminaire du projet et validation avec les acteurs clés ;
- Analyse et traitement des données ;
- Études de conception et de dimensionnement du château d'eau ;
- Évaluation technico-économique et étude d'impact environnemental et social.

Des visites techniques ont été effectuées afin d'apprécier la topographie, la géologie apparente et les accès.

L'étude s'est appuyée sur des documents techniques (plans existants, rapports de forages, études hydrauliques antérieures) et des références normatives : Eurocodes 1 [5] et 2 [6], normes CEBTP [7], etc.

Méthodes d'étude technique

La conception structurale du réservoir tronconique a suivi les étapes suivantes : définition des hypothèses de calcul et vérification des armatures (selon l'Eurocode 2 [6], fascicule 74 [1]) puis vérification de la stabilité et de la fissuration.

Le dimensionnement du radier a été réalisé à partir des paramètres géotechniques pour garantir la stabilité au renversement et à l'écrasement du sol.

Un devis quantitatif et estimatif (DQE) a été élaboré à partir des plans et quantités extraits. Les prix unitaires ont été obtenus sur cette base.

Une brève analyse d'impact environnemental (Notice d'Impact Environnemental et Social) a permis de prévoir les mesures de mitigation nécessaires pendant les travaux et les compensations

CHAPITRE 3 : CONCEPTION GEOMETRIQUE ET STRUCTURALE DU CHATEAU D'EAU A GLEI

3.1 Conception géométrique

Le choix de la forme tronconique dans le cas du projet de Gleï, résulte de la quête de stabilité, capacité et économie de matériaux. Les principes théoriques reposent sur l'équilibre des contraintes mécaniques et la sécurité vis-à-vis des états limites [3]. Le prédimensionnement vise à estimer approximativement les dimensions nécessaires pour le coffrage des différents éléments structuraux. Ces dimensions seront ensuite vérifiées en fonction des différentes charges et combinaisons d'actions, ainsi que des calculs de renforcement en acier.

Notre château d'eau de forme tronconique est constitué essentiellement des éléments Suivants : 1-lanterneau ; 2-coupole de couverture ; 3-ceinture supérieure ;

4-cuve tronconique ; 5- cheminée ; 6-coupoleinférieure et

7-ceinturedu'appui ; 8- Tour (La Tour est fixée sur un radier circulaire en Béton armé de diamètre 12m et d'épaisseur 1m)

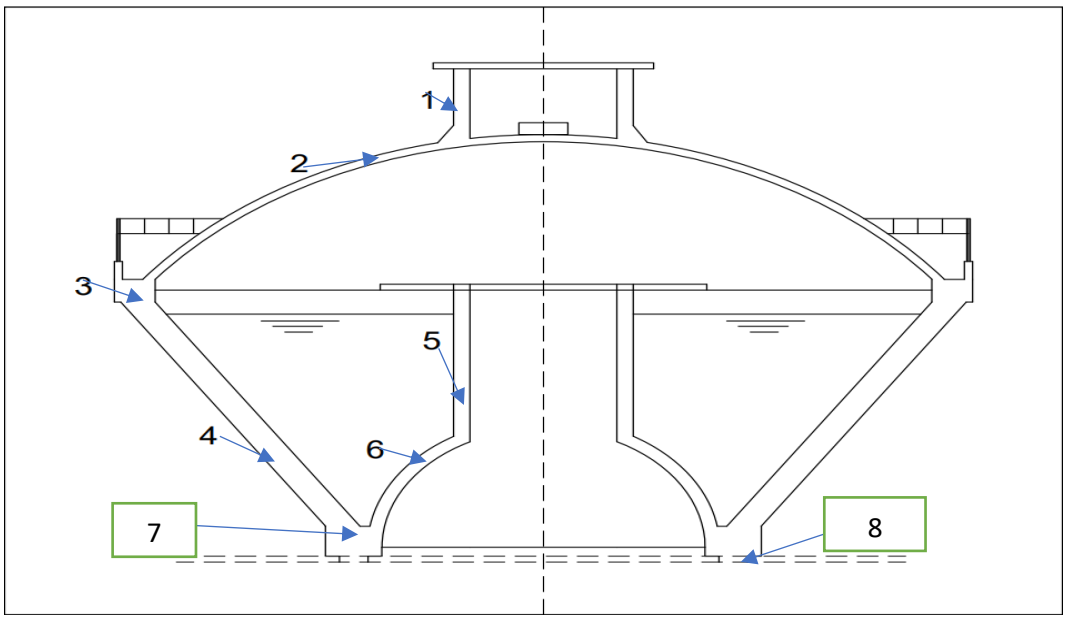


Figure 4:Description de quelques éléments de la cuve tronconique

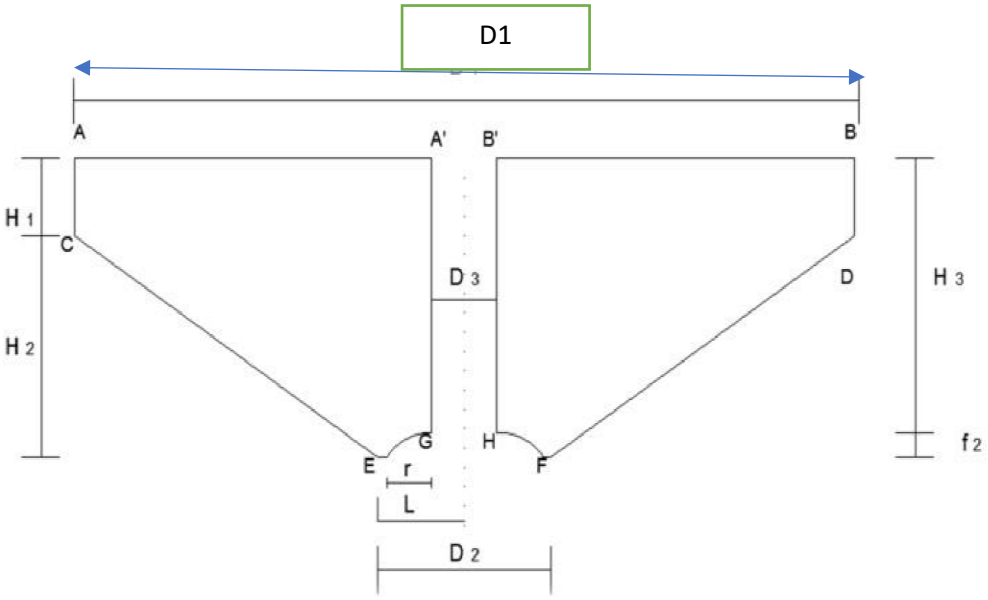


Figure 5:éléments géométriques de notre château tronconique

Détermination de diamètre D_1 et les flèches f_1 et f_2

La capacité utile du château étant connue **V=300m^3**, **D_2** fixé à **6m** et **H=4.90m avec revanche de hauteur H_r=1m**, nous nous sommes référés à la formule de Guerrin [3] pour le calcul du volume d'un cône de révolution autour d'un axe pour déterminer le grand diamètre **D_1** de la cuve tronconique du château d'eau comme annoncé dans les hypothèses de prédimensionnement.

Ainsi, à partir de la formule du volume d'un cône**,** on a calculé la valeur numérique de **D_1** qui es égale à **13.34m** qu'on ajuste à **D_1=14m,** voir le détail de calcul et justification en annexe 2

Justification de la capacité de la cuve du château d'eau

La valeur de D_1 étant trouvée, on remplace les données connues dans la formule **:**

$\boldsymbol{V = \frac{\pi H}{12} * (D_1^2 + D_2^2 + D_1 x D_2)}$ **(2)** représentant le volume d'eau à contenir par le château d'eau en étude. On a : $\boldsymbol{V = \frac{3{,}14*3.90}{12} * (13{,}34^2 + 6^2 + 13{,}34x6) = 300{,}18m^3 \approx 300m^3.}$

La capacité étant justifiée avec la valeur du diamètre **D_1=13.34m** calculée théoriquement, nous allons prendre **14m** pour des raisons pratiques et de sécurité. Donc, on retient **D_1=14m.** En recalculant la valeur numérique de V dans la formule (2) avec **D_1=14m, on a :**

: $\boldsymbol{V = \frac{3{,}14*4.90}{12} * (\ 14^2 + 6^2 + 14x6) = 405m^3}$ **;** ceci, afin de prendre en compte le volume vide dans la cuve au-dessus de l'eau et celui occupé par la cheminée.

Détermination de l'angle d'inclinaison (α)

Par l'application du théorème dit de Pythagore, on a pu déterminer la valeur numérique de l'angle d'inclinaison **α** de la cuve tronconique par rapport à l'horizontal telle que **:α**==50,77 ; on prend par approximation **α=51°**.

Détermination des flèches des deux coupoles

En tenant compte des conditions liées aux flèches f_1 et f_2 en matières des normes de conception des réservoirs en béton armé, on note :

$f_1 \geq \frac{D1}{10}$ et $f_2 \geq \frac{D2}{8}$;

$f_2 \geq \frac{D2}{8} = \frac{14}{10} = 1.4$ et $f_1 \geq \frac{D1}{10} = \frac{6}{8} = 0.75$.

Prenons donc f_1**=1m et** f_2**=2m**

Les données géométriques sont récapitulées ainsi dans le tableau n°3 suivant :

Tableau 3:récapitulatif des données géométriques

Diamètre en base (D2)	**6m**
Diamètre en tête (D1)	**14m**
Hauteur totale	**4.90m**
Flèche f_1	**f_1=2m ;**
Flèche f_2	**f_2=1m**
Volume utile	**300m^3**
Volume total	**405 m^3**
Angle d'inclinaison **(α)**	**α =51°**

3.2 Calcul des charges et dimensionnement des différentes parties structurelles

Les coupoles, conçues comme des surfaces de révolution pour recouvrir des espaces circulaires, peuvent être considérées comme soumises à des charges verticales uniformément réparties. Cette caractéristique découle de leur forme surbaissée, qui limite l'impact du vent.

Pour la coupole supérieure, outre son propre poids, elle peut également être exposée à des charges additionnelles telles que la neige, l'étanchéité et les charges d'entretien.

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

3.2.1 Couple de couverture

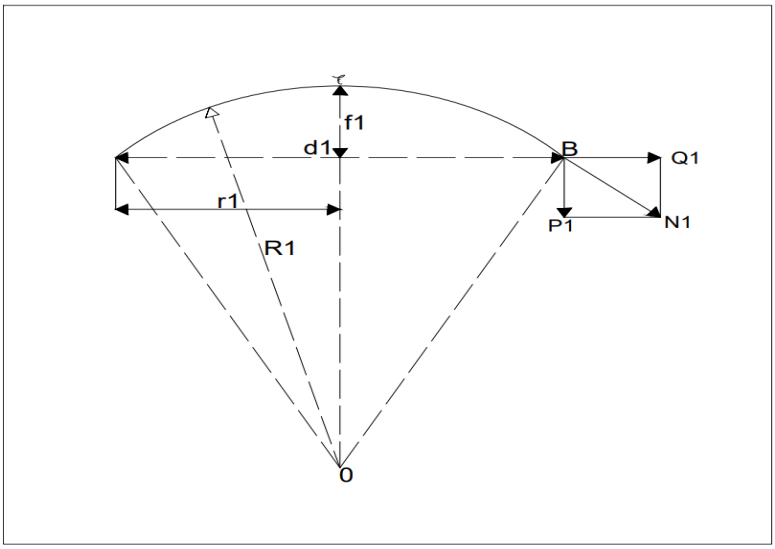


Figure 6:schéma de principe de la coupole supérieure

- ***Épaisseur de la coupole supérieure (e_{cs})***

La Fascicule 74, (1998) [1] préconise que la valeur de l'épaisseur de la coupole d'un château soit supérieure ou égale à 8cm ; nous avons préféré aux données du projet qui la fixent à **15cm** comme épaisseur de la coupole de couverture pour notre cas d'étude puisque cette valeur respecte la norme prescrite dans ce document officiel de référence, FASCICULE 74, 1998.

Détermination du rayon de courbure de la coupole supérieure

Comme nous connaissons la valeur de la grande flèche f_1, relative au grand diamètre de la coupole supérieure, nous pouvons déterminer le rayon de courbure de cette coupole supérieure notée R_1 avec cette formule **(3)**.

$$\mathbf{R_1} = \frac{r_1^2 + f_1^2}{2f_1} \quad (3) \qquad et \quad \text{l'application numérique donne : } \mathbf{R_1} = \frac{7^2+2^2}{2\times 2} = \mathbf{13{,}25m}$$

R_1=13.25m, cette valeur rentrera en ligne de compte pour le calcul de la contrainte de compression du béton pour la vérification après calcul des charges.

Calcul des charges et des sollicitations

Les charges et sollicitations permettront de déterminer les sections d'aciers et de procéder aux vérifications des efforts internes afin de s'assurer de la résistance effective du béton.

- **Charges surfaciques(P)**

Pour le calcul des charges surfaciques P, on a utilisé la formule suivante :

P= $\gamma_b \times e_{cs} + g'$ **(6) où** γ_b est le poids volumique du béton ; $e_{cs,}$ l'épaisseur de la coupole supérieure et g' les charges additionnelles d'exploitation sur la coupole.

En application numérique, on a : P=25×0.15+1. 2 + 1. 5 $\Rightarrow$ P=6,45KN/m^2

P= 6,45kN/m^2

- **Composante verticale de l'effort Normal P_1**

D'après les documents des références, support du cours et autres bibliographies, la composante verticale **P_1** de l'effort normal N_1 se calcule comme suit :

$$\mathbf{P_1} = \frac{(\mathbf{r_1^2} + \mathbf{f_1^2})}{\mathbf{2r_1}} \times P \quad (4)$$

En applications numériques, on a :

$$P_1 = \frac{7^2+2^2}{2\times 7} \times 6{,}45 = 24{,}42 kN/m$$

P_1=24,42KN/m

- **Composante horizontale de l'effort normal Q_1**

D'après les documents des références, support du cours et autres bibliographies, la composante verticale **Q_1** de l'effort normal N_1 se calcule comme suit :

$Q_1 = \frac{P_1 \times (r_1^2 - f_1^2)}{2 r_1 f_1}$ **(5)**

Application numérique : $Q_1 = \frac{24{,}42 \times (7^2 - 2^2)}{2 \times 7 \times 2} = 39{,}25 kN/m$

$Q_1 = 39{,}25 KN/m$

- **Calcul de l'effort normal, la résultante de P_1 et Q_1**

Tout comme l'indique la figure 3 au point B, nous notons que l'effort normal N_1 est la résultante de ces deux composantes **P_1** et **Q_1**. A cet effet, le calcul de la valeur de N_1 découle de la relation vectorielle qui lie **P_1, Q_1 et N_1**

$N_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2}$ **(6)** ;

En application numérique, on a : $N_1 = \sqrt{24{,}42^2 + 39{,}28^2} = 46{,}23 kN/m^2$

N_1 = 46,23kN/m

- **Vérification de la contrainte de compression dans le béton de la coupole supérieure :**

Dans cette rubrique, il s'agira de calculer la contrainte de compression du béton (σ_{bc}) et la comparer à la contrainte admissible ou limite dans le béton ($\bar{\sigma}_{bc}$). Ceci étant, cette comparaison permettrait de justifier si la section du béton est suffisante pour supporter les forces de compression ou non, afin d'augmenter éventuellement les sections de l'élément structurel étudié au cas injustifié.

Calculons la contrainte de la compression du béton (σ_{bc}) par la formule **(7)** suivante à partir de l'effort normal N1 et l'épaisseur de la coupole supérieure (e_{cs})

$\boldsymbol{\sigma_{bc} = \frac{N_1}{1 \times e_{cs}}}$ **(7)**

Applications numériques : $\boldsymbol{\sigma_{bc}= \frac{46{,}23\times10^{-3}}{1\times0{,}15} = 0{,}31Mpa}$ $\boldsymbol{\sigma_{bc}= 0{,}31MPa}$

Calculons la contrainte admissible dans le béton ($\bar{\sigma}_{bc}$) par la formule **(8)** suivante à partir du mètre linéaire, du rayon moyen de la courbure de coupole, de la valeur de la résistance de compression du béton à vingt-huit (28) jours $\mathbf{f}_{c28}$ et l'épaisseur de la coupole supérieure (e_{cs}) :

$$\boldsymbol{\bar{\sigma}_{bc} = \min\left(\frac{100\times0{,}15}{R1moy}\times\sqrt[3]{f_{C28}}\,;\frac{ecs+0{,}55}{3}\times f_{C28}\right)}\ (8)$$

Applications numériques :

$$\boldsymbol{\bar{\sigma}_{bc} = \min\left(\frac{100\times0{,}15}{13{,}25+\frac{0{,}15}{2}}\times\sqrt[3]{25};\frac{0.15+0{,}55}{3}\times 25\right)}$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = \min(13{,}2\ ;\ 5{,}83)$$

on a donc : $\boldsymbol{\bar{\sigma}_{bc}}$ **=5,83MPa** $\boldsymbol{\Longrightarrow\ \sigma_{bc} < \bar{\sigma}_{bc}}$ **→condiction vérifiée ;** ce qui implique que la section du béton est suffisante pour supporter les forces de compressions et par conséquent, la section des aciers comprimés sera déterminée par la condition d'aciers minimale.

- ***Calcul de la section d'Acier As***

D'après la vérification ci-dessus, la section des aciers comprimés sera déterminée par la condition d'aciers minimale. On peut ainsi dire que la section d'aciers est égale à la section d'aciers minimale régies par la formule **(9)** telle que recommandée dans les dispositions constructives à cet effet.

$$\mathbf{As_{\ min} = 0{,}2\%\ (100\times e_{cs})}\ (9)$$

Donc on a : $\mathbf{As = A_{min} = 0{,}2\%\ (100\times e_{cs})}$

Applications numériques : $As = A_s \times \frac{0{,}2}{100}\times 100\times 15 = 3cm^2/\text{ml}$

$\mathbf{As = 3cm^2/ml}$

Le Tableau permettant de faire le choix des aciers est en annexe II

On choisit **6H A8/ml** totalisant **3,02 cm ^{2}**, avec espacement **15 cm**

Tableau 4 : récapitulatif des valeurs de coupole de couverture

Diamètre D_1 (m)	14
Rayon r_1 (m)	7
Rayon de courbure R_1 (m)	13,25
Epaisseur (m)	0,15
Poids propre (kN/m^2)	3,75
Charge d'entretien (kN/m^2)	1,5/1,2
Etanchéité(kN/m^2)	
P1 (kN/m)	24,42
Q1 (kN/m)	39,25
N1 (kM/m)	46,23
σ_{bc} (MPa)	0,31
$\bar{\sigma}_{bc}$ (MPa)	5,83

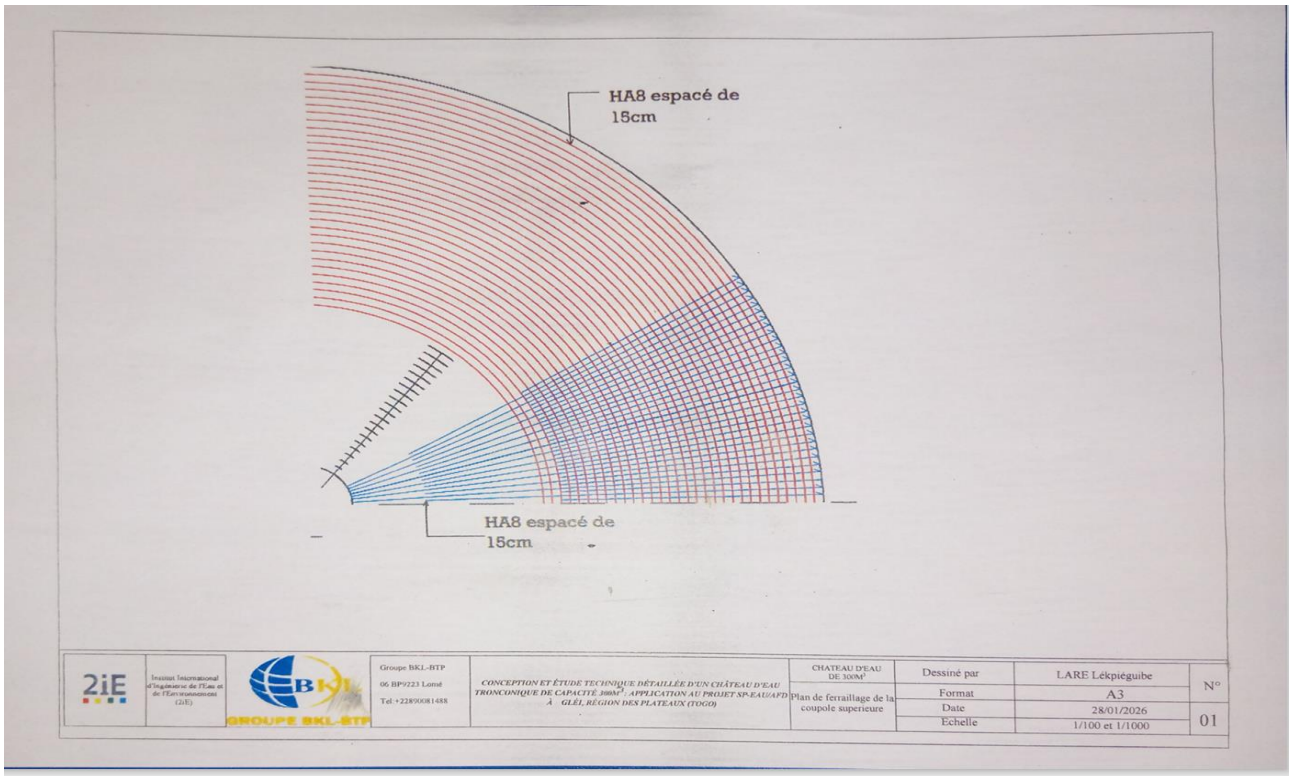


Figure 7:Plan de ferraillage de la coupole de couverture

3.2.2 La ceinture supérieure

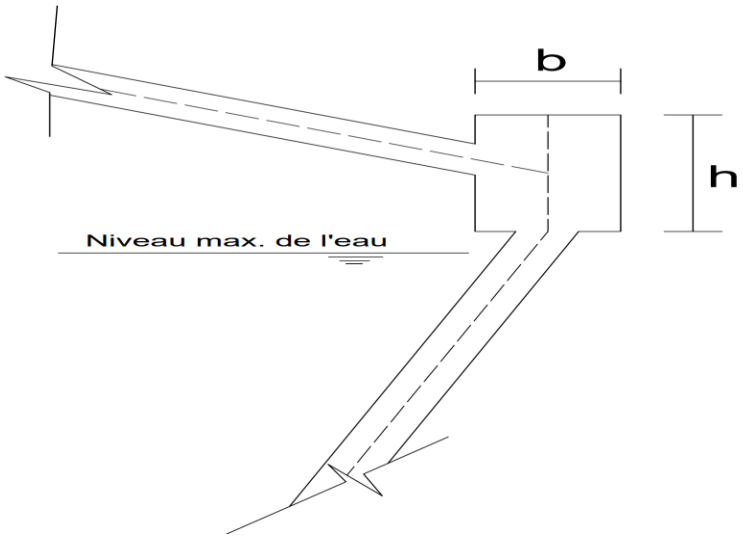


Figure 8:Les dimensions de la ceinture (base b et hauteur h) et niveau de l'eau maximal

Située à la base de la coupole supérieure, la ceinture reçoit une poussée par mètre linéaire de développement, résultant de la coupole supérieure et éventuellement de l'eau, en fonction de la disposition et de la hauteur maximale de l'eau. Cette poussée, désignée par **Q**, engendre une force de traction **F = Q x r** dans la ceinture, où **r** représente le rayon. N'étant sollicitée que par des efforts de traction, elle sera dimensionnée comme tirant dont la section de béton à une forme rectangulaire avec les dimensions à déterminer. C'est dans cette section de béton que les aciers de la paroi de la cuve et ceux de la coupole viendront s'ancrer.

La composante horizontale $\mathbf{Q_1}$= **39.25kN/m** de l'effort normal $\mathbf{N_1}$=**46.23kN/m** provenant de la coupole supérieure sollicite la ceinture supérieure en traction. La section de la ceinture sera donnée puis après, la détermination de la section d'acier tendue suivra à partir de la condition de non fragilité.

- ***Prédimensionnement de la ceinture supérieure***

Comme l'indique le schéma ci-dessus, l'eau n'a aucune pression sur la ceinture supérieure, donc Q_{eau}= 0 ; où **b** est la base et **h** la hauteur de la ceinture supérieure.

Prenons, en prédimensionnement, une section : **b×h** telle que la valeur de la base soit fixée à 30cm, **b=30cm** puis passons à la détermination de la valeur numérique de la hauteur h à partir de la formule **(10)**

Détermination de la hauteur h

Sachant que **:** $\mathbf{h} \geq \frac{Q_1 \times r_1}{1{,}1 \times f_{t_{28}} \times b}$ **(10)**

Les applications numériques suivantes permettent de trouver **h≥39,60cm**

On a : $h \geq \frac{39{,}25 \times 17 \times 10^{-3}}{1{,}1 \times 2{,}1 \times 0{,}3} = 0{,}395m$

h≥ $0{,}396m \Longrightarrow h = 39.60cm$ et on en retient **h=40cm** pour des raisons pratiques.

On parvient donc à obtenir une section de **b× *h*** **= (30× 40)** ***cm*²** pour la ceinture supérieure du château d'eau.

Calcul de section d'Aciers tendus

Q_1 provenant de la coupole provoque à lui seul ici une force de traction **F=Q_1 × r_1**, où r_1 est le rayon de la cuve. Cette force de traction F s'équilibre avec les armatures de section **A_{st}** la formule **(11)** telle que :

$\mathbf{A_{st}} = \frac{F}{\sigma s_t} = \frac{Q_1 \times r_1}{\sigma s_t}$ **(11)**

Applications numériques :

$A_{st} = \frac{39{,}25 \times 7 \times 10}{164{,}97} = 16{,}66\ cm^2$

A_{st}= 16,66 cm²

En Béton armé, il faut noter que pour une section donnée, il y'a un minimum d'aciers à ne pas aller dessous et un maximum à ne pas dépasser. La section théorique et/ou réelle retenue doit être contenue dans ces deux valeurs.

- **Section d'acier minimale (A_{min})**

Pour la ceinture supérieure étudiée, l'équation **(12)** détermine la section d'aciers minimale (A_{min}) :

$\boldsymbol{A_{min}} = \frac{ft_{28}}{fe} \times \mathbf{B}$ **(12),** où f_e est la nuance des aciers Haute Adhérence (HA) FeE**500** ; $\mathbf{f_{t28}}$, résistance de traction du béton à vingt-huit (28) jours et **B**, la section de la ceinture supérieure de valeur $\mathbf{B=b\times h}$

Applications numériques :

$$\boldsymbol{A_{min} = \frac{2{,}1}{500} \times 30 \times 40 = 6{,}3cm^2}$$

$$\boldsymbol{A_{min} = 6{,}3cm^2}$$

- Section d'acier maximale (A_{max})

Pour la ceinture supérieure étudiée, l'équation (12) détermine la section d'aciers minimale (A_{max}) :

$$\boldsymbol{A_{max=2\%\times B=0{,}02\times 30\times 40}}$$

$$\boldsymbol{A_{max}= 24cm^2}$$

On obtient la section d'acier théorique ($\mathbf{A_{st}}$)calculée qui est bien située entre la section d'acier minimal (A_{min}) et la section d'acier maximale ($\boldsymbol{A_{max}}$)

$\boldsymbol{A_{smin}<A_{st}< As_{max}}$, donc cette condition est vérifiée. On peut ainsi procéder au choix des aciers tels que la section réelle aussi respecte cette condition dans la pratique.

Choix des aciers pour la ceinture supérieure

On choisit **9H A16**, avec une section réelle de **18,10cm²**

Tableau 5:Récapitulatif de la ceinture supérieure

Composante Q1 (kN/m)	39,25
Rayon r_1(m)	7
Section d'aciers théorique (cm^2)	16,66
Section d'acier minimale (cm^2)	6,3
Section d'acier maximale (cm^2)	24

Section d'acier réelle (cm^2)	18,10
Section de béton (cm^2)	30×40

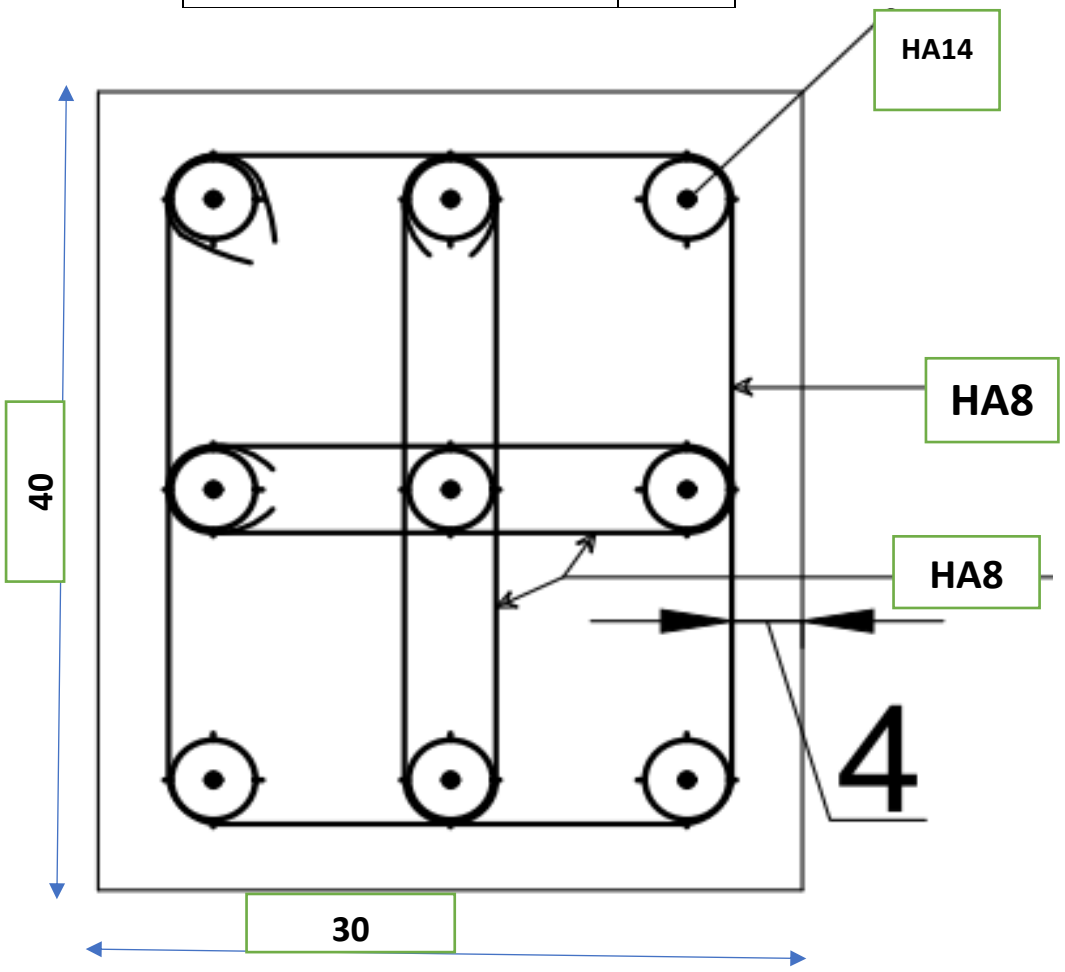


Figure 9:Coupe de la ceinture supérieure

3.2.3 Dimensionnement de la cuve tronconique

La fonction de cette cuve est de servir de réservoir temporaire pour stocker l'eau potable avant la redistribution. En période de production excédentaire par rapport à la consommation, elle permet d'accumuler l'eau, puis de la libérer lorsque la demande ou la consommation dépasse la production.

Le calcul de la cuve tronconique se fait par anneau unitaire, soumis à une pression interne résultant du poids propre de la cuve, de la pression de l'eau et de la charge verticale exercée par la coupole et la ceinture.

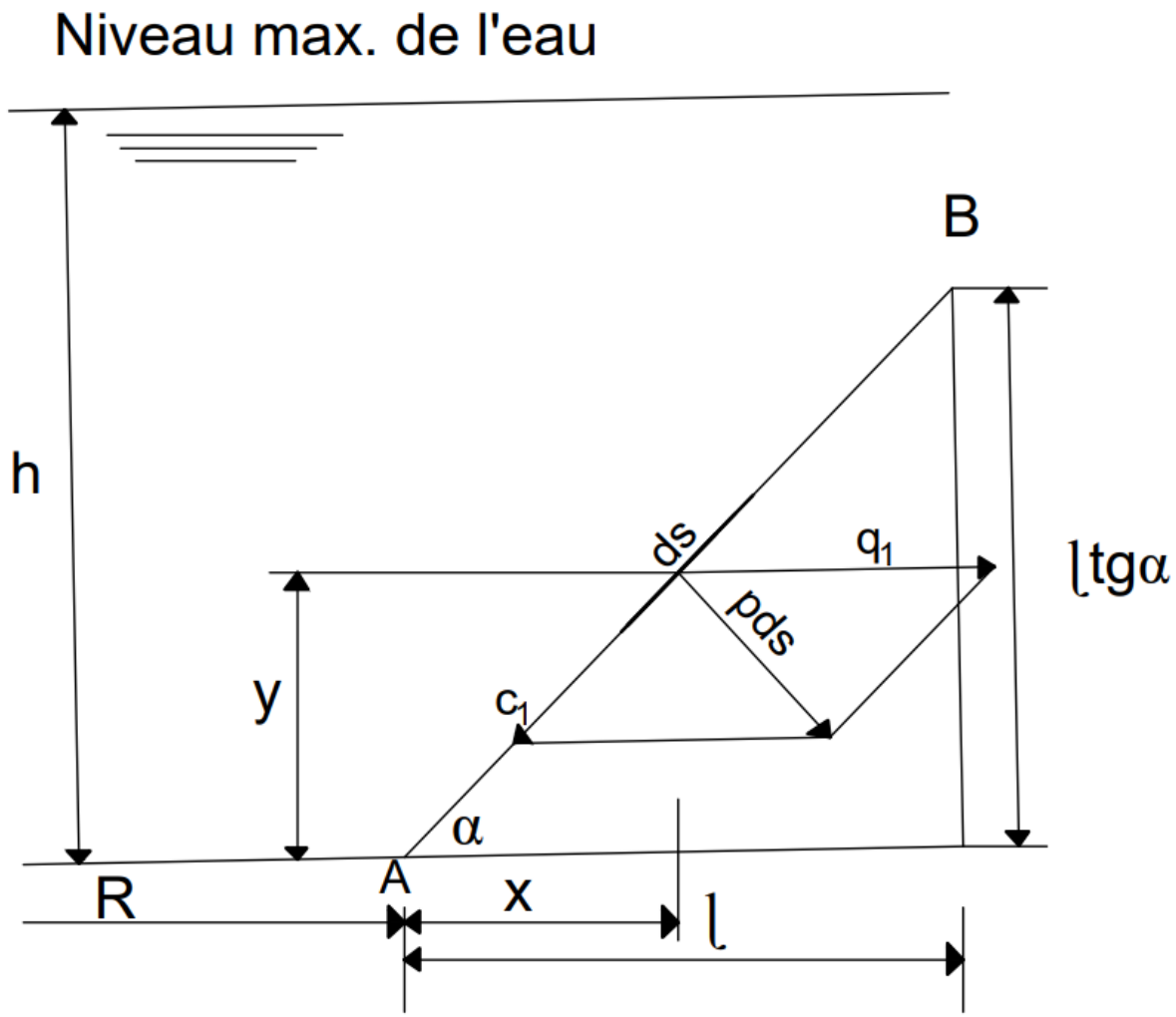


Figure 10:Action du poids de l'eau

La cuve tronconique est soumise, d'une part, à la pression de l'eau et d'autre part à son poids propre. La force de traction résultante F est telle que **F=F1+F2** [5] d'où la section d'acier est **:**

As=$\frac{F}{\overline{\sigma_{st}}}$ (16)

La force de compression C résultante est C= $\frac{P}{\sin a}$ +C_1+C_2 **(13)**

Action de pression d'eau

F est la force due à la poussée de l'eau s'exerçant sur les cerces de la partie tronconique telle que : **F = F_1 +F_2**

- Calcul de F_1

Pour calculer la force F_1 la formule (18) issue de notes de cours est utilisée comme suit :

$$F_1 = \frac{\gamma_w \times l}{sin\alpha cos\alpha}\left[H \times (r_2 + \frac{l}{2}) - (\frac{r_2}{2} + \frac{l}{3}) \times l \times tg\alpha\right] \textbf{(18)} \quad \text{où } l = r_1 - r_2$$

Applications numériques :

$$F_1 = \frac{10 \times 4}{\sin 51 \cos 51} \times \left[4{,}9 \times (3 + \frac{4}{2}) - (\frac{3}{2} + \frac{4}{3}) \times 4 \times tg(51°)\right.$$

F_1 = 859 ,14KN

Le Calcul de la composante C_1, force dirigée suivant la génératrice du tronc de cône est fait à partir de la formule (19) suivante tirée des notes de cours sur les réservoirs en béton armé :

$$C_1 = \frac{2\pi \times \gamma_w \times l}{sin\ \alpha} \times \left[H \times \left(r_2 + \frac{l}{2}\right) - \left(\frac{r_2}{2} + \frac{l}{3}\right) x\ \ l \times tg\alpha\right] \textbf{(14)}$$

$$C1 = \frac{2x3{,}14 \times 10 \times 4}{Sin\ 51}\ \text{x}\left[4{,}9 \times \left(3 + \frac{4}{2}\right) - \left(\frac{3}{2} + \frac{4}{3}\right) \times 4 \times tg(51°)\right]$$

C1 = 3395,41kN

5.1.3.2- Action du poids propre

Pour le calcul de F2, on utilise la formule (15)

$$\mathbf{F_2 = \frac{\gamma_b \times e_t \times l}{sin\alpha} \times (r_2 + \frac{l}{2})} \quad \textbf{(15)}$$

$$F_2 = \frac{25 \times 0{,}25 \times 4 \times 5}{\sin 51} = 160{,}845\text{KN}$$

$F_{2=}$ 160,845 kN

Calculons C_2 par la formule (16)

$$C_{2=} \frac{2T\gamma_b l}{\sin\alpha\cos\alpha}(r_{2+}\ \frac{l}{2}) \quad \textbf{(16)}$$

Application numérique :

$$C_2 = \frac{2 \times 3{,}14 \times 25 \times 0{,}25 \times 4x5}{\sin 51 \times \cos 51}$$

$C_{2=}$ 1605,1kN

Calcul des cerces

La force de traction résultante F est telle que **F=F1+F2** d'où la section d'acier est **:**

As=$\frac{F}{\sigma_{st}}$ (16)

A_s =$\frac{F}{\sigma_{st}}$ avec F = F_1+ F_2 => F = 859,15+160,845 = **1020kN**

As = $\frac{1020}{164,97}$ x 10 = **61,83 cm²**

Section $A_{s/f}$ d'acier par nappe et par direction est : $A_{s/f}$= $\frac{A_S}{2}$ = $\frac{61,83}{2}$

$A_{s/f}$ = 30,92 cm² Sur une longueur l = $\sqrt{4^2 + 4,9^2}$ = 6,33 m

Donc par mètre linéaire, on a : A_s /f/ml = $\frac{30,92}{6,33}$ =**4,88 cm²**

On choisit **5 HA12** avec espacement de **20cm** totalisant une section réelle de **5,62 cm²**

Tableau 6:Récapitulatif des résultats de la cuve tronconique

Hauteur H (m)	4,9
Longueur L (m)	4
Rayon r_2 (m)	3
Effort dû à l'eau F_1 (kN)	3395,41
Effort de compression dû à l'eau C_2 (kN)	3395,41
Effort de traction du poids propre F_2 (kN)	160,845
Effort de traction dû au poids propre F_2 (kN)	160,845
Résultante F de F_1 et F_2, F (kN)	1605,1
Section Acier par nappe et par direction (cm^2)	30,92

A_S/f	
Section théorique d'acier par nappe et par direction (A_S/f/ml (cm^2)	4,88
Section réelle d'acier par nappe et par direction (A_S/f/ml (cm^2)	5,62

Vérification des contraintes dans le béton de la partie tronconique

Calcul de la contrainte de compression du béton

C = $\frac{C1+C2}{2\pi\, r_2}$ + C'(**17**) où C'= $\frac{P}{\sin a}$ (**18**) $avec \quad P = P1 + P2$

C =$\frac{C1+C2}{2\pi\, r_2} + \frac{P1+Pcs}{sin\varphi}$ (**19**)

$C' = \frac{24.42+(225*0.3*0.4)}{Sin\ 51} = 35.29$ et

$\frac{C1+C2}{2\pi r2} = \frac{3395.41+1605.1}{2*3.14*3} = 265.40$

C = 265.40+35.29

C =300.7KN

σ_{bc}= $\frac{C}{1*ept}$ (**20**)

A.N. σ_{bc}= $\frac{300.7*10-3}{1*0,25} = \mathbf{1,203}\boldsymbol{MPa}$

Contrainte limite ou admissible dans le béton $\bar{\sigma}_{bc}$

$\bar{\sigma}_{bc}$ =min $\left[\frac{130eps}{D1} * \sqrt[3]{fc28}\ ;\ \frac{ept+0,55}{3} * fc28\right]$ (**21**)

$\bar{\sigma}_{bc}$ =min $\left\{\frac{130*0,25}{14} * (25)^{\frac{1}{3}},\ \frac{0,25+0,55}{3} * 25\right\}$

$\bar{\sigma}_{bc}$ = min{6,78; 6,67} = 6,67 MPa

$\boldsymbol{\sigma_{bc}} < \bar{\sigma}_{bc}$ _ condition vérifiée

La résistance du béton à la compression à la base de la partie tronconique est vérifiée. Ce qui implique que la section du béton est suffisante pour supporter les forces de compression et par conséquent, la section des aciers comprimés sera déterminée par la condition d'aciers minimale : $\mathbf{A_{smin}} = \frac{ft28}{fe} * \mathbf{B}$ **(22)**

$A_{smin} = \frac{ft28}{fe} * B = \frac{2,1}{500} * 100*25 = 10,50cm^2$

On a donc $\mathbf{A_{smin/face}}$**= 5,25 cm^2/ml**

Tableau 7:récapitulatif de vérification

Désignation	**Valeur**
C_1 (kN)	395,4
C_2 (KN)	1605,1
C' (kN)	35,29
C (kN)	300,7
σ_{bc}(MPa)	1,203
$\bar{\sigma}_{bc}$ (MPa)	6,67MPa

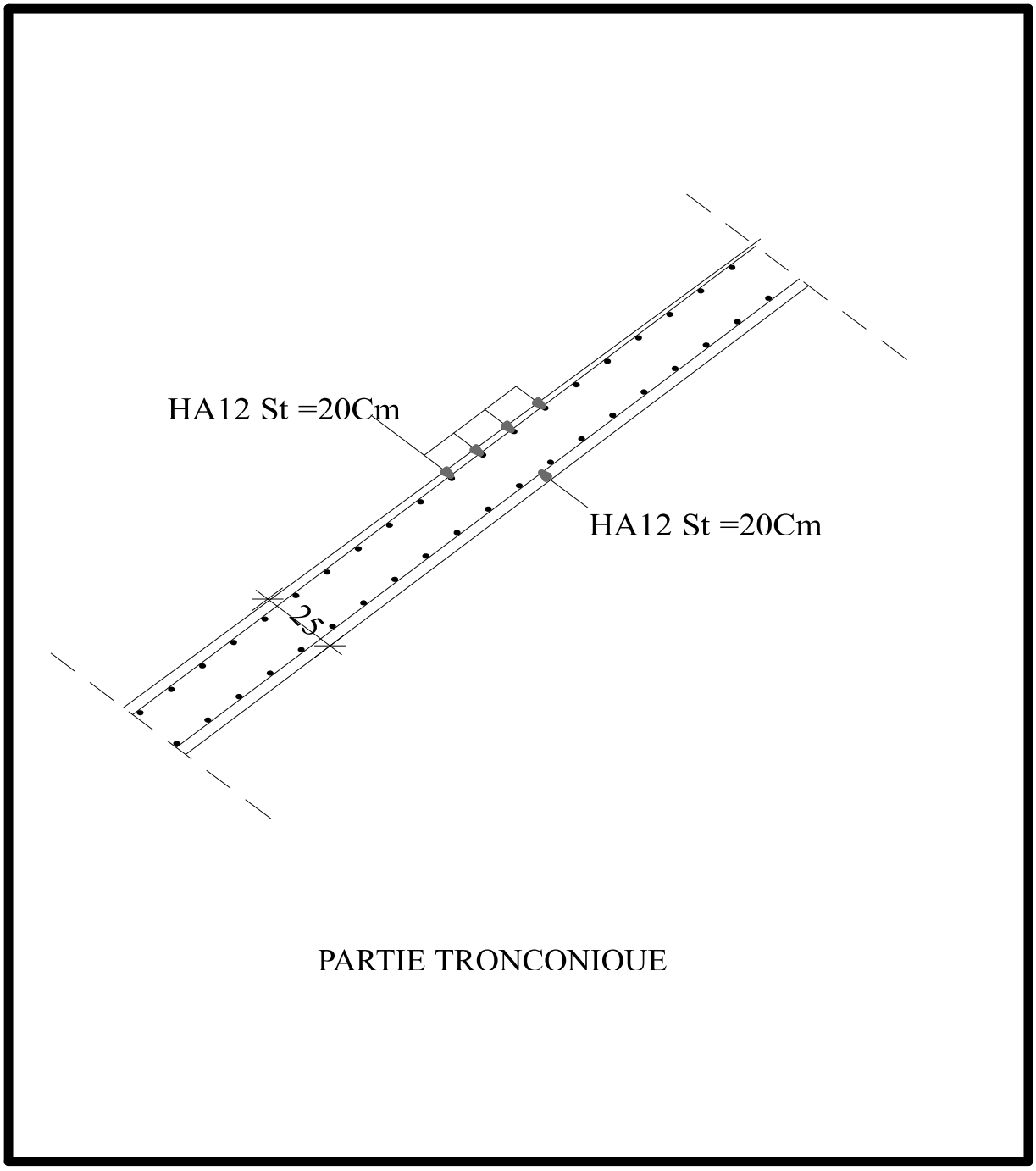


Figure 11: coupe de la cuve tronconique

3.2.4 Coupole de fond

L'épaisseur de la coupole de fond est de **25 cm**, donnée dans le document du projet. Elle est conforme selon la norme et pour cela on la retient comme telle.

Déterminons le rayon R_2 de la courbure de la coupole de fond (R_2)

$R_2 = \frac{r_2^2+f_2^2}{2f_2}$ (23)

Application numérique : $\boldsymbol{R_2} = \frac{3^2+1^2}{2*1} = \frac{10}{2} = 5$

$\boldsymbol{R_2}$ **= 5 cm**

Calcul des charges (P)

P = γ_w ***H+**γ_b***e + g' (24)**

P = 10 x 4,9+0,25 x 25+1,2+1,5

P = 49+6,25+1,2 +1,5

P = 57,95KN/ m^2

Calcul de la composante verticale de l'effort normal (P$_2$) par :

$P_2 = \frac{(r_2^2+f_2^2)*P}{2r_2}$ (25)

On a: $\boldsymbol{P_2} = \frac{(3^2+1^2)*57.95}{2*3}$ => $\boldsymbol{P_2}$ **= 96,58kN/ml**

Calcul de la composante horizontale de l'effort Normal (Q$_2$) par :

$Q_2 = \frac{(r_2^2 - f_2^2)*P_2}{2r_2f_2}$ (26)

$Q_2 = \frac{96,58*8}{2*3*1}$ = 128,77KN/ml => **Q$_2$ = 128,77kN/ml**

Calcul de l'effort normal N$_2$ par :

$N_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2}$ (27)

Application numérique : $N_2 = \sqrt{96,58^2 + 128,77^2}$

N$_2$ = 160,96kN/ml

Vérification de la contrainte de compression du béton dans la coupole de fond

La contrainte de compression du béton est :

$$\sigma_{bc} = \frac{N_2}{1*e_{cf}} \quad \textbf{(28)}$$

$\sigma_{bc} = \frac{160,96*10^{-3}}{1*0,25}$ = **0,644MPa**

La contrainte limite dans le béton $\bar{\sigma}_{bc}$ est :

$$\bar{\sigma}_{bc} = \min\left[\frac{130eps}{D1} * \sqrt[3]{fc28} \; ; \; \frac{ept+0,55}{3} * fc28\right] \quad \textbf{(29)}$$

L'application numérique de la formule (29) donne :

$$\bar{\sigma}_{bc} = \left\{\frac{130*0,25}{10} * (25)^{\frac{1}{3}}, \; \frac{0,25+0,55}{3} * 25\right\}$$

$\bar{\sigma}_{bc} = \min\{9,50 \; ; \; 6,67\}$ = **6,67 MPa**

On a : $\sigma_{bc} < \bar{\sigma}_{bc}$ _ donc condition vérifiée ; ce qui signifie que la section du béton est suffisante pour supporter les forces de compressions et par conséquent, la section des aciers comprimés sera déterminée par la condition d'aciers minimale.

Calcul de la section As

La condition d'aciers minimale est telle que :

A_{smin} = 0,3%B **(30)**

Application Numérique : $A_{smin} = \frac{0,3}{100}$ *100*25=7,5 cm^2/ml

A_{smin} = 7,5 cm^2/ml => par face, on a : **$A_{s/f}$=3,75 cm^2 /ml**

Choix des aciers : 5HA10/ml (3,98cm^2) avec esp = 20cm dont le plan de ferraillage en annexe V

Tableau 8:récapitulatif des résultats obtenus

Désignation	Valeurs
Petit diamètre D_2(m) à la base	6
Rayon r_2 à la base(m)	3
Rayon de courbure R_2(m)	5
Flèche f_2 (m)	1m
Epaisseur (m)	0,25

Poids propre (kN/m^2)	6,25
Composante verticale de l'effort normal P_2 (kN/m)	96,58
Composante horizontale de l'effort Normale $\mathbf{Q_2}$ (kN/m)	128,77
Effort Normal N_2 (kN/m)	160,96
σ_{bc} (MPa)	0,644
$\bar{\sigma}_{\mathbf{bc}}$ (MPa)	6,67
Section d'acier As (cm^2)	7.5
Section d'acier par nappe(cm^2)	3.75
Section d'acier réelle(cm^2)	3.98

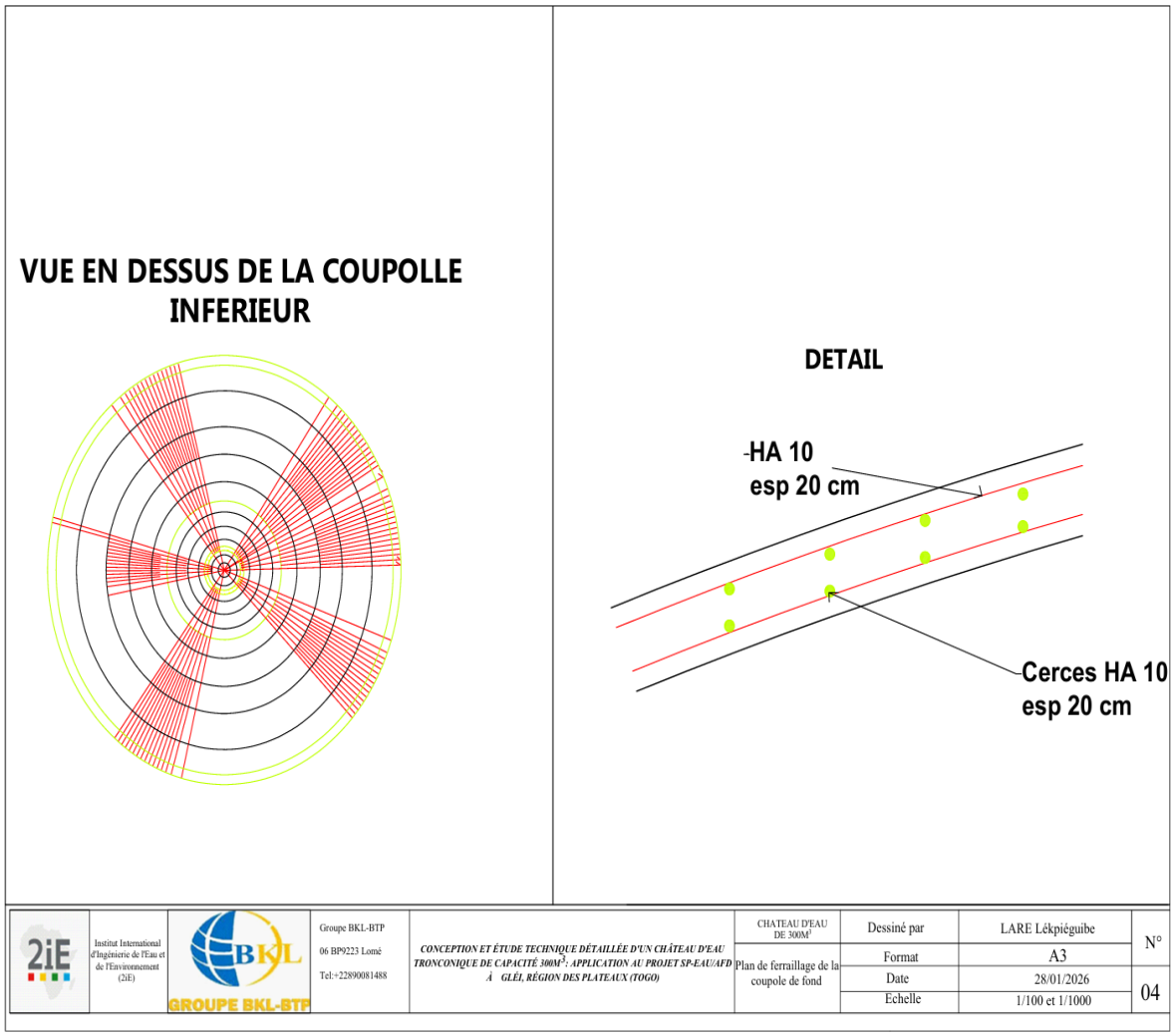


Figure 12:la vue du dessue de la coupole de fond

3.2.5 La cheminée

La cheminée, intégrée à l'infrastructure du château d'eau, est un élément crucial permettant l'accès au réservoir pour son entretien. Sous l'effet de la pression de l'eau, elle est soumise à des forces de compression. Si nous considérons une tranche de 1m de hauteur, l'effort de compression aura pour valeur F'= P_e*r avec P_e la pression de l'eau et r le rayon de la cheminée. Cet effort étant proportionnel à la pression de l'eau, elle sera prise au niveau de la dernière tranche car elle y est maximale [8]. L'épaisseur de notre cheminée notée ep est **ep = 0,20m**

Calcul de la hauteur de la cheminée :

$H_{ch} = H - f_2$ **(31)**

Application numérique : $H_{ch} = 4,9 - 1$

$\underline{H_{ch} = 3,90m}$

Calcule de la pression de l'eau (p_e)

Pe = γ_w ×H_{ch} (32)

Applications numériques

$P_e = 10*3,9$

P_e = 39Kk/m²

Effort normal de la compression F' avec la formule (34) pour son calcul :

F'=P_e×r_{moy} (33) ; où r_{moy} est le rayon moyen de la cheminée de valeur numérique calculée comme suit :

$r_{moy}=\frac{Di}{2}+\frac{e_p}{2}=\frac{1.6}{2}+\frac{0.2}{2}=\mathbf{0,9}\boldsymbol{m}$ **;** où **Di** est le diamètre intérieur et e_p l'épaisseur

Ainsi la valeur numérique de F' est telle que F'= 39×0,9 ⟹ **F' = 35,1KN/ml**

La contrainte de compression du béton (σ_{bc})

$\sigma_{bc} = \frac{F'}{1 \times e_{ch}}$ **(34)**

$$\sigma_{bc} = \frac{35{,}1\times10^{-3}}{1\times0{,}20} = 0{,}18MPa$$

La contraint limite ou admissible dans le béton ($\bar{\sigma}_{bc}$)

$$\bar{\sigma}_{bc} = \min\left\{\frac{100\times e_{ch}}{R_{moy}} \times \sqrt[3]{f_{c_{28}}}\,;\frac{e_{ch}+0{,}55}{3}\times 25\right\} \quad (35)$$

$$\bar{\sigma}_{bc} = \min\left\{\frac{100\times 0.20}{0.9} \times \sqrt[3]{25}\,;\frac{0.20+0{,}55}{3}\times 25\right\} = \min(56{,}49\,;6{,}5)\,;\ \overline{\sigma_{bc}} = 6{,}5Mpa$$

$\bar{\sigma}_{bc}$ = 6,5MP⟶ $\sigma_{bc} < \overline{\sigma_{bc}}$ → condition verifiée ; ce qui signifie que la section du béton est suffisante pour supporter les forces de compressions et par conséquent, la section des aciers comprimés sera déterminée par la condition d'aciers minimale.

Calcul de la section d'acier (A_S) :

$$A_{smin} = 0{,}125\%\ B \ \textbf{(36)}$$

$$A_s = \mathbf{A}smin = \frac{0{,}125}{100}\times 100\times 20 = \mathbf{2,51cm^2/ml}$$

Choix des armatures : **5HA8/ml totalisant une section réelle de 2,51cm^2/ml ; esp = 20cm**

Tableau 9:récapitulatif du calcul de la cheminée

Désignation	Valeur
Epaisseur (m)	0,20
Hauteur (m)	3,90
Pression de l'eau (kN/m^2)	39
Effort normal de compression (kN/ml)	35,10
σ_{bc} (MPa)	0 ,18
$\bar{\sigma}_{bc}$ (MPa)	6 ,50

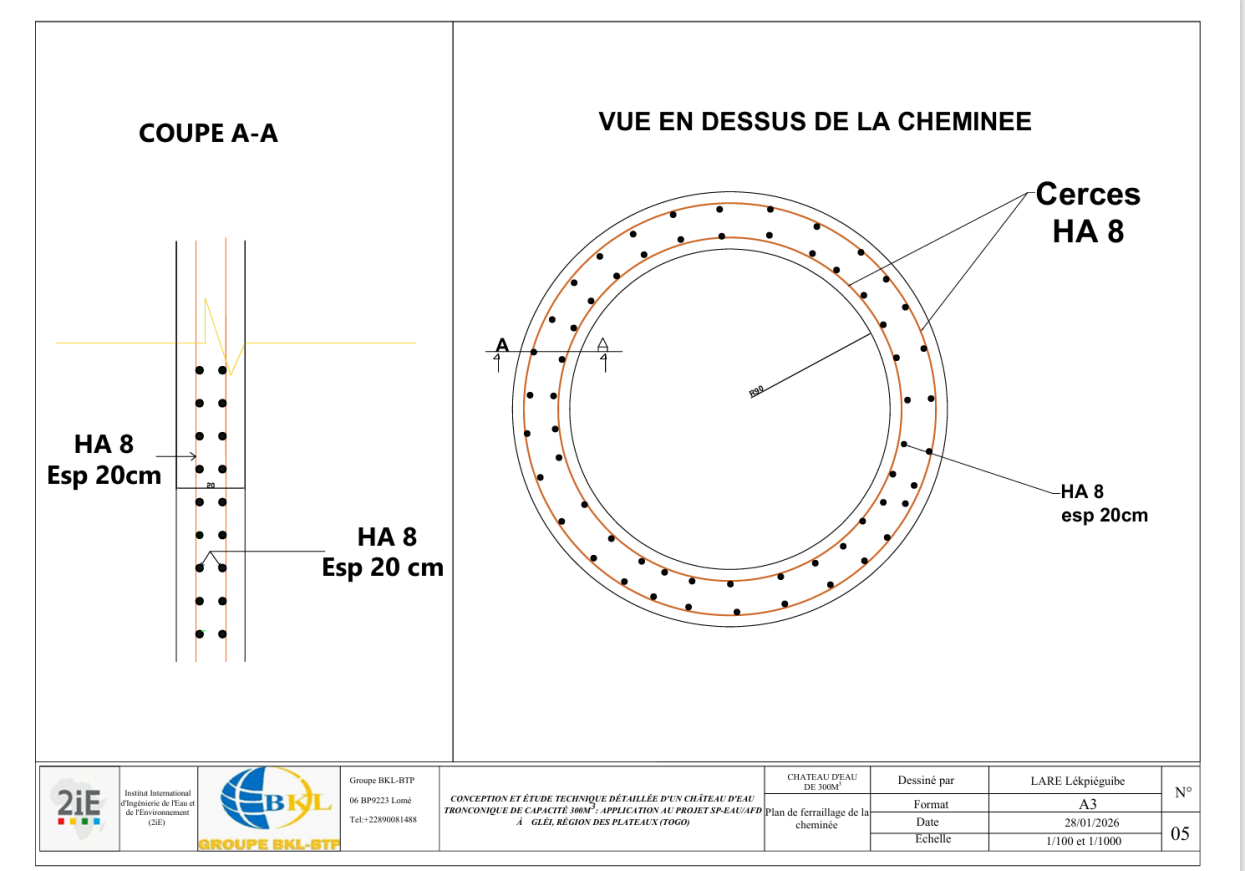


Figure 13: plan de ferraillage de la cheminée

3.2.6 La ceinture d"appui sur la tour

La ceinture inférieure, une poutre circulaire située à la base du tronc de cône, joue un rôle essentiel dans la transmission des charges provenant de la cuve tronconique (C) et de la coupole de fond (N) vers le support. Elle est soumise aux composantes horizontales (C1 et N1) ainsi qu'aux composantes verticales (C2 et N2) des charges.

Elle équilibre les poussées horizontales et verticales provenant de la coupole de fond et de la partie tronconique (voir figure ci-dessous).

- Si N'> Q2 la poutre sera comprimée avec un effort tangentiel de compression :

$F = (N' - Q_2) \times r$ (37)

- Si N'< Q_2 la poutre sera tendue avec un effort tangentiel de traction :

$F = (Q_2 - N') \times r$ (38)

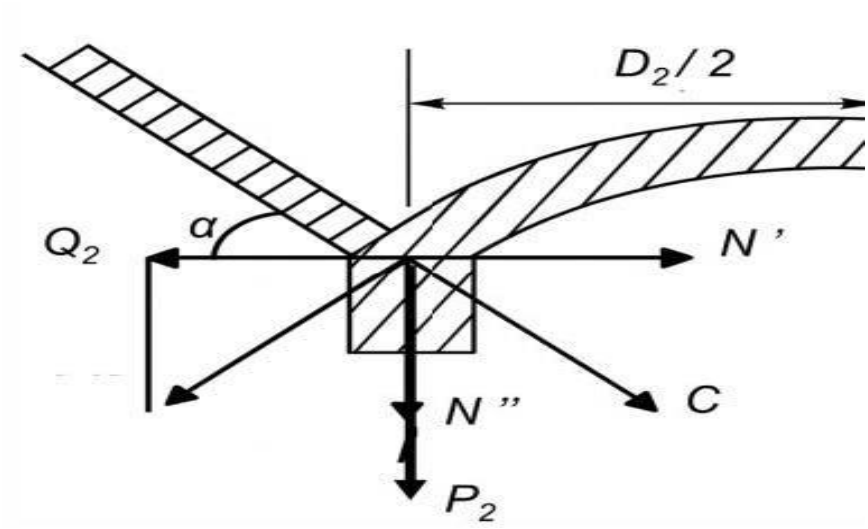


Figure 14: le principe des efforts dans la ceinture d'appui

Le Calcul de N' se détermine par la formule (39)

N'= C× cos α (40)

Application numérique de N'**:** N'= 300,7 x COS (51°)

N'= 188,8kN

En rappelant la valeur de la composante Q_2=128,77kN, nous aboutissons à

$Q_1 < Q_2$ ce qui qu'il n'y a pas d'effort de traction et par ricochet,

N'> Q_2 traduisant que la ceinture n'est qu'en compression simple. On peut donc passer au prédimensionnement de la ceinture d'appui en utilisant la formule **(41)**.

Prédimensionnement de la ceinture d'appui

En fixant la valeur de **b à 30cm**, et en posant :

$h_o \geq \frac{(N'-Q)\times r}{1{,}1*ft28*b}$ (41), en appliquant les valeurs numériques,

on a : **$h_o \geq$** $\frac{(18{,}88-125{,}64)x3x10^{-3}}{1{,}1x2{,}1x0{,}3}$ = 0,27

$h_o \geq$ 0,27m, soit ho ≥ 27cm.

Pour être plus pratique et en sécurité, on retient la valeur de h_o égale à 30cm. **h_o = 30cm**

Calcul de la section d'acier (A_{st}) :

Pour la section d'aciers de la ceinture d'appui, on utilisera la formule (42) suivante :

$A_{st} = \frac{(N'-Q_2)r_2}{\delta_{st}}$ **(42)**

Applications numériques : $A_{st} = \frac{(188,8-125,64)x3x10}{146,97} = 12,89$

On a : **A_{st} = 12,89cm^2**

Choix des aciers : **9HA14 totalisant 13,85cm^2**

Vérification de la section d'aciers minimale

$A_{smin} = \frac{ft28}{f_e}$ x B **(43)**

$A_{smin} = \frac{2,1}{500}$ x 30x30

A_{smin} = 3,78 cm^2

La valeur de la section d'acier (A_{st}=13,85 cm^2**)** est requise puisqu'elle est bien au-delà de celle de la section d'aciers minimale (A_{smin} =3,78 cm^2).

Tableau 10:récapitulatif du calcul de la ceinture d'appui

Désignation	Valeurs
Composante Horizontale N ' (kN)	**0,20**
Composante Horizontale Q_2 (kN)	**3,90**
Base b (m)	**39**
Hauteur h0 (m)	**35,10**

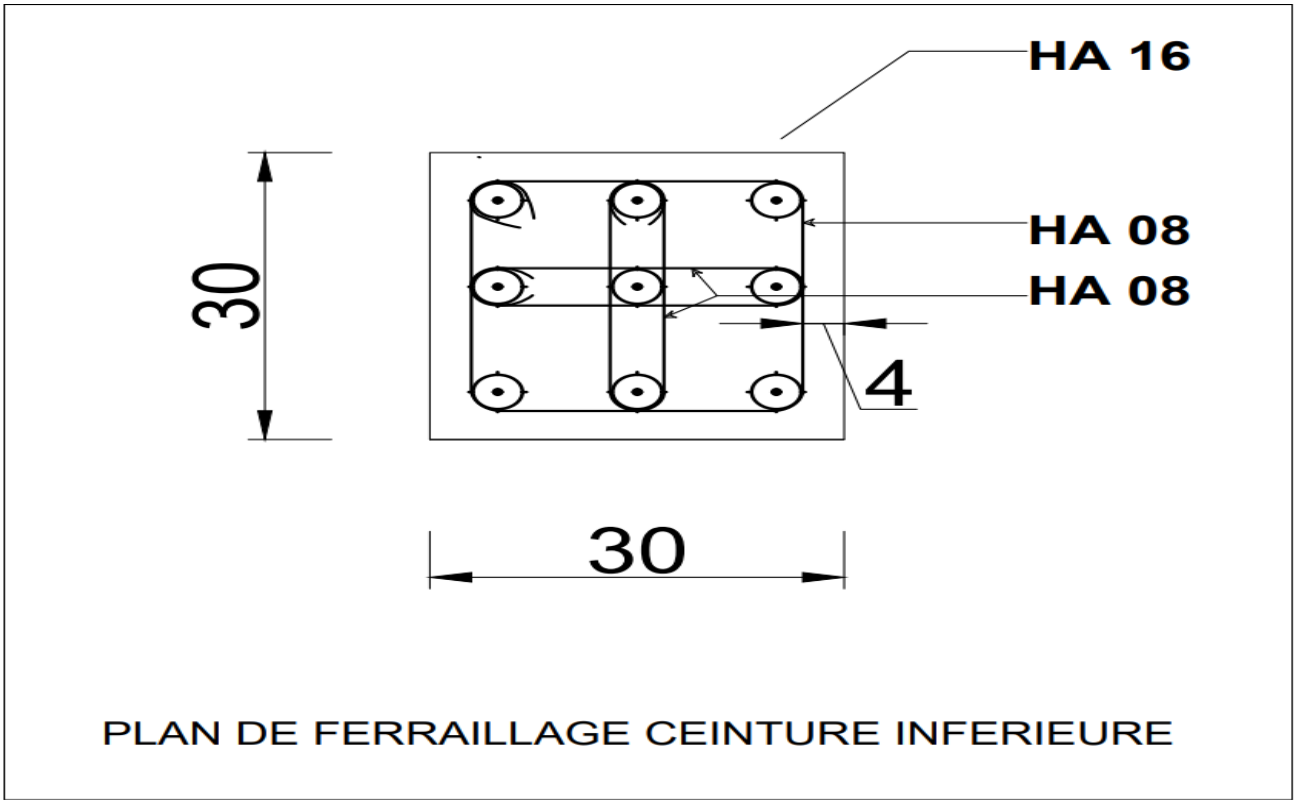


Figure 15: Coupe de la ceinture inferieure

3.2.7 Etude de la Tour du château d'eau

D'après les données collectées, l'épaisseur de la tour e_t = 0,35m, la hauteur de la tour h_t = 18,75m et le diamètre D=5m. Ces données sont maintenues dans le cadre de notre présente étude puisqu'elles satisfont les conditions essentielles de **HENRI Thonier** dans son livre Tome V [8] qui stipule à cet effet que :

-la longueur totale de la tour (**18,75m**) doit être supérieure ou égale à **5 fois** son épaisseur (**35cm**) ;

-l'épaisseur (**35cm)** elle-même, doit être supérieure ou égale à **10cm** ;

-la résistance à la compression du béton à 28 jours **fc28** (**25Mpa**) doit être inférieure ou égale à **40MPa**.

Calculons le poids de la tour qui arrive sur le radier

$P_t = P_2 + P_{pt} + N'' + P_{cinf}$ **(44)** avec $N'' = c \times \sin(\alpha)$ **(45)**

$P_t = 94{,}23 + 233{,}69 + 25 \times 0{,}35 \times 18{,}75 + 25 \times 0{,}3 \times 0{,}3$

P_t = 494,233kN

Vérification de la contrainte de compression du béton

$\sigma_{bc} = \frac{P_t}{1 \times e_t} = \frac{494,233}{0,35 \times 1} \times 10^{-3} \Rightarrow \boldsymbol{\sigma_{bc} = 1,412MPa}$

$\sigma_{bc} = min\left\{\frac{130e_t}{R_1}\left(f_{c_{28}}\right)^{1/3}; \frac{e_t+0,55}{3} \times 25\right\}$ **(46)**

Applications numériques :

$\sigma_{bc} = \min\left(\frac{130 \times 0,35}{13,25}(25)^{1/3}; \frac{0,35+0,55}{3} \times 25\right\} = \min\left(10; 7,5\right)$

$\bar{\sigma}_{bc}$ = 7,5MPa et comme $\sigma_{bc} < \bar{\sigma}_{bc} \rightarrow$ condition vérifiée ; ce qui signifie que la section du béton est suffisante pour supporter les forces de compressions et par conséquent, la section des aciers comprimés sera déterminée par la condition d'aciers minimale.

Calcul de section d'acier dans la tour

As $= \frac{p_t}{f_{su}}$ **(47)**, $avec\ f_{su} = \frac{f_e}{\alpha_s}$ **(48)** $\Rightarrow A_s = \frac{P_t \times \alpha_S}{f_e}, \alpha_s = 1,15, fe = 500$

$A_s = \frac{494,233 \times 1,15}{500} \times 10 = 14,21cm^2 \Rightarrow \mathbf{A_{st} = 11,37cm^2}$

$A_s = \frac{11,37}{2} \Rightarrow A_{s/f/d} = 5,68cm^2/ml$

Calcul de section minimale d'aciers Amin

Amin=0,2%B (49) $A_{min} = \frac{0,2}{100} \times 100 \times 35 = 7,5cm^2$

Choix des aciers : On choisit **10 HA10/ml** une totalisant une section réelle de **7,85cm^2** avec espacement de 10cm.

Tableau 11:récapitulatif du calcul de la Tour

Désignation	valeur
Epaisseur (m)	0,35
Hauteur de la tour (m)	18,78

Diamètre (m)	5
Poids propre (kN)	494,23
σ_{bc} (MPa)	1,412
$\overline{\sigma}_{bc}$ (MPa)	7,5

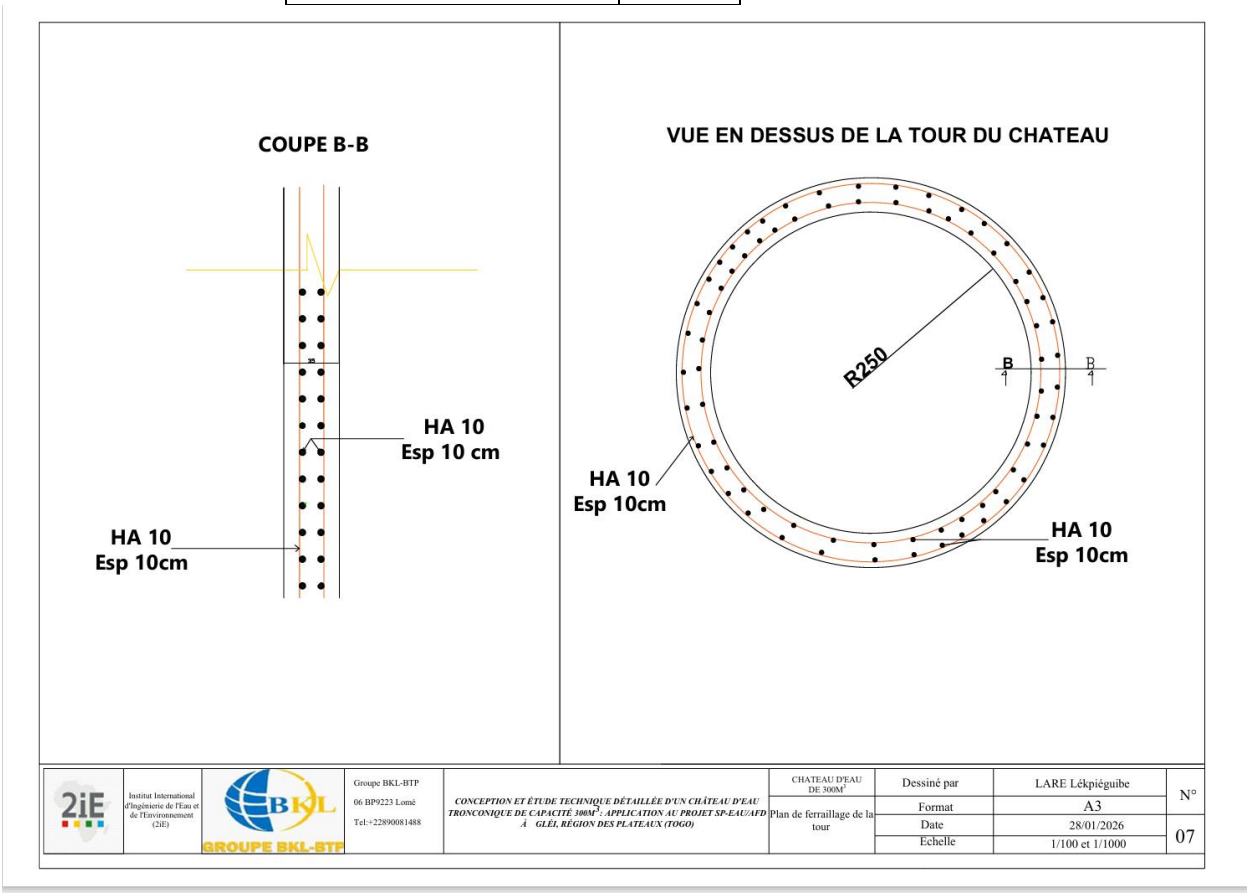


Figure 16:plan de ferraillage de la tour

3.2.8 Etude du radier

Les fondations d'une construction sont constituées par les parties de l'ouvrage qui sont en contact avec le sol auquel elles transmettent les charges de la superstructure [9]; elles constituent donc la partie essentielle de l'ouvrage puisque de leur bonnes conception et réalisation découle de la bonne tenue de l'ensemble. Les éléments de fondation transmettent les charges au sol, soit directement (cas des semelles reposant sur le sol ou cas des radiers), soit par l'intermédiaire d'autres organes (cas des semelles sur pieux par exemple).

Dans le cadre de notre ouvrage, nous opterons pour un radier général de forme circulaire parce qu'il permet une répartition et une transmission homogène des charges ; il permet de

garder aussi les mêmes axes d'inertie des éléments de la superstructure. Le diamètre du radier du projet mesure **12 mètres** avec une épaisseur de **1 mètre**. C'est avec ces données enregistrées du projet que nous allons dimensionner notre élément structurel en béton armé.

Détermination des charges

En béton armé (BA), nous avons vu la démarche pour le dimensionnement des dalles. Il faut noter que notre radier est un cas de dalle renversée. En notant e_p son épaisseur et D le diamètre, nous allons nous baser sur la détermination des charges pour suivre la démarche en BA et calculer les aciers HA dudit radier conformément aux normes de BAEL 91 modifié 99 [2].

Données : e_p = 1m, Diamètre D = 12m.

l_x et l_y sont des longueurs représentant des diamètres du radier, de supports perpendiculaires. Ce qui implique l_x et l_y ont même longueur égale à D. α étant la valeur du rapport des longueurs l_x et l_y, elle est égale à 1 c'est-à-dire que $\alpha = \frac{l_x}{l_y} = 1$ **(50)** ; $\alpha > 0{,}4$, donc la dalle du radier porte dans les 2 sens, ce qui augmente sa rigidité

Calculons le Poids du radier (P_{rad})

Poids du radier : $\mathbf{P_{rad} = \gamma_b * ep * s + P_{exploit}}$ **(51)** où **s** est la surface du radier.

$P_{rad} = 25x1x\left(\frac{3{,}14x12^2}{4}\right)+2{,}5x\frac{3{,}14x12^2}{4} = 2826kN + 282.6kN$

P_{rad}=3108,6kN

Estimation de la charge totale qui arrive au sol par ml à ELS (P_{ser})

$P_{ser} = P_c + P_{rad_}$(52), P_c étant le poids de charge totale qui arrive sur la radier, on le ramène à une charge ponctuelle afin de pouvoir l'additionner au poids du radier qui en charge ponctuelle pour déterminer le **$P_{ser\ tel}$** que P_{ser}**= Q+G (53)** d'après les combinaisons de charges à l'ELS.

On obtient : **P_{ser} = 3108 ,60+494,23**

P_{ser} = 3602,83 kN

En Béton armé, les moments fléchissants, développés en travée du panneau ont pour expressions **:**

$M_{ox} = \mu_X P_{ser} l_x^2$ (53), dans sens de la petite portée l_x et **$M_{oy} = \mu_y$ x M_{ox} (54)** dans le sens de la grande portée l_y où $\mu_X = \frac{1}{8(1+2;4\alpha^3)}$ **(55)** ; $\mu_X = \frac{1}{8(1+2,4*1^3)}$ = 0,005 mais on prend μ_x minimale, μ_x =0,037

Pour ramener par mètre linéaire le P_{ser}, on le divise par la surface du radier d'où **$P'_{ser} = \frac{Pser}{D}$ (56)**

Application numérique donne : **$P'_{ser} = \frac{3602,83}{12}$**

P'_{ser} = 300,24 kN /m

On a: **$M_{ox} = \mu_x P'_{ser} l_x^2$ (57)**

M_{ox} =0,037*300,24*144

M_{ox} = 1599, 66kN.m

Comme lx =ly, donc on a :

$M_{ox} = M_{oy}$ = 1599, 66kN.m

- Suivant x

<u>En</u> travée

$M_{tx} = 0,75 * M_{ox}$ (58)

M_{tx} = 0,75***1599, 66kN.m** = **1199, 74kN.m**

Sur appui

M_{ax} = 0,3 M_{ox} = 0,3***1599,66**= **479, 90kN.m**

- Suivant y

En travée : **M_{ty} = 1199, 74kN.m**

Sur appui : **M_{ay} = 479, 90kN.m**

Calcul des sections d'aciers (à L'ELS)

- **L'acier en travée parallèle à l_x et à l_y**

On avait retenu l'acier de diamètre de 20mm avec σ_{st} **= 146,97 MPa** donnée par le **tableau n°1.**

La profondeur de l'axe neutre étant $\alpha_{ser} = \frac{n\sigma_{bc}}{n\sigma_{bc}+\sigma_{st}}$ **(60)**, en appliquant numériquement, on a :

$$\alpha_{ser} = \frac{15*15}{15*15+201,63} = 0,527$$

Hauteur utile (**d**) :

d= 0,9h (59)

d= 0,9*1m= 0,9m=90cm

Calculons, à partir de ces données, le moment résistant à l'ELS. M_{serb} par sa formule (60) suivante :

$$M_{serb} = \frac{1}{2}\ b_o\ d^2\ \sigma_{bc}*\alpha_{ser}\ (1-\frac{\alpha_{ser}}{3})\ (61)$$

Application numérique donne :

$$M_{serb} = \frac{1}{2} * 1*0,9^2*15*0,527(1-\frac{0,527}{3})x10^3$$

M_{serb}=2693, 124kN.m

On rappelle les moments en travée **M_{tx} = M_{ty} = 1199, 74kN.m**

En notant que : $M_{tx} < M_{serb}$ donc, A's = 0 cm^2 et par conséquent, la section d'aciers A_{st} est calculée par la formule (61) : $A_{st} = \frac{M_{tx}}{d\left(1-\frac{\alpha_{ser}}{3}\right)\delta_{st}}$ **(62)**

En calcul numérique, on a :

$$A_{st} = \frac{1.19974*10^9}{900\left(1-\frac{0,527}{3}\right)*201,63}$$

A_{st} = 8020,22 mm^2

A_{st} = 80,21cm^2 et le divisant par 2, on a la section d'aciers par nappe **A_{st}/nappe** telle que

$A_{st/nap}$ = 40,10 cm²/ml et par face, nous aurons $A_{st/nap/face} = \frac{40,10}{2} = 20.05$;

$A_{st/nap/face}$ =20.05 cm²/ml ; ce qui permet d'opérer le choix des aciers suivant **:**

Choix des aciers : 7HA20 esp 12,5 cm totalisant une section réelle de 21,99cm²/ml

Vérification de la section des aciers minimale et maximale :

Section des aciers minimale

A_{min} = $\frac{0,125}{100}$ X B (63) avec B la section du béton

$A_{min} = \frac{0,125}{100}$ *100*100 = 12,5cm²

On aboutit à $A_{min} < A_{st/nappe}$

Section d'aciers maximale

A_{st} max = 2% B = $\frac{2}{100}$ * 100*100 = 200 cm²

On aboutit à $A_{st/nappe} < A_{max}$; par conséquent, **$A_{min} < A_{st/nappe} < A_{max}$** et ce qui est juste. On peut valider le choix des aciers opéré avec la section **A_{st}/f = 21,99 cm²/ml.**

Choix des aciers validé : **2*7HA20/ml esp 12,5cm avec section réelle de 21,99cm²/ml par nappe et par face.**

Vérification par rapport au tassement ou poinçonnement du sol dû au poids de l'ouvrage

Cette vérification se fait par le calcul du rapport (**64**) entre le poids de l'ouvrage qui arrive au sol et la surface sur laquelle il s'exerce au regard de la contrainte admissible du sol, donnée d'avance, par les études géotechniques du site.

$$\sigma_{ouvrage} = \frac{P}{S} \quad (64)$$

$\sigma_{ouvrage} = \frac{3602,83 * 10^{-3}}{3,14 * 12^2 * \frac{1}{4}}$ = 0,032MPa or $\sigma_{admissible}$ = 0,2MPa

Comme $\sigma_{ouvrage} < \sigma_{admissible}$, il y'a stabilité en termes de tassement ou poinçonnement du sol

- **Acier sur appui**

On avait retenu φ 20mm, donc σ_{st}= 146,97MPa

La profondeur de l'axe neutre ($\boldsymbol{\alpha_{ser}}$)

$$\boldsymbol{\alpha_{ser}} = \frac{n\sigma_{bc}}{n\sigma_{bc}+\sigma_{st}} \quad \textbf{(60)}$$

La hauteur utile (**d**) est :

d=0,9h = d =0,9x1 = 90cm

Le moment résistant à l'ELS sur les appuis est calculé par la formule (**61**) :

$$\mathbf{M_{serb}} = \frac{1}{2}\, b_o\, d_o^2\, \alpha_{ser} \left(1 - \frac{\alpha_{ser}}{3}\right) \textbf{(61).}$$

M_{serb} = 2693,124 kN

On rappelle : M_{ax} = 479, 90kN.m < M_{serb} = 2693,12 KN.m d'où A'_s = 0cm^2 et on calcule comme précédemment la section d'aciers tendus comme suit :

$$A_{st} = \frac{0{,}4799x10^7}{900\left(1-\frac{0{,}527}{3}\right)x201{,}63}$$

A_{stotal}= 32,08cm^2

Vérifications des sections d'aciers minimale et maximale.

Section d'aciers minimale

A_{min} = 0,125%B (65)

$A_{min} = \frac{0{,}125}{100}$ x 100x100

A_{min} = 12,5cm^2

Section d'aciers maximale

A_{max} = 2%B (66)

A_{max} = 2x$\frac{1}{100}$ x 100x100

A_{max}= 200cm^2

Comme la section théorique $A_{smin} < A_{sthéo} <$ **A_{max}** donc $A_{st} = 32{,}08cm^2$, et par nappe, on a :

$\frac{A_S}{4} = 8{,}02cm^2$

D'où : **$A_{st\ /\ face} = 8{,}02cm^2$**

Choix des aciers : 4HA16 → (8,04cm^2) esp 20cm

Vérification de la condition de cisaillement : $\tau_u < 0{,}07 \times \frac{f_{cj}}{\alpha_b}$(67)

- **L'effort tranchant**

On rappelle la valeur de **P_u = 300,24kN** puis calculons **V_{ux} par la formule (68)**

$V_{ux} = P_u * \frac{l_x}{2} * \frac{1}{1+\frac{\alpha}{2}}$ (67)

Application numérique donne :

$V_{ux} = 300{,}24 \times \frac{12}{2} \times \frac{1}{1+\frac{1}{2}}$

V_{ux} = 1029,39 kN/ml

Calculons : τ_u et $0{,}07 \times \frac{fc28}{\gamma_b}$ avec $\alpha_b = 1{,}5$

$\tau_u = \frac{V_{ux}}{b_0 d}$ (68)

$\tau_u = \frac{1029{,}39 \times 10^{-3}}{1 \times 0{,}9} = \mathbf{1.14MPa}$

$0{,}07 \frac{f_{cj}}{\gamma_b} = 0{,}07 \times \frac{25}{1{,}5} = \mathbf{1,20MPa}$ (69)

Donc la condition $\tau_u < 0{,}07 \times \frac{f_{cj}}{\gamma_b}$ **(67)** est vérifiée ; Puisque **1,14MPa < 1,20MPa** et par conséquent, on conclut qu'aucune armature d'effort tranchant n'est requise puisqu'il n'y a pas de cisaillement.

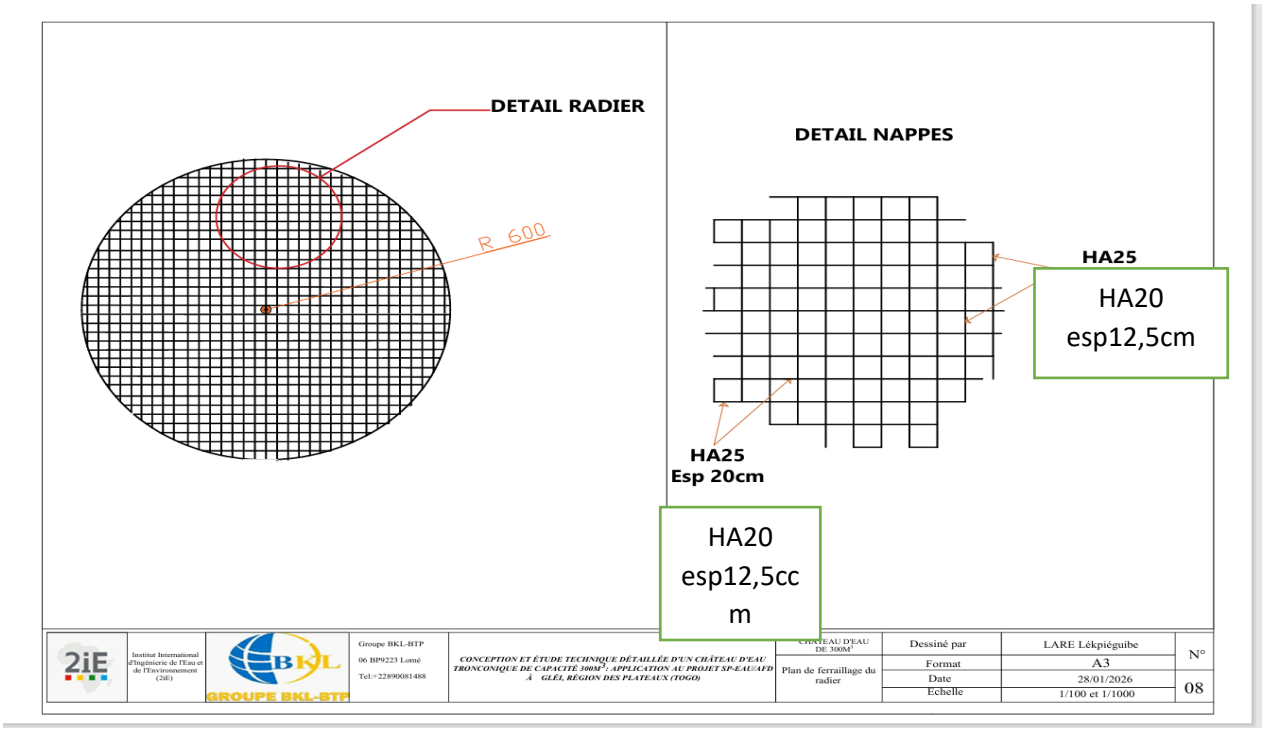


Figure 17 : plan de ferraillage et Coupe verticale du radier

Etat récapitulatif des résultats des ferraillage des parties structurelles du château d'eau

Le tableau n°7 récapitule les sections théoriques et réelles d'aciers et les choix de ferraillage.

Tableau 12:Ferraillage des sections

N°ordre	Parties structurelles	Directions des HA	Sections théoriques	Choix aciers	Sections réelles
1	Coupole supérieure	2	3cm^2/ml x2	2x6HA8	3,02cm^2/ml
2	Cuve tronconique	2	4,883cm^2/mlx2	2x5HA12	5,623cm^2/ml
3	Coupole de fond	2	3,753cm^2/mlx2	2x5HA10	3,983cm^2/ml
4	Cheminée	2	2,513cm^2/ml	2x5HA8	2,53cm^2/ml
5	Tour	2	7,53cm^2/ml	2x10HA10	7,853cm^2/ml
6	Radier	2	22,37cm^2/ml	2x5HA25	21,99cm^2/ml
7	Ceinture supérieure	-	16,663cm^2	9HA16	18,103cm^2/ml
8	Ceinture d'appui	-	12,893cm^2	9HA14	13,853cm^2/ml

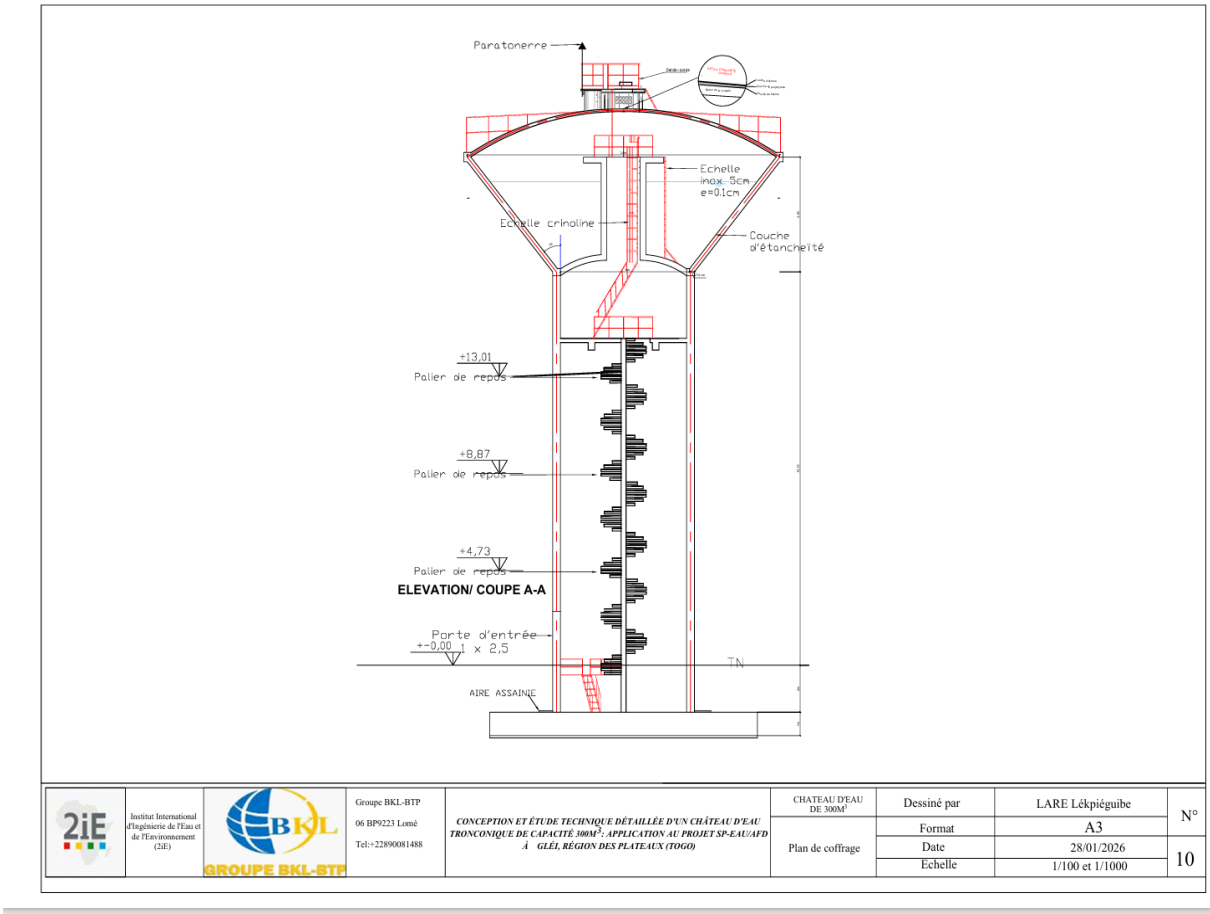


Figure 18 : plan de coffrage

3.3 Etude de stabilité globale

Au prime abord, la stabilité globale découle de la vérification des conditions liées au respect des normes, règles et méthodes qui régissent la conception et le dimensionnement de chaque partie structurelle du château d'eau en étude, puis de la structuration solidaire et indissociable entre ces différentes parties. Il y'a, ensuite, l'aspect géotechnique qui évoque la capacité qu'offre le sol du site à supporter la charge totale de l'ouvrage afin d'éviter les tassements ou poinçonnements. Enfin, selon la zone géographique du site, il peut avoir les instabilités liées au climat (vent, neige…) que nous devons étudier pour sécuriser et viabiliser nos ouvrages. Mais pour notre étude nous n'évoquerons que l'étude d'instabilité liée au vent.

3.3.1 instabilités internes

L'étude des instabilités internes pour notre château d'eau s'intéresse à la qualité de chaque partie structurelle et à la solidarité entre ces différentes parties découlant des normes, des règles et des méthodes officiellement utilisées et justifiées pour sa conception, son dimensionnement et sa mise en œuvre. Comme ces mesures liées au respect de ces normes, règles et méthodes édictées par les documents officiels exploités minutieusement dans la conception, dans le dimensionnement et dans la mise en œuvre de notre château d'eau, on conclut que cette stabilité interne est bien assurée. Le flambement étant généralement dû au mauvais recouvrement des aciers est donc écarté dans notre cas d'étude.

3.3.2 instabilités externes

- **Tassement/Poinçonnement**

Dans nos collectes des données géotechniques, la contrainte admissible qu'offre le sol de notre site est de 0,20 MPa. Or, dans notre étude, l'estimation de la contrainte de l'ouvrage sur le sol est de **0.032MPa (** $\sigma_{ouvrage} = \frac{P}{S} = \frac{3602{,}83 * 10^{-3}}{3{,}14 * 12^2 * \frac{1}{4}}$ **= 0,032MPa) or** $\sigma_{admissible}$ **= 0,2MPa,** ce qui implique une capacité portante du sol largement suffisante vis-à-vis de la charge de l'ouvrage en étude. On peut se rassurer également à ce niveau que toute éventualité de tassement ou poinçonnement est exclu d'où la stabilité de l'ouvrage du point de vue géotechnique.

- **Instabilités liées au renversement dû au vent**

Le vent avec pour effet de créer des moments de flexion sur la tour a tendance éventuellement à renverser la structure. Il faut que le poids propre du réservoir à vide équilibre ce moment reversant pour assurer la stabilité de l'ouvrage. Ainsi, la stabilité au vent sera effectuée en considérant que notre réservoir est vide (pas de présence d'eau dans la cuve) sous effet de la force du vent en considérant que nous sommes en site moyennement défavorable de zone 2 [4]**,** avec une contrainte de rupture de sol qui est de 0.20MPa et une hauteur d'ancrage de 3,10m. il s'agit ici de calculer le moment renversant (**Mr**) et le moment stabilisant (**Ms)** puis vérifier si le rapport $\frac{Ms}{Mr} \geq 1{,}5$ **(70)** pour conclure que l'ouvrage est stable par rapport au renversement.

- **Paramètres de calcul**

Pression dynamique de base q_{10}

Tableau 13: Pression dynamique du vent pour une hauteur inférieur à 1000 m (NV65)

Pression dynamique pour une altitude inférieure à 1000m					
	Zone1	Zone2	Zone3	Zone4	Zone5
Pression dynamique de base normale….. (daN/m^2)	50	60	75	90	120
Pression dynamique de base extrême…… (daN/m^2)	87,5	105,0	131,0	157,5	210,0

En se basant sur le tableau on obtient les pressions dynamiques correspondantes à la zone 2, soit $q_{10}\ nor = 60\ daN/m^2$ $q_{10}\ ext = 105\ daN/m^2$

Coefficient d'exposition Ks

Tableau 14:Coefficient d'exposition aux pressions de base (NV65)

Coefficient de site k_s à appliquer aux pressions de base					
Zones	Zone1	Zone21	Zone3	Zone4	Zone5
Site protégé	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Site normal	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Site exposé	1,35	1,30	1,25	1,20	1,20
Notion de site exposé n'est pas prise en compte dans cette zo					

En se basant sur le tableau précédent étant donné que nous somme sur un site exposé en zone 2 On obtient que le coefficient d'exposition soit $\boldsymbol{K_s}$ = **1**,3

Coefficient de hauteur K_h

Coefficient de hauteur se détermine selon la (NV65 [4]) de la manière suivante :

$$K_h = 2{,}5 \times \frac{H+18}{H+60} \quad (71)$$

ouu H désigne du sol à la hauteur fini de la tour

$$H = H_{tronconique} + H_{coupole\ sup} + e_{coupole} + H_{Tour} \quad (72)$$

H = 4.9 + 2 + 0,15 +16,75= 23.80m

$$K_h = 2{,}5 \times \frac{23.80+18}{23.80+60} = 1.24$$

Coefficient de réduction des pressions dynamiques δ

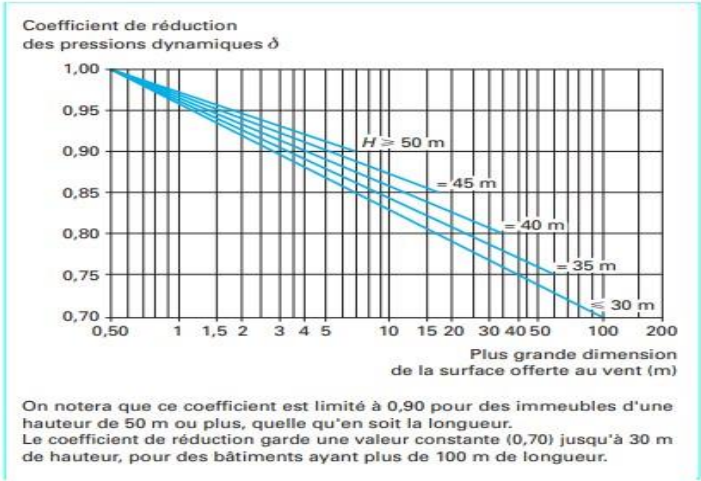


Figure 12 – Coefficient de réduction δ des pressions dynamiques pour les grandes surfaces

Figure 18 : coefficient de réduction des pressions dynamiques (NV65)

La hauteur totale du château de **(23,80m)** étant inférieure à 30 m. De plus, la plus grande dimension de la surface offerte au vent est de 30 m et en faisant la projection sur la courbe correspondante à ces informations, nous obtenons $\boldsymbol{\delta}$ **=0,78**

➢ **Coefficient de poussée (C)**

Pour le coefficient de poussée des parois extérieures, on a C_{ext} = + 0,8 puisqu'elles font face au vent. En ce qui concerne les parois intérieures, étant donné qu'elles sont sous le vent, on a

Cint = - 0,5 D'où $C = Cext - Cint = +0{,}8 - (-0{,}5) \Rightarrow \boldsymbol{C = 1,3}$

Calcul des pressions dynamiques corrigées

On **a** $\boldsymbol{q_{corr} = q_{10} \times K_s \times K_h \times C \times \delta}$ **(73)**

En utilisant la pression dynamique de base normale, on a :

$q_{corr} = 0{,}6 \times 1{,}3 \times 1{,}24 \times 1{,}3 \times 0{,}78 = 0{,}98\ kN/m^2$

$\boldsymbol{q_{corr}}$**=0.98KN/m²**

En utilisant la pression dynamique de base externe, on a :

$q_{corr} = 1{,}05 \times 1{,}3 \times 1{,}24 \times 1{,}3 \times 0{,}78 = 1{,}71 kN/m^2$

$\boldsymbol{q_{corr} = 1{,}71 kN/m^2}$

Ces valeurs de la pression dynamique calculées se situent bien dans les intervalles des valeurs minimales et des valeurs maximales comme indiquées dans le tableau 15

Tableau 15:Valeurs minimales et maximales de pressions dynamique (NV65) *[4]*

Valeurs limites des pressions dynamiques corrigés pour les zones 1 à 4		
	Valeurs maximales (daN/m^2)	Valeurs minimales (daN/m^2)
Pression dynamique normale corrigée	170	30
Pression dynamique extrême corrigée	297,5	**52,5**

Nous allons décomposer la structure du réservoir en deux parties : cuve + tour

Force du vent sur la cuve du château d'eau (F1)

$$F_1 = q_{cal} \times S_{ma} \quad (74)$$

$S_{ma} = \pi \times r_{et} \times h = \pi \times 7 \times 4.9 = 107{,}7\text{m}^2$

$F_1 = 1{,}71 \times 107{,}7 =$ **184.2 *kN***

La position de la force F1 par rapport au terrain naturel est obtenue par :

$$Z_1 = 16{,}75 + \frac{6.9}{2}$$

$$Z_1 = 20{,}2\ m$$

Force du vent sur la tour du château d'eau (F2)

$$F_2 = q_{cal} \times S_{ma} \quad (75)$$

$S_{ma} = \pi \times r_{et} \times h = \pi \times 5 \times 16{,}78 = 262{,}98\ \text{m}^2$

$F_2 = 1.71 \times 262.98 =$ **449,69 *kN***

La position de la force F2 par rapport au terrain naturel est obtenue par :

$$Z_2 = \frac{16.75}{2}$$

$$Z_2 = 8{,}38\ m$$

Détermination de la force totale du vent sur le château d'eau

La force totale est la somme des forces de vent sur la cuve et sur la tour. Cette force est déterminée par la formule suivante :

$$F_H = F_1 + F_2 \quad (76)$$

$$F_H = 184.2 + 449.69 = 633.89\text{kN}$$

Calcul de la position Z_H de la force Fv

$$F_H = F_1 \times Z_1 + F_2 \times Z_2 \quad (77)$$

$$Z_{GH} = \frac{F1*Z1+F2*Z2}{F_H} \quad (78)$$

$$Z_{GH} = \frac{184.2*20.2+449,89*8,38}{633,89}$$

$$Z_{GH} = 8,63m$$

Détermination du moment des forces déstabilisantes (M_{Fr})

$$M_{Fr} = F_H \times Z_H \quad (79)$$

$$M_{Fr} = 633,89 \times 8,63$$

$$M_{Fr} = 5470,50\ kN.m$$

Détermination du moment des forces stabilisantes (M_{FS})

Le poids du château d'eau constitue la force stabilisante.

M_{FS} = Poids du château x Bras de levier

$$M_{FS} = 12137,35 \times \frac{5}{2}$$

$$M_{FS} = 30343,38\ kN.m$$

Eléments de conclusion sur la stabilité au renversement

$M_{FS} \geq M_{FH}$ car $30343,38\ kN.m \geq 5470,50\ kN.m$

Donc notre château d'eau est stable au renversement

$$f = \frac{\text{Moment stabilisant(Ms)}}{\text{Moment renversant(Mr)}} \quad (80)$$

$$f = \frac{30343,38}{5470,50}$$

$$f = 5.547$$

Comme le coefficient de sécurité $\boldsymbol{f \approx 5{,}55 >> 1{,}5}$ => donc la stabilité au renversement est **vérifiée.**

Par conséquent dans les deux cas de figure (normale et externe), donc l'ouvrage (château d'eau de 300 m^3) est bien stable au vent selon la norme **NV65**.

3.4 Analyse et discussion des résultats

Les résultats des calculs montrent que les contraintes maximales dans les parois de la cuve et dans le fût restent inférieures aux limites admissibles du béton ; le non flambement du fût est donc vérifié et ainsi la stabilité globale est assurée avec un coefficient de sécurité de **5,5** qui est nettement supérieur à **1,5** indiquée comme la valeur de référence.

Les résultats obtenus confirment que la conception géométrique choisie assure une répartition uniforme des contraintes et une bonne résistance aux charges verticales et horizontales. Le choix d'une forme tronconique pour la cuve favorise une meilleure diffusion des efforts et une économie de matériaux.

Le rapport hauteur/diamètre du fût offre un bon compromis entre stabilité et esthétique, tandis que la hauteur totale de 23,80 m garantit une pression suffisante pour la distribution d'eau sans recourir à des dispositifs de pompage supplémentaires. Les résultats de l'analyse structurelle montrent que l'ouvrage est conforme aux exigences de sécurité et de durabilité pour un château d'eau de 300 m³.

CHAPITRE 4 : ETUDE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL ET ESTIMATION FINANCIÈRE

4.1 Etude financière du château d'eau

Après analyse des coûts unitaires et de main-d'œuvre règlementée à partir du mercurial et du bordereau des prix unitaires (BPU), on est parti d'une feuille Excel pour estimer le coût du château qui se chiffre à cent cinquante-sept millions deux cent dix-neuf mille trois cent vingt **(157 219 320)** F CFA. (Voir le tableau Excel en **annexe 3)**

4.2- d'Impact Environnemental et Social (EIES Etude)

La présente Notice d'Impact Environnemental et Social (NIES) du projet de développement des infrastructures d'approvisionnement en eau potable dans la commune de **Gléi** a été élaborée en conformité avec la législation environnementale du Togo, notamment la Loi n°2008-005 portant loi-cadre sur l'environnement, ainsi qu'avec les normes environnementales et sociales de référence et les conventions internationales ratifiées par le pays.

Cette étude a permis d'analyser les composantes du projet, notamment : la réalisati 58 château d'eau de 300m^3 à Gléi ;

À travers l'analyse de l'environnement biophysique, du contexte socio-économique et les consultations publiques menées, la NIES a permis d'identifier les impacts potentiels du projet, tant **positifs** que **négatifs**.

- ❖ Impacts positifs non négligeables :
  - ➢ **Création d'emplois** directs et indirects (main-d'œuvre locale, services connexes) ;
  - ➢ **Amélioration de l'accès à l'eau potable** des conditions de transport des biens et des personnes ;
  - ➢ **Reduction des maladies hydriques** ;
  - ➢ **Réduction de la pauvreté**, notamment par la création d'activités génératrices de revenus ;
  - ➢ **Renforcement du lien social** par l'interconnexion des quartiers.
- ❖ Impacts négatifs identifiés :

- Des nuisances pendant la phase de travaux :
- **Bruit, poussière, vibrations, risques d'accidents** ;
- **Destruction de la végétation**, des emprises, et potentielles pertes d'arbres ;
- **Production de déchets** de chantier et pollution temporaire de l'eau et du sol ;
- **Risques de tensions sociales** liés au déplacement de certaines installations informelles.

Ces effets négatifs sont toutefois jugés **maîtrisables**, et des mesures concrètes ont été formulées dans le **Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES)**. Celui-ci prévoit des mesures d'atténuation, de compensation et de suivi rigoureux. Le coût estimé de la mise en œuvre du PGES est de **4 859 500 FCFA**, à intégrer dans le budget global du projet.

Les **consultations publiques** réalisées dans les quartiers concernés ont mis en évidence une **forte adhésion des populations** au projet. Les habitants ont exprimé leur satisfaction quant à la pertinence de l'infrastructure projetée, tout en soulignant l'importance :

- D'un **processus participatif** et transparent pour les indemnisations ;
- D'une **prise en compte effective** des préoccupations environnementales et sociales ;
- Du **respect des délais** pour éviter les blocages sociaux ou techniques.

En conclusion, la mise en œuvre de ce projet de réalisation du château d'eau de capacité 300m^3 dans la commune de **Glei** est non seulement une simple pertinence, mais aussi stratégique pour renforcer les infrastructures existantes d'approvisionnement en eau potable, améliorer les conditions de vie des populations et soutenir un développement inclusif et durable. La mise en application rigoureuse des mesures prévues dans le PGES garantira un équilibre entre croissance économique et préservation de **l'environnement et du bien-être social (voir détail NIES en annexe 4)**

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La conception et dimensionnement d'un château d'eau exige une attention particulière quant à l'équilibre entre la capacité de stockage et la sécurité structurelle. Afin de répondre à ces exigences délicates pour notre étude, nous avons pris en compte les hypothèses basées sur les normes officielles liées aux matériaux et aux contraintes du sol de **0,20 MPa** du site d'implantation de l'ouvrage tout en nous appuyant sur des objectifs définis à cet effet pour enfin parvenir à concevoir une cuve tronconique de 300m^3 sur une tour adaptée bien ancrée au moyen d'un radier d'épaisseur **un mètre** bien dimensionné avec les **HA25**, garantissant ainsi la stabilité (**flambement, tassement et renversement vérifiés**) à long terme. Cette conception envisagée sur un tel support, une tour réaliséé avec les **HA10**, offre une meilleure solution viable du point de vue technique pour une meilleure répartition des charges et une visibilité sur le plan esthétique et également sous l'aspect économique. Au final, pour la conception de ce château de 300m^3, le coût estimé se chiffre à **cent cinquante-sept millions deux cent dix-neuf mille trois cent vingt de francs CFA.** A ce coût, s'ajoute **quatre millions huit cent cinquante-neuf mille cinq cents de francs CFA** résultant des études d'impact environnemental et social réalisées en vue de compenser ou d'atténuer les effets négatifs générés pour la réalisation du château d'eau, portant ainsi l'enveloppe au coût total estimé à **cent soixante-deux millions soixante-dix-huit mille huit cent vingt de francs CFA** ; ce qui a permis d'assurer à la population de Gleï non seulement la satisfaction en termes de besoins d'eau que fournit l'ouvrage, mais aussi et surtout le fonctionnement efficace, sécurisé et durable pour le stockage et la distribution d'eau dans la localité. Cependant, la viabilité et la durabilité évoquées pour l'ouvrage doivent se reposer sur certaines recommandations techniques lors de la mise en œuvre, de maintenance et d'entretien lors de l'exploitation de l'ouvrage.

Au titre de recommandations, nous proposons pour une meilleure durabilité :

-un respect scrupuleux des dispositions constructives officielles en matière de constructions des réservoirs en béton armé ;

- une rigoureuse mise en œuvre avec un enrobage d'au moins **4cm** et une étanchéité des parois internes de la cuve avec un enduit sikalite hydrofugé au mortier de ciment armé d'épaisseur 4 cm appliqué sur les parois internes de la cuve ;

- une mise sur pied d'un comité de gestion eau et de veille pour la maintenance et l'entretien réguliers du château d'eau et ses ouvrages annexes, lors de l'exploitation

LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] « Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) ». Applicables aux marchés publics de travaux (Fascule 74), Construction des Réservoirs en Béton.

[2] « Béton Armé BAEL 91 Modifié 99 ». Régles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé selon la méthode des états limites (Fascicule 62, Titre I section I du CCTG). Avril 1999.

[3] Traité de Béton armé « GUERRIN_et _ RC LAVAUR_Tome_6 », Réservoirs, Chateaux d'eau, Piscines.

[4] J. Mayère et I. Insa, « Règles Neige et Vent NV 65 ». France, Paris, 1965

[5] M. Mathez, « Bases de calcul et actions sur les structures BNTEC P06A ». Eurocode 1. Paris, Octobre 1997.

[6] Eurocode 2 « Calcul des structures en béton - Partie 4: Structures de soutènement et réservoirs ». Paris, Décembre 1998.

[7] Ministère de la coopération (France), « Guide pratique dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP) ». Centre expérimental de recherches et d'études du batiment et des travaux publics, 2014.

[8] Conception et Calcul des Structures de Batiment « Henry Thonier Tome 5 ». Paris, 1998.

[9] Eurocode 2 « Calcul des structures en béton - Partie 3 : Structures de fondations». Paris, Décembre 1998.

ANNEXES

ANNEXE 1: Le détail de calcul des contraintes admissibles des aciers HA

Cette partie expose le détail des calculs ayant permis de récapituler les contraintes admissibles $\overline{\sigma_{st}}$ dans le tableau n°1 à partir de la formule (1).

$$\overline{\sigma_{St}} = \min \begin{cases} \alpha\sqrt{\frac{\eta f_{t28}}{\emptyset_s}} + \eta\beta\,; \\ 0{,}5 f_e\,; \\ 90\sqrt{\eta f_{t28}}. \end{cases}$$

(1)

Applications numériques :

-Pour les aciers HA de diamètre 8mm ($\emptyset_8$), on a :

$$\overline{\sigma_{st}}=\min\left(240x\sqrt{\frac{1{,}6x2{,}1}{8}}+1{,}6x30\,;\ 0;\ 5x500;\ 90x\sqrt{1{,}6x2{,}1}\right)$$

$\overline{\sigma_{st}}$=min (203,54 ; 250 ; **164,97**)

$\overline{\sigma_{st}}$=164,97Mpa

-Pour les aciers HA de diamètre 10mm ($\emptyset_{10}$),on a :

$$\overline{\sigma_{st}}=\min\left(240x\sqrt{\frac{1{,}6x2{,}1}{10}}+1{,}6x30\,;\ 0;\ 5x500;\ 90x\sqrt{1{,}6x2{,}1}\right)$$

$\overline{\sigma_{st}}$=min (187,12 ; 250 ; **164,97**)

$\overline{\sigma_{st}}$=164,97Mpa

-Pour les aciers HA de diamètre 12mm ($\emptyset_{12}$), on a :

$$\overline{\sigma_{st}}=\min\left(240x\sqrt{\frac{1{,}6x2{,}1}{12}}+1{,}6x30\,;\ 0;\ 5x500;\ 90x\sqrt{1{,}6x2{,}1}\right)$$

$\overline{\sigma_{st}}$=min (175 ; 250 ; **164,97**)

$\overline{\sigma_{st}}$=164,97Mpa

-Pour les aciers HA de diamètre 14mm ($\emptyset_{14}$), on a :

$$\overline{\sigma_{st}}=\min\left(240x\sqrt{\frac{1,6x2,1}{14}}+1,6x30\ ;\ 0;5x500;\ 90x\sqrt{1,6x2,1}\right)$$

$\overline{\sigma_{st}}$=min (**165,58** ; 250 ; 164,97)

$\overline{\sigma_{st}}$=165,58Mpa

-Pour les aciers HA de diamètre 16mm ($\emptyset_{16}$), on a:

$$\overline{\sigma_{st}}=\min\left(240x\sqrt{\frac{1,6x2,1}{16}}+1,6x30\ ;\ 0;5x500;\ 90x\sqrt{1,6x2,1}\right)$$

$\overline{\sigma_{st}}$=min (**157,97** ; 250 **;** 164,97)

$\overline{\sigma_{st}}$=157,97Mpa

-Pour les aciers HA de diamètre 20mm ($\emptyset_{20}$), on a :

$$\overline{\sigma_{st}}=\min\left(240x\sqrt{\frac{1,6x2,1}{20}}+1,6x30\ ;\ 0;5x500;\ 90x\sqrt{1,6x2,1}\right)$$

$\overline{\sigma_{st}}$=min (**146,37** ; 250 **;** 164,97)

$\overline{\sigma_{st}}$=146,37Mpa

ANNEXE 2: Sections totales d'acier

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

ANNEXE 3: Devis Quantitatif et Estimatif

N° DES PRIX	DESIGNATION DES PRESTATIONS	UNITE	PRIX UNITAIRE en FCFA HT	Marché actualisé	
				Quantité	PRIX TOTAL en FCFA HT
300	**CHÂTEAU D'EAU (300M^3/30m)**				
301	**ETUDE GEOTECHNIQUE**				
301.1	Essai Proctor d'un échantillon de sol	u	150 000	5,00	750 000
301.2	Essai de plaque et détermination de la densité sur place	u	300 000	5,00	1 500 000
302	**TERRASSEMENT**				
302.1	Déblais en grande masse jusqu'à la profondeur requise pour l'ancrage des fondations	m³	4 500	772,00	3 474 000
302.2	Plus-Value pour déblai dans terrain compact nécessitant des outils lourds	m³	10 000	0,00	0
302.3	Plus-Value pour déblai dans le rocher nécessitant l'emploi d'explosifs	m³	70 000	0,00	0
	Remblai dans la fouille d'encrage de la fondation	m³	1 000	321,91	321 910
302.4	Fourniture et pose de revêtement latéritique ou concassé tout-venant, épaisseur 15 cm	m²	2 000	8,71	17 420
303	**BETON -BETON ARME**				
303.1	**Béton de propreté de classe C12/15**	m²	114	250,00	28 500
303.2	**Béton armé pour dalle du lanterneau**				
303.2.1	Béton C25/30	m³	90 000	0,54	48 600
303.2.2	Acier	kg	1 100	16,34	17 974
303.2.3	Coffrage	m²	12 500	4,74	59 250
303.3	**Béton armé pour voile du lanterneau**				
303.3.1	Béton C25/30	m³	90 000	0,33	29 700
303.3.2	Acier	kg	1 100	47,20	51 920
303.3.3	Coffrage	m²	12 500	7,54	94 250
303.4	**Béton armé pour coupole supérieure**				
303.4.1	Béton C25/30	m³	90 000	23,08	2 077 200
303.4.2	Acier	kg	1 100	2 234,72	2 458 192

303.4.3	Coffrage	m²	12 500	153,86	1 923 250
303.5	**Béton armé pour ceinture supérieure**				
303.5.1	Béton C25/30	m³	90 000	5,80	522 000
303.5.2	Acier	kg	1 100	1 039,90	1 143 890
303.5.3	Coffrage	m²	12 500	26,34	329 250
303.7	**Béton armé pour paroi tronconique**				
303.7.1	Béton C25/30	m³	90 000	12,25	1 102 500
303.7.2	Acier	kg	1 100	1 541,47	1 695 617
303.7.3	Coffrage	m²	12 500	98,00	1 225 000
303.8	**Béton armé pour ceinture inférieure**				0
303.8.1	Béton C25/30	m³	90 000	1,67	150 300
303.8.2	Acier	kg	1 100	75,76	83 336
303.8.3	Coffrage	m²	12 500	11,32	141 500
303.9	**Béton armé pour radier du fond de la cuve**				0
303.9.1	Béton C25/30	m³	90 000	7,08	637 200
303.9.2	Acier	kg	1 100	3 432,91	3 776 201
303.9.3	Coffrage	m²	8 000	28,26	226 080
303.10	**Béton armé pour cheminée**				0
303.10.1	Béton C25/30	m³	90 000	6,28	565 200
303.10.2	Acier	kg	1 100	591,26	650 386
303.10.3	Coffrage	m²	12 500	62,80	785 000
303.11	**Béton armé pour passerelle de commande**				0
303.11.1	Béton C25/30	m³	90 000	11,70	1 053 000
303.11.2	Acier	kg	1 100	1 138,24	1 252 064
303.11.3	Coffrage	m²	18 500	78,50	1 452 250
303.12	**Béton armé pour Tour**				0
303.12.1	Béton C25/30	m³	90 000	103,10	9 279 000
303.12.2	Acier	kg	1 100	8 655,48	9 521 028
303.12.3	Coffrage	m²	12 500	588,76	7 359 500
303.13	**Béton armé pour entretoise**				0
303.13.1	Béton C25/30	m³	90 000	0,00	0
303.13.2	Acier	kg	1 100	0,00	0
303.13.3	Coffrage	m²	12 500	0,00	0

303.14	**Béton armé pour radier de fondation**				0
303.14.1	Béton C25/30	m³	90 000	118,69	10 682 100
303.14.2	Acier	kg	1 100	13 723,94	15 096 334
303.14.3	Coffrage	m²	12 500	39,56	494 500
	Enduit sikalite hydrofugé au mortier de ciment armé ép. 4 cm appliqué sur les parois internes de la cuve (Etancheité de la cuve)	m²	65 000	165,00	10 725 000
	Application d´une peinture alimentaire de type époxy ou équivalente sur enduit sikalite hydrofugé y compris toutes autres sujétions (fourniture et pose de la peinture alimentaire)	m²	12 150	165,00	2 004 750
	Application d´une peinture sur la paroi extérieure de château d'eau. (Embellissement du château)	m²	15 450	-	
304	**EQUIPEMENTS HYDRAULIQUES ET AUTRES ACCESSOIRES DU CHATEAUX D'EAU**				
304.1	Fourniture et Installation des équipements hydrauliques	ff	15 873 000	1,00	15 873 000
304.2	Fourniture et pose de pavement extérieur en dalles béton 40x40x6 cm	m²	11 000	58,09	638 990
304.3	Couverture multicouche d'isolation thermique	m²	15 000	342,26	5 133 900
304.4	Garde-corps amovible et démontables en acier inoxydable	ml	40 000	134,45	5 378 000
304.5	Echelle à crinoline en acier galvanisé et fixation	ml	75 000	11,00	825 000
304.6	Echelle à crinoline et fixations en acier inoxydable.	ml	95 000	10,80	1 026 000
304.7	Capot du lanterneau (Couvercle léger en tôle d'acier galvanisé; diam. 0,8 m)+cadre et tige à crou d'arrêt	u	750 000	1,00	750 000
304.8	Grille moustiquaire inoxydable, sur cadre métallique démontable pour ouvertures d'aération dans les voiles du lanterneau	m²	250 000	0,00	0
304.9	Fourniture et installation d'un manomètre de précision (Indicateur de niveau d'eau)	pc	2 500 000	0,00	0
304.10	Installation de la protection parafoudre pour	ff	1 750 000	0,00	0

	châteaux d'eau				
304.11	Escalier hélicoïdal (avec garde-corps) en acier galvanisé et fixation	ff	12 000 000	0,00	0
305	**SECOND ŒUVRE (AMENAGEMENT DE BUREAUX)**			0,00	
	Fouilles en puits	m^3	2 500	0,00	0
	Fouilles en rigole	m^3	1 000	0,00	0
	Remblai dans les fouilles	m^3	500	0,00	0
	Remblais d'apport en sable silteux	m^3	7 500	0,00	0
	BETON - BETON ARME			0,00	
	Béton de propreté	m^3	70 000	0,00	0
	Béton armé pour semelles	m^3	110 000	0,00	0
	Béton armé pour amorces poteaux	m^3	115 000	0,00	0
	Béton armé pour longrine	m^3	115 000	0,00	0
	Béton armé pour poteaux	m^3	115 000	0,00	0
	Béton armé pour chaînage	m^3	110 000	0,00	0
	Béton légèrement armé pour dallage au sol	m^3	90 000	0,00	0
305.1	**Maçonnerie**			0,00	
	Mur de soubassement en agglomérés ciment pleins de 20x20x40	m^2	7 500	0,00	0
305.1.1	Mur d'élévation des bureaux en agglomérés ciment creux de 15x40x20	m^2	6 500	0,00	0
305.1.2	Enduit horizontal sous dalle des bureaux	m^2	3 500	0,00	0
305.1.3	Enduit vertical intérieur et extérieur sur murs des bureaux	m^2	3 000	0,00	0
	Constructions de marches en agglomérés ciments, y compris chape et toutes sujétions	m^3	40 000	0,00	0
305.2	**Menuiserie**			0,00	
305.2.1	Fourniture et pose des portes métalliques de 90x210, les bureaux	u	160 000	0,00	0
305.2.2	Fourniture et pose des portes métalliques de 80x210, pour les toilettes	u	140 000	0,00	0

305.2.3	Fourniture et pose de fenêtres de 100cmx100cm, en nacco, cadre métallique avec barreaux, y compris grilles anti moustiques et toutes sujétions	u	120 000	0,00	0
305.2.4	Fourniture et pose de fenêtres de 60cmx60cm, en nacco, cadre métallique avec barreaux, y compris grilles anti moustiques et toutes sujétions	u	100 000	0,00	0
	Toiture avec couverture en bac alu et charpente métallique avec traitement anturouille et toutes sujétions	m²	0	0,00	0
305.3	**Carrelage**			0,00	
305.3.1	Fourniture et pose des carreaux de 30x30 au sol dans les bureaux, y compris plinthes et toutes sujétions	m²	12 500	0,00	0
305.3.2	Fourniture et pose des carreaux anti dérapants de 30x30 au sol dans dans les toilettes	m²	11 500	0,00	0
305.3.3	Fourniture et pose des carreaux faïence de 20x30 sur murs dans les toilettes	m²	8 500	0,00	0
305.4	**Peinture**			0,00	
305.4.1	Peinture à huile à l'intérieur des bureaux	m²	3 000	0,00	0
305.4.2	Peinture à graisse à l'extérieur des bureaux	m²	8 500	0,00	0
305.5	**Plomberie**			0,00	
305.5.1	Fourniture et pose d'un WC à l'anglaise complet	u	70 000	0,00	0
305.5.2	Fourniture et pose d'un lavabo complet	u	45 000	0,00	0
305.5.3	Fourniture et pose de porte papier hygiénique	u	10 000	0,00	0
305.5.4	Fourniture et pose d'un miroir	u	20 000	0,00	0
305.5.5	Construction d'une fosse septique complète	u	850 000	0,00	0
305.5.6	Construction d'un regard complet au pied du château	u	450 000	0,00	0
306	**CLOTURE (SUR UN CARRE DE 25 METRES DE COTE)**			0,00	
306.1	**Travaux Préparatoires**			0,00	
306.1.1	Implantation de la clôture	ff	100 000	0,00	0
306.2	**Terrassement**			0,00	
306.2.1	Fouille en puits pour semelles	m³	2 500	0,00	0

306.2.2	Remblai dans les fouilles	m³	1 000	0,00	0
306.3	**Béton-Béton armé**			0,00	
306.3.1	Béton de propreté dosé à 150	m³	70 000	0,00	0
306.3.2	Béton C25/30 armé pour semelle	m³	110 000	0,00	0
	Béton C25/30 armé pour longrine	m³	6	0,00	
306.3.3	Béton C25/30 armé pour poteaux en élévation	m³	115 000	0,00	0
306.4	**Maçonnerie**			0,00	
306.4.1	Enduit vertical de 2cm d'épaisseur sur poteau en béton armé	m²	3 000	0,00	0
	Soubassement en agglomérés de 15 plein	m²	3	0,00	
	Enduit au mortier de ciment sur longrine et soubassement	m²	0	0,00	
306.5	**Menuiserie**			0,00	
306.5.1	Fourniture et pose des poteaux métalliques en T de 50x50x6, hauteur utile =2,5m	u	52 477	0,00	0
306.5.2	Fourniture et pose des poteaux métalliques de reprise en T de 50x50x7, hauteur utile =2,5m	u	72 155	0,00	0
306.5.3	Fourniture et pose de grillage torsadé en fil de fer de 2mm galvanisé et au mailles de 10 cm	m²	5 248	0,00	0
306.5.4	Fourniture et pose d'un portail métallique de dimensions 6mx2,5 m en fer forgé et galvanisé à chaud	u	2 000 000	0,00	0
306.5.5	Fourniture et pose d'un portillon métallique de dimensions 1mx2,5 m en fer forgé et galvanisé à chaud	u	550 000	0,00	0
306.6	**Peinture**			0,00	
306.6.1	Peinture à huile sur mur poteau en béton armé	m²	3 000	0,00	0
306.6.2	Peinture à huile sur portes métalliques	m²	3 000	0,00	0
	Peinture à huile sur soubassement	m²	1	0,00	
306.7	**AMENAGEMENT DES ABORDS**				
306.7.1	Profilage du terrain après l'achèvement des travaux de construction, déblais/remblais et compactage	m²	500	1 075,00	537 500

306.7.2	Fourniture de la terre végétale	m³	2 500	245,17	612 925
306.7.3	Mise en place de la terre végétale	m³	250	245,17	61 293
306.7.4	Engazonnement	m²	2 300	672,24	1 546 152
306.7.5	Mise en place des allées de circulation en gravillons avec bordures en murets de 10cm d'épaisseur et de 15cm de hauteur, épaisseur de la couche de gravillon = 10cm	m²	16 000	378,05	6 048 800
	Fourniture de pavée pour aire de circulation	m²	784		
	Mise en place de sable silteux	m²	178		
307	**LOCAL FORAGE (02)**				
307.1	**TERRASSEMENT**				
307.1.1	Fouilles en puits	m3	2 500	0,00	0
307.1.2	Fouilles en rigole	m3	1 000	0,00	0
307.1.3	Remblai dans les fouilles	m3	500	0,00	0
307.1.4	Remblais d'apport en sable silteux	m3	7 500	0,00	0
307.2	**BETON - BETON ARME**			0,00	0
307.2.1	Béton de propreté	m3	70 000	0,00	0
307.2.2	Béton armé pour semelles	m3	110 000	0,00	0
307.2.3	Béton armé pour amorces poteaux	m3	115 000	0,00	0
307.2.4	Béton armé pour longrine	m3	115 000	0,00	0
307.2.5	Béton armé pour poteaux	m3	115 000	0,00	0
307.2.6	Béton armé pour chaînage	m3	110 000	0,00	0
307.2.7	Béton légèrement armé pour dallage au sol	m3	90 000	0,00	0
307.2.8	Construction de caniveaux complets de dimensions intérieures 70cmx50cm avec couvertures en grilles en acier inox et conformément aux plans guides et toutes sujétions	ml	50 000	0,00	0
307.2.9	Construction d'un massif pour fût d'hypochlorites de calcium en béton armé, y compris chape de finition et toutes sujétions	m3	105 000	0,00	0
307.2.10	Construction d'un massif pour poste de dosage en béton armé, y compris chape de finition et toutes sujétions	m3	105 000	0,00	0

	Construction d'un regard pour la soupage de charge	u	2		
	Construction d'un rega'rd de vidange de chlore	u	23		
307.3	**MACONNERIE**				
307.3.1	Mur de soubassement en agglomérés ciment pleins de 20x20x40	m²	7 500	0,00	0
307.3.2	Mur d'élévation en agglomérés ciment creux de 15x20x40	m²	6 000	0,00	0
307.3.3	Enduit vertical intérieur et extérieur	m²	3 000	0,00	0
307.3.4	Chape lisse au sol	m²	5 000	0,00	0
307.3.5	Constructions de marches en agglomérés ciments, y compris chape et toutes sujétions	m3	40 000	0,00	0
307.3.6	Construction d'un puits perdu complet de 0,8m de diamètre et 1,5m de profondeur conformément aux plans guides et toutes sujétions	u	350 000	0,00	0
307.3.7	Fourniture et pose de bordures de 20cm de hauteur	ml	5 500	0,00	0
307.3.8	Fourniture et pose de gravier	m3	22 500	0,00	0
307.4	**MENUISERIE**				
307.4.1	Toiture avec couverture en bac alu et charpente en bois rouge traité et toutes sujétions	m²	10 500	0,00	0
	Toiture avec couverture en bac alu et charpente métallique et toutes sujétions	m²	2	-	-
307.4.2	Fourniture et pose de portes métalliques de 1mx2m en fer forgé, y compris peinture et toutes sujétions	u	350 000	0,00	0
307.4.3	Fourniture et pose de fenêtres 120cmx120cm en lame naco, y compris châssis en aluminium, peinture et toutes sujétions	u	125 000	0,00	0
307.5	**PEINTURE**				
307.5.1	Peinture à huile à l'extérieur	m²	3 000	0,00	0
307.5.2	Peinture à la chaux à l'intérieur	m²	2 500	0,00	0
TOTAL EN FCFA HORS TVA					**133 236 712**
TVA (18%)					**23 982 608**
TOTAL TTC					**157 219 320**

ANNEXE 4 : Notice d'impact environnemental et social

INTRODUCTION

La présente étude d'impact environnemental et social (EIES) s'inscrit dans le cadre du projet de construction d'un château d'eau tronconique de 300 m³ destiné à l'amélioration de l'accès à l'eau potable dans la ville de Gleï. Elle vise l'identification, l'analyse et la gestion des impacts potentiels liés à la construction et à l'exploitation de l'ouvrage

I- CADRE POLITIQUE, JURIDIQUE ET INSTITUTIONNEL

Le projet s'inscrit dans le respect des textes suivants :

- Loi n°2008-005 portant loi-cadre sur l'environnement au Togo.
- Décret n°2011-044/PR-MEEDD relatif aux procédures d'EIES.
- Code de l'eau (Loi n°2010-006).

Les institutions concernées incluent l'ANGE, le MEEDD, la mairie de Gleï, et les autorités traditionnelles.

II- DESCRIPTION DU PROJET

Le château d'eau d'une capacité de 300 m³projeté comporte :

- Une cuve tronconique sur tour en béton armé avec coupole de 2 m de flèche.

- Des plateformes métalliques et un système d'accès sécurisé.

- Une clôture périphérique et un aménagement de drainage.

III- MPACTS DU PROJET SUR LES DIFFERENTS DOMAINES DE L'ENVIRONNEMENT

1. Méthodologie

1.1- État initial de l'environnement

L'environnement physique, biologique et humain de Gleï présente :

- Un climat tropical humide.

- Des sols latéritiques, notamment une couche latéritique à 3 m.

- Une végétation de savane arborée.

- Une population majoritairement agricole.

1.2- Identification et analyse des impacts

Les impacts positifs incluent la création d'emplois, l'amélioration de l'accès à l'eau potable et le renforcement du développement local. Les impacts négatifs concernent la poussière, le bruit, les risques d'accidents, la pollution potentielle du sol, et les déchets durant la construction, ainsi que des risques de fuite et de contamination en phase d'exploitation.

1.3- Mesures d'atténuation

- Arrosage des pistes pour réduire les poussières, Aire étanche et kit anti-pollution

- Équipements de Protection Individuelle (EPI).

- Travaux bruyants limités à 7h–17h.

- Maintenance régulière du château d'eau.

1.4- Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES)

Le PGES inclut les mesures environnementales et sociales, les indicateurs, les coûts estimatifs ainsi que les responsabilités (entreprise, mairie, ANGE).

Tableau 1 : PGES – Mesures de gestion

Impact	Mesures	Responsable	Indicateurs	Fréquence
Poussière	Arrosage des pistes	Entreprise	Réduction visible	Quotidien
Pollution sol	Aire hydrocarbures + kit	Entreprise	Absence de fuites	Hebdomadaire
Déchets	Tri et collecte	Entreprise	Site propre	Bi-hebdomadaire
Sécurité	EPI + formation/sensibilisations	Entreprise	Zéro accident grave	Permanent
Fuite cuve	Maintenance	Service Eau/ comité Eau	Contrôles réguliers	Annuel

1.5- Consultations publiques

Des rencontres ont eu lieu avec la mairie, les chefs traditionnels et les populations. Leurs préoccupations concernent la sécurité, le bruit, la poussière et l'emploi local.

1.6- Analyse des alternatives

Trois alternatives ont été étudiées :

- Alternative de site.

- Alternative technique.

- Scénario sans projet, défavorable à l'accès à l'eau potable.

1.7- Conclusion

Le projet est jugé acceptable d'un point de vue environnemental et social. Les impacts négatifs sont maîtrisables et les impacts positifs importants présentent des avantages pour la localité de Gleï.

2. Principaux enjeux environnementaux et sociaux du sous-projet

De l'analyse de l'état de référence de l'environnement de la zone du projet découlent, pour chacune des composantes pertinentes de l'environnement, les principaux enjeux environnementaux et sociaux du territoire. L'identification de ces enjeux a été faite en faisant recours d'une part, aux éléments de sensibilité du milieu d'insertion du projet et d'autre part, aux préoccupations soulevées par les parties prenantes lors des consultations publiques. Les enjeux environnementaux et sociaux du présent projet ont été également appréhendés au regard des grands objectifs environnementaux repris par les principales politiques environnementales internationales et nationales. Les principaux enjeux identifiés sont les suivants.

2.1- Les enjeux environnementaux

- Préservation de la qualité de l'air et de l'ambiance sonore : Les travaux de terrassement, l'exploitation des emprunts, la circulation vont occasionner l'envol de la poussière contribuant à la dégradation de la qualité de l'air. Il en sera de même de l'ambiance sonore.

  En phase d'exploitation, l'utilisation incontrôlée et non entretien de l'ouvrage

vont occasionner la dégradation de la qualité de l'air dans les concessions voisines du site de réalisation du château.

- Préservation de la qualité et de la quantité des ressources en eau : En phase de travaux, les besoins en eau de chantier restent modérés. Mais une mauvaise gestion des déchets de chantier va altérer la qualité des eaux de surface et aussi bien des eaux souterraines. La préoccupation est d'autant plus fondée pour les eaux souterraines. En phase d'exploitation, l'utilisation incontrôlée des objets non biodégradables et la mauvaise gestion des emballages et résidus pourront être à l'origine de la pollution.
- Préservation de la qualité des sols : En phase des travaux, la mauvaise gestion des déchets de chantier (huiles usées) peut occasionner la pollution du sol. En phase d'exploitation, l'utilisation incontrôlée et la mauvaise gestion des emballages et résidus pourront être à l'origine de la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines.
- Protection de la flore, de la faune et de son habitat : La destruction de végétation aura pour corollaire la destruction de l'habitat faunique. La préservation des espèces végétales constitue dont un enjeu important au regard de la valorisation socioéconomique et environnementale qu'en font les populations locales.
- Gestion des déchets : L'exécution du chantier de château va occasionner la production de déchets : rebus de chantier, emballages divers, ordures ménagères, huiles usées. Mal gérés, ces déchets vont occasionner la pollution du milieu naturel. En phase d'exploitation, en l'absence d'une gestion écologique des emballages, il s'en suivra une pollution des écosystèmes.

2.2- Les enjeux sociaux

Les principaux enjeux au plan socioéconomique et humain liés à la réalisation d'un château d'eau se présentent comme suit :

- La contribution à la mobilisation des ressources en eau pour la consommation est un enjeu capital pour le rojet.

- La protection du plan d'eau contre la pollution : Protéger le château d'eau et ses alentours contre toute forme de dégradation est un enjeu capital.
- La protection de la santé et de la sécurité des populations et des travailleurs : En phase de réalisation, les populations riveraines du site de l'ouvrage et les travailleurs seront exposés aux risques d'accidents (collision, chute, blessures) et de nuisances diverses pouvant impacter négativement sur leur santé. Il est aussi à craindre la propagation des IST/VIH et des grossesses non désirées. La protection des travailleurs et des populations aussi en phase de réalisation /exploitation est un enjeu important.
- L'indemnisation/compensation des PAP : La réalisation du projet va entrainer la perte de terres, d'arbres principalement. La compensation/indemnisation juste et équitable de ces PAPs est un enjeu majeur du sous-projet. Recrutement de la main-d'œuvre locale pendant les travaux.

La réalisation des travaux sur site du château va mobiliser une importante main d'œuvre. Le recrutement des jeunes de la zone pour la main-d'œuvre de chantier est un enjeu important. En phase d'exploitation, l'intensification de l'entretien et maintenance autour du l'ouvrage va occasionner la création d'emplois saisonniers.

- Prévention des cas de VBG, VCE, EAS/HS : Prévenir les cas de VBG, VCE, EAS/HS ou le cas échéant bien gérer ces cas sont des enjeux majeurs.

3. Evaluation des impacts environnementaux et sociaux du projet

3.1- Identification

3.1.1- Identification des activités sources d'impacts

Les sources d'impacts correspondent aux éléments du projet (ouvrages, travaux ou activités) qui sont susceptibles d'avoir une incidence sur l'homme et son environnement. Elles sont définies à partir de la connaissance des caractéristiques techniques du projet et des méthodes de travail retenues pour réaliser chacune des activités. Les sources d'impacts du projet ont été identifiées suivant les phases du projet à savoir la préparation/construction, l'exploitation et d'entretien et de fermeture.

Les principales sources d'impacts du projet sont indiquées dans le tableau ci-après.

Tableau 2 : Principales sources d'impacts du sous- projet

Phase du sous-projet	***Activités sources d'impacts***
Phase de préparation	- *L'installation de chantier (amené des engins, matériels…) ;* - *La libération /nettoyage de l'emprise du château d'eau ;* - *Récolte et transport des agrégats ;* - *Apport des matériaux sur le site de stockage* - *Le recrutement de la main d'œuvre/employés ;* - *Transport et circulation des engins*
Phase de réalisation	- *Recrutement de la main-d'œuvre locale* - *Présence des travailleurs sur le chantier et les bases ;* - *Travaux de terrassement, fouilles déblai et remblais ; - Construction des ouvrages accessoires* *-Circulation des véhicules* - *Entretien des engins et équipement de chantier*
Phase de fermeture des bases	*- Remise en état du site des bases (base-vie, base matérielle)* *- Réalisation des zones d'activités* *- Gestion des déchets* *- Recrutement de main-d'œuvre* *- Repli de chantier Source*

3.1.2- Les récepteurs d'impacts

La mise en relation entre les activités et interventions du projet avec les composantes pertinentes du milieu d'insertion a permis d'identifier les impacts du projet. Le tableau ci-après donne les récepteurs d'impacts dans le cadre du projet.

Tableau3: Récepteurs d'impacts dans le cadre du sous-projet

Milieu	*Récepteurs*
Biophysique	- *Qualité de l'air* - *Ambiance sonore et vibrations* - *Qualité et quantité de l'eau* - *Structure et qualité des sols* - *Végétation* - *Faune*
Socio-économique	- *Terres agricoles* - *Santé-Sécurité des populations* - *Santé-Sécurité des travailleurs* - *Biens privés et communautaires* - *Revenu des producteurs* - *Conditions de vie des populations* - *Economie locale* - *Emplois et services* - *Cohésion sociale et conflits* - *Paysage* - *Sites et lieux sacrés* - *Autosuffisance en eau potable*

	- *Capacités des producteurs* - *Personnes vulnérables*

3.1.3- Critères d'appréciation et de qualification des impacts

Cette étape consiste à présenter les critères d'appréciation des impacts significatifs sur la base de paramètres qualitatifs (intensité, étendue et durée). Ces derniers sont agrégés en un indicateur synthèse qui est l'importance absolue de l'impact ou sa signification. Il est important de mentionner que l'évaluation d'un impact procède inéluctablement par un jugement de valeur.

Tableau 4 : *Critères d'appréciation des impacts*

Critères d'appréciation des impacts		***Qualification des critères d'appréciation des impacts***
Qualité ou nature de l'impact		- ***Bénéfique ou positif*** *: améliore l'élément du milieu touché par les travaux ;* - ***Dommageable ou négatif*** *: est à l'origine ou contribue à la détérioration de la composante du milieu touché par le projet ;* - ***Sans objet :*** *aucun impact ou possible mais difficile à quantifier sans étude approfondie.*
Intensité de l'impact		- ***Mineure ou faible*** *: impact provoquant de faibles perturbations sur une composante et ne remettant pas en cause son utilisation, ses caractéristiques et sa qualité ;* - ***Moyenne ou non négligeable*** *: impact générant des perturbations d'une composante touchée en modifiant son utilisation, ses caractéristiques ou sa qualité ;*

		- ***Majeure ou forte*** *: impact engendrant des perturbations d'une composante touchée en modifiant fortement son utilisation, ses caractéristiques ou sa qualité.*
Portée de l'impact		- ***Ponctuelle*** *: impacts très localisés dans l'espace ;* - ***Locale*** *: impact affectant une population ou une zone plus étendue ;* - ***Régionale*** *: impact ayant des répercussions d'envergure régionale ou au-delà du territoire national*
Durée		- ***Temporaire ou court terme*** *: quelques jours, semaines ou mois* - ***Durable mais non permanent*** *: moyen terme*
		- ***Permanente*** *: impact à caractère irréversible, observé de manière définitive ou très long terme*
Importance absolue de l'impact		- ***Impact majeur*** - ***Impact moyen ou significatif*** - ***Impact mineur***

Intensité	Étendue	Durée	Importance absolue de l'impact		
			Majeure	Moyenne	Mineure
Forte	Régionale	Longue			
		Moyenne			
		Courte			
	Locale	Longue			
		Moyenne			
		Courte			
	Ponctuelle	Longue			
		Moyenne			
		Courte			
Moyenne	Régionale	Longue			
		Moyenne			
		Courte			
	Locale	Longue			
		Moyenne			
		Courte			
	Ponctuelle	Longue			
		Moyenne			
		Courte			
Faible	Régionale	Longue			
		Moyenne			
		Courte			
	Locale	Longue			
		Moyenne			
		Courte			
	Ponctuelle	Longue			
		Moyenne			
		Courte			

Source : adapté de Fecteau (1997).

Figure : Grille de détermination de l'importance absolue de l'impact

3.2 Analyse et évaluation des impacts potentiels du sous-projet

Le point suivant présente l'analyse des impacts du projet sur le milieu physique, biologique et humain en phase de préparation / réalisation, d'exploitation/entretien et de fermeture. Pour chaque composante environnementale analysée et pour chaque phase du projet, l'évaluation est présentée comme suit :

- Déclaration d'impact ;
- Sources d'impact ;
- Évaluation de l'impact ;

3.2.1- Impacts sur le milieu physique

Tableau 5 : Analyse et évaluation des impacts sur le milieu physique

Source d'impact	***Impact***	***Critère***				***Importance absolue***
		Nature	***Durée***	***Etendue***	***Intensité***	
Travaux de terrassement, Fonctionnement / Circulation des engins,	*Dégradation de la qualité de l'air*	*Impact négatif*	*Courte*	*Locale*	*Faible*	*Mineure*
Fonctionnement des engins motorisés (Bétonnière …)	*Altération de la qualité du milieu sonore et vibrations*	*Négatif*	*Courte*	*Locale*	*Moyenne*	*Moyenne*
Présence de grandes quantités de déchets de diverses sortes Déversement accidentel de polluants	*Pollution des eaux*	*Négatif*	*Courte*	*Locale*	*Moyenne*	*Moyenne*
Travaux de terrassement, Circulation des engins	*Modification des propriétés physiques et chimiques des sols*	*Négatif*	*Longue*	*Locale*	*Faible*	*Moyenne*

	Érosion des sols /Tassement des sols	*Négatif*	*Longue*	*Locale*	*Faible*	*Moyenne*
Déversement des hydrocarbures, effluents liquides, Mauvaise gestion des déchets	*Pollution des sols*	*Négatif*	*Longue*	*Ponctuel le*	*Moyenne*	*Moyenne*

3.2.2- Impacts sur le milieu humain

Tableau 6: Analyse et évaluation des impacts sur le milieu humain

Source d'impact	***Impact***		***Critère***				***Importance absolue***
			Nature	***Durée***	***Etendue***	***Intensité***	
Présence des travailleurs	*Accroissement des actes de braconnage*		*Impact négatif*	*Courte*	*Locale*	*Faible*	*Mineure*
	Présence des travailleurs		*Impact négatif*	*Courte*	*Locale*	*Faible*	*Mineure*

Operations de décapage de l'emprise du réservoir	*Destruction de l'habitat faunique/migration de la faune*		*Négatif*	*Longue*	*Locale*	*Faible*	*Moyenne*
	Perturbation de la quiétude de faune		*Négatif*	*Court e*	*Locale*	*Faible*	*Mineure*

3.2.3 Impacts sur la Santé-Sécurité et circulation des populations riveraines et des travailleurs

Tableau7: Analyse et évaluation des impacts sur la Santé-Sécurité et circulation des populations riveraines et des travailleurs

Source d'impact	***Impact***	***Critère***				***Importance absolue***
		Nature	***Durée***	***Etendue***	***Intensité***	
Présence d'une main d'œuvre juvénile Présence de nombreux employés sur le Chantier et dans les bases vie	*Propagation des IST et du VIH, du Paludisme, des hépatites,*	*Impact négatif*	*Longue*	*Locale*	*Faible*	*Moyenne*
Envol de poussière Présence de polluants atmosphérique dans l'air	*Recrudescence de maladies respiratoires et oculaire*	*Négatif*	*Moyenne*	*Locale*	*Faible*	*Moyenne*
Réalisation du château de l'ouvrage hydraulique Transport des agrégats	*Blessures physiques, nuisances (sonore, vibration)*	*Négatif*	*Moyenne*	*Locale*	*Faible*	*Moyenne*
	Risques d'accidents de circulation	*Négatif*	*Moyenne*	*Locale*	*Faible*	*Mineure*

Travaux de réalisation du château	*Perturbation du trafic*	*Négatif*	*Courte*	*Locale*	*Majeure*	*Moyenne*

3.2.4 Impacts sur les activités économiques (Tableau 8)

Source d'impact	***Impact***	***Critère***				***Importance absolue***
		Nature	***Durée***	***Etendue***	***Intensité***	
Recrutement de la main d'œuvre	*Création d'emplois* *Accroissement des compétences des ouvriers*	*Impact positif*	*Moyenne*	*Locale*	*Moyenne*	*Moyenne*
Développement des AGR	*Création d'emplois* *Accroissement de la productivité*	*Positif*	*Longue*	*Locale*	*Forte*	*Majeure*

4. Identification des risques potentiels associés au projet

Les chantiers de réalisation des infrastructures socioéconomiques, de par la nature et la diversité de leurs activités sont générateurs de risques pour la santé et la sécurité des travailleurs et des populations riveraines et de l'environnement. En effet pendant les phases de préparation de réalisation, de fonctionnement et d'entretien, les risques sur l'Homme et son environnement sont omniprésents. L'analyse des risques vise à recenser de façon exhaustive les situations dangereuses dans l'optique de maîtriser ou de prévenir les accidents potentiels aux conséquences significatives.

4.1- Méthodologie de l'analyse des dangers et des risques

Les impacts positifs incluent la création d'emplois, l'amélioration de l'accès à l'eau potable, et le renforcement du développement local. Les impacts négatifs concernent la poussière, le bruit, les risques d'accidents, la pollution potentielle du sol, et les déchets durant la construction, ainsi que des risques de fuite et de contamination en phase d'exploitation.

4.2- Identification et des risques

Les activités du projet de réalisation du château d'eau de 300m^3 nécessitent enfin de compte la remise en état des zones d'activités des travaux. A chacune de ces étapes, ces activités peuvent occasionner des risques et dangers pour l'Homme et son environnement. Les paragraphes qui suivent indiquent les risques et dangers potentiels des activités du projet de réalisation du château d'eau de 300m^3 dans la commune de Glei.

L'identification des risques est faite dans le tableau ci-dessous.

Tableau 9 : Risques et dangers potentiels des activités du projet

Phase du sous-projet	***Activités sources de dangers et de risques***	***Risques potentiels identifiés***
Phase de préparation	- *Libération des emprises* - *Installation des bases chantiers/ bases vie et des sites d'entreposage des matériaux*	- *Risque de conflit* - *Risque d'apparition de maladies respiratoires liées à la poussière* - *Risque d'accident de circulation* - *Risque de pollution de l'air* - *Risque de déversement accidentel d'agrégats* - *Risque d'incendie* - *Risques liés à l'insécurité*

Phase de réalisation	- *Terrassement* - *Réalisation des fouilles* - *Transport et circulation des camions* - *Prélèvement de l'eau* - *Entretien du matériel, vidange, approvisionnement en carburant.* - *Recrutement de la main d'œuvre locale - Présence de travailleurs sur le chantier et dans les bases vies* - *Remise en état des sites/Élimination des déchets* - *Repli de chantier*	- *Risque lié à la manutention manuelle ou mécanisée* - *Risque d'accident de circulation ;* - *Risque d'incendie* - *Risque de chute et de blessure dans les fouilles* - *Risque de collision d'animaux domestiques* - *Risque lié au bruit et aux vibrations ; - Risque de dégradation de la qualité de l'air* - *Risque de dégradation de la végétation et de l'habitat faunique* - *Risque de transmission des IST, de VIH-SIDA et d'autres maladies transmissibles* - *Risque de grossesses non désirées* - *Risque de pollution des eaux, et des sols par les résidus de chantiers* - *Risque de pollution des eaux par les motopompes* - *Risque d'explosion /d'incendie* - *Déversement accidentel de produits chimiques (Hydrocarbures,)* - *Risque de prolifération de déchets*

		- Risques de VBG/EAS/HS *- Risque d'atteinte au patrimoine culturel* *- Risques liés à l'insécurité* *- Risque de conflit*
Phase de fermeture des bases	*- Mise en service du château* *- Entretien périodique de l'ouvrage et* *Connexes* *- Recrutement de main-d'œuvre* *- Gestion des déchets*	*- Risque de pollution de l'air, des eaux et des sols par les résidus et déchets* *- Risque de propagation des IST/VIH* *- Risque de prolifération d'insectes vecteurs de maladie (anophèle) dû aux eaux usées* *- Risque d'AES/HS et de VBG/VCE* *- Risque d'accident/incident lors de maintenance et entretien* *- - Risque de pollution de l'eau* *- Risques liés à l'insécurité*

4.3 Evaluation des risques

Les impacts positifs incluent la création d'emplois, l'amélioration de l'accès à l'eau potable, et le renforcement du développement local.Les impacts négatifs concernent la poussière, le bruit, les risques d'accidents, la pollution potentielle du sol, et les déchets durant la construction, ainsi que des risques de fuite et de contamination en phase d'exploitation.

V. PLAN DE GESTION ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE (PGES)

1. Objectif du PGES

Elle vise l'identification, l'analyse et la gestion des impacts potentiels liés à la construction et à l'exploitation de l'ouvrage

2. Arrangements institutionnels pour la mise en œuvre et le suivi PGES

Pour la mise en œuvre et le suivi de PGES, les textes et institutions suivants restent en vigueur. Il s'agit de :

- Loi n°2008-005 portant loi-cadre sur l'environnement au Togo.
- Décret n°2011-044/PR-MEEDD relatif aux procédures d'EIES.
- Code de l'eau (Loi n°2010-006).

Les institutions concernées incluent l'ANGE, le MEEDD, la mairie de Gleï, et les autorités traditionnelles

4.Programme de mise en œuvre des mesures d'atténuation, de compensation et de bonification

Tableau 9: Programme de mise en œuvre des mesures d'atténuation, de compensation et de bonification

N°	***Récepteur***	***Impact***	***Action environnementale à mener***	***Objectif de l'action***	***Tâches de l'action***	***Acteurs de l'action***	***Acteur de suivi***	***Lieu de mise en œuvre***	***Coût de mise en œuvre***	***Calendrier***	***Indicateur de suivi***
1	*Qualité de l'air*	*Dégradation de la qualité de l'air*	*- Arroser périodiquement les voies d'accès, d'emprunt et de déviation* *- Assurer une maintenance régulière des engins de chantier*	*- Minimiser la pollution de l'air*	*-Arrosage Périodique* *- Entretien des engins*	*Entreprise en charge des travaux*	*UGP SSES*		*Inclus dans le contrat de l'entreprise*	*Avant et Pendant la construction*	*- Nombre d'arrosage/jour* *- Cahier de bord des carnets de visite technique du véhicule*

2	*Ambiance sonore et vibrations*	*Altération de la qualité du milieu sonore et vibrations*	*Réaliser les travaux occasionnant beaucoup de bruits hors des heures de repos à la traversée des agglomérations Recommander l'utilisation*	*- Minimiser les nuisances sonores*	*-Planification et réalisation des activités à la traversée des agglomérations hors des heures de repos*	*Entreprise en charge des travaux*	*UGP SSES, ANGE*		*Inclus dans le coût de mesure de la qualité de l'air*	*Avant le début des travaux et pendant*	*Nombre de plaintes lié aux nuisances sonores enregistrées*
			des engins moins bruyants		*- Location des engins moins bruyants*					*les travaux*	

3	*Eau*	*Pollution des eaux*	*-Aménager les aires de stockage des produits toxiques,* *- Utiliser des bacs pour vidanger les huiles à la base de l'entreprise,* *-Récupérer et acheminer les produits de vidange vers une station agréée pour un éventuel recyclage*	*- Eviter la pollution des eaux de surfaces*	*- Créer les aires de stockage des* *produits succeptibles de polluer* *- Installer des bacs de vidange des huiles* *- Traiter les produits de vidange*	*Entreprise en charge des travaux*			*PM*	*Pendant la construction*	*- Le nombre des aires de* *Stockage créé*
4	*Sol*	*Pollution des sols*	*- Limiter au strict minimum les superficies à décaper et à compacter* *dans les aires de travaux,* *afin de réduire les risques* *d'érosion ;*	*- Minimiser la pollution des sols*	*-Proscrire les mauvaises pratiques le coffrage qui* *consiste à induire la surface des planches avec des*	*Entreprise en charge des travaux*	*UGP, ANGE*		*Inclus dans le contrat de l'entreprise*	*Pendant la construction*	*Existence et fonctionnement d'un plan de* *remise en état des sols, d'un système de collecte et des*

					huiles usées pour les rendre lisses. *-Mettre en place un système approprié de gestion des* *déchets liquides* *(fuites incontrôlées d'huiles et* *d'hydrocarbures) et déchets solides* *générés durant les travaux,* *-Mettre en place un système de collecte des déchets et* *aménager des lieux* *destinés à recevoir ces déchets*						*dépotoirs de déchets*

5	*Travailleurs*	*Présence des*	*-Enregistrer et traiter toutes les réclamations*	*-Eviter les conflits*	*- Sensibilisation* *- Elaborer et mettre en œuvre un*	*Entreprise en charge*	*UGP* *SSES ;* *Mairies*			*Pendant la phase de*	*Nombre de conflits enregistrés*

		travailleurs	*liées au déplacement involontaire ;* *-Appliquer le mécanisme de gestion des conflits* *avec les populations locales ;* *-Prioriser les entreprises locales dans la soustraitance pour la* *réalisation de certains travaux ;* *-Privilégier la main d'œuvre locale à* *compétences égales pour les emplois qualifiés ;* *-Adapter des bonnes conduites de façon à ne pas porter atteinte aux meurs des communautés*		*mécanisme de gestion des plaintes*	*des travaux*				*construction*	

6	*Santé des communautés*	*Propagation des IST et du VIH, du paludisme, des hépatites*	*-Sensibiliser les ouvriers venus d'ailleurs sur les mœurs ; -Réaliser des IEC sur les IST, VIH/Sida, les grossesses indésirées ; -Equiper le personnel en EPI ; Mettre en place un kit santé/boite à pharmacie pour les premiers soins en cas de maladies ou accidents avant transfert/évacuation ;*	*-Assurer la sécurité et la santé des travailleurs et de la communauté*	*-Sensibilisation - Distribution des EPI - Mise en place d'un Kit santé/boite*	*Entreprise; Sous-traitant*	*UGP SSES; Mairies*		*Inclus dans le contrat de l'entreprise*	*Pendant la construction et la fermeture des emprunts, des bases vies*	*Nombre de séances de sensibilisation ; Présence du kit de premier secours*

7	*Circulation routière*	*Perturbation De la circulation*	*-Sensibiliser les populations sur le risque d'accidents/incidents sur le chantier* *-Opérer un plan de gestion de la circulation au niveau du site de château* *-Signaler les travaux*	*- Minimiser les accidents de la circulation*	*-Prévoir une mesure idoine*	*Entreprise en charge des travaux*		*Mairie*	*Inclus dans le contrat de l'entreprise*	*Avant et Pendant la construction*	*- Taux de satisfaction des utilisateurs*

4.Autres plans complémentaires

Formation du comité de gestion du château et les sensibilisations permanentes pour les entretiens, maintenance et veille sont aussi nécessaires.

5.Programme de suivi et de surveillance du PGES

5.1 Programme de surveillance environnementale et sociale

La surveillance environnementale et sociale a pour objectif de s'assurer que le promoteur respecte ses engagements et ses obligations de prise en compte de l'environnement et d'application des mesures envisagées dans l'étude. Elle vise à s'assurer également que les mesures d'atténuation et de bonification sont mises en œuvre, qu'elles produisent les résultats escomptés ; ou si elles s'avèrent inadéquates qu'elles puissent être modifiées, interrompues ou remplacées. La surveillance environnementale et sociale permet de :

Vérifier l'intégration, dans les plans et devis et le cahier des charges, de l'ensemble des mesures de gestion proposées dans le PGES, les Clauses particulières d'environnement et les obligations contractuelles en matière environnementale et sociale qui découleront de l'obtention du permis environnemental ;

Veiller au respect des lois, des règlements et de toute autre considération environnementale et sociale durant les travaux ;

S'assurer du respect de l'ensemble des mesures de gestion, des clauses particulières d'environnement et des engagements pris par le promoteur dans le cadre du projet et de proposer, le cas échéant, toute mesure corrective. La surveillance environnementale et sociale devra être effectuée par le Maître d'œuvre. Ce dernier veillera à ce que les éléments relatifs à l'environnement et à la sécurité soient consignés dans les PV de chantier et les PV de réception provisoire.

Pendant la phase de construction, l'ingénieur conseil chargé de la supervision des travaux sur le chantier devra prendre attache avec un responsable en environnement qui aura comme principales missions de :

Faire respecter toutes les mesures d'atténuations courantes et particulières du projet

;

Rappeler aux entrepreneurs leurs obligations en matière environnementale et sociale et s'assurer que celles-ci sont respectées lors de la période de construction ;

Rédiger des rapports de surveillance environnementale tout au long des travaux ;

Inspecter les travaux et demander les correctifs appropriés le cas échéant ;

Rédiger le compte-rendu final du programme de surveillance environnementale et sociale.

De plus, il pourra jouer le rôle d'interface entre les populations riveraines et les entrepreneurs en cas de plaintes. Le programme de surveillance environnementale et sociale est donné par la matrice ci-après.

Le tableau 10 suivant présente les mesures relatives à la surveillance environnementale et sociale.

Le coût global du programme de surveillance est intégré dans les coûts de mise en œuvre du projet.

NNEMENTAL ET SOCIAL (NIES)

Tableau 10: Programme de surveillance environnementale et sociale

Objets de la surveillance	***Aspects de surveillance***	***Calendrier***	***Responsables***	***Indicateurs***	***Coût (FCFA)***
Inspection lors du démarrage des travaux					
État de référence	*Mise en œuvre du Programme de travail*	*Première semaine des travaux*	*Entreprise* *Ingénieur de supervision/contrôle*	*Rapport de suivi*	*Inclus dans les coûts d'opération*
	Revue des résultats	*Dès la réception des résultats*	*PSE-TOGO* *Ingénieur de supervision/contrôle*	*Rapport de suivi*	*Inclus dans le coût des travaux*
Installations du chantier.	*Mise en œuvre des spécifications du Programme de travail, des* *Clauses particulières d'environnement et du*	*Au démarrage des travaux*	*Entrepreneur*	*Rapport de mise en œuvre*	*Inclus dans les coûts d'opération*

	PGES				
Conformité des installations du chantier	*Vérification de la conformité du Programme de travail et des autres aspects exigés dans les Clauses particulières d'environnement et le* *PGES (notamment : registre de la main d'œuvre employée sur le chantier indiquant le lieu de résidence et le sexe ; Boite de* *Pharmacie de premiers soins sur le site ; etc.)*	*Au démarrage des travaux*	*PSE-TOGO* *Ingénieur de supervision/contrôle* *ANGE/service déconcentré*	*Présence de nonconformité*	*Inclus dans les coûts d'opération*
Vérification au cours de la réalisation des travaux					

NOTICE D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL ET SOCIAL (NIES)

Déroulement des travaux	*Mise en œuvre des spécifications du Programme de travail, des Clauses particulières d'environnement et du PGES.*	*Durant les travaux*	*PSE-BF* *Ingénieur de supervision/contrôle* *Entreprise*	*Rapport de la mission de contrôle*	*Inclus dans le coût des travaux*
Conformité du déroulement des travaux.	*Vérification de la conformité de la mise en œuvre du Programme de travail et des autres aspects exigés dans les Clauses particulières d'environnement et le PGES (notamment : respect des horaires de travail ; nuisances causées par les poussières et le bruit ; avis de déversements accidentels fournis par l'entrepreneur ; maintien à jour du registre de la main d'œuvre; maintien en bon état des trousses de premiers soins sur le site; programme de sensibilisation sur le VIH-SIDA; conditions générales d'hygiène du campement ; etc.)*	*Durant les travaux*	*PSE-BF* *Ingénieur de supervision/contrôle* *ANEVE/service déconcentré*	*Rapport de la mission de contrôle*	*Inclus dans les coûts d'opération*
	Vérification à la fin des travaux				

Réception des travaux	*Inspection pour la réception des travaux, incluant le respect de l'ensemble des exigences d'environnement (notamment : état général de propreté des lieux ; absence de sols contaminés remise en état des voies d'accès et des voies publiques avoisinantes ; etc.).*	*À la fin des travaux, préalablement à l'acceptation des travaux*	*PSE-TOGO* *Ingénieur de supervision/contrôle* *ANGE/service déconcentré* *Comité de réception*	*Rapport de réception des travaux incluant la conformité environnementale*	*Inclus dans les coûts d'opération*

5.2 Programme de suivi environnemental et social

Le suivi environnemental et social consacre une veille sur les impacts prédits. Il permet de vérifier la justesse des prévisions et de mesurer les impacts réels du projet et d'évaluer l'efficacité des mesures d'atténuation et de compensation proposées. Le suivi peut amener le promoteur à réagir promptement à la défaillance d'une mesure d'atténuation ou à toute nouvelle perturbation du milieu par la mise en place des mesures plus appropriées ou de nouvelles mesures pour les impacts non prévus. Le programme de suivi environnemental et social s'appuie sur des indicateurs environnementaux et sociaux pour vérifier la conformité par rapport aux politiques nationales en vigueur et aux normes environnementales et sociales. Les différentes composantes importantes à suivre pour éviter que les activités du projet ne favorisent la production des impacts négatifs sur l'environnement sont développées ci-dessous.

- **Suivi des impacts sur le milieu biologique**

Les impacts potentiels sur le milieu biologique pourraient être suivis en réalisant des campagnes de surveillance et d'observations générales sur la faune et la flore. Ces campagnes seront effectuées par le Service environnement du PSE-TOGO et les institutions compétentes.

- **Relations avec les communautés et compensation**

Le PSE-TOGO s'engagent à maintenir de bonnes relations avec les communautés locales. L'équipe des sauvegardes environnementale et sociale, renforcée par les spécialistes en communication et en capital humain, sera directement responsable de la gestion des aspects relationnels avec les populations et se chargera de recevoir les plaintes du public relatives à l'environnement.

L'objectif principal du programme de compensation sera d'assurer que toutes les PAP qui perdent des biens sont compensées selon la règlementation nationale et selon. Le nom des personnes affectées, les biens perdus et les montants des compensations payés seront soigneusement consignés dans les accords de compensations dont une copie sera remise à chaque PAP.

Gestion des déchets

La réalisation d'un tel important ouvrage hydraulique, château de 300m^3 dans la localité de Gléi va sans nul doute générer des déchets. La gestion des déchets devra être confiée à l'entreprise chargée de l'exécution des travaux. Tous les aspects liés à leur gestion en phase exploitation seront suivis de près par le service communal en charge de l'environnement de la mairie dont relève la localité de Glei. L'entreprise tiendra un registre de données sur les quantités des déchets produits tout au long de la vie projet.

Les paramètres et fréquence de suivi

Les différents paramètres ainsi que les fréquences de suivi sont consignés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 11 : Programme de suivi environnemental et social

Composante environnementale	***Indicateurs de suivi***	***Fréquence***	***Méthodologie de suivi***	***Acteurs de suivi***	***Coûts de suivi (en CFA)***
Qualité de l'air	*Contrôle de la qualité de l'air, en particulier les particules (PM10, PM 5 et PM 2,5), CO2, NOx, COV, métaux lourds*	*Trimestrielle*	*Mesures qualitatives et quantitatives des rejets dans l'air*	*Laboratoire ANGE*	
Qualité des eaux	*Teneur de l'eau en POPs,*	*Trimestrielle*	*Mesures qualitatives des échantillons d'eau de surface*	*Laboratoire ANGE*	
Qualité du sol	*Structure (érosion, tassement) et qualité (traces d'hydrocarbures, Pops)*	*Trimestrielle*	*Mesures qualitatives*	*Laboratoire ANGE*	
PAP	*Nombre de plaintes enregistrées Niveau de satisfaction vis-à-vis des mesures de compensation*	*Mensuelle*	*Recueil des informations au niveau des PAP*	*PSE-TOGO PAP*	
Emplois	*Nombres d'emplois créés Pourcentage de jeunes*	*Mensuelle*	*Recueil des informations au niveau des populations Statistiques de l'entreprise*	*Riverains ANGE PSE-TOGO*	

Santé-sécurité	*Nombre d'accidents/incidents sur la digue* *Nombre de plaintes y compris celles liées au VBG/AES/HS* *Prévalence des IST/VIH, de Grossesses Non Désirées Taux de prévalence du paludisme et des maladies hydriques*	*Continue Annuelle*	*Statistiques de l'entreprise et de la MDC* *Recueil et traitement des données enregistrées par les Services de santé de la zone* *Recueil des informations au niveau des populations*	*Riverains* *ANGE* *PSE-TOGO*	
Cohésion sociale	*Nombre de plaintes y compris celles liées au VBG/AES/HS*	*Continu*	*Recueil des informations au niveau des populations*	*Riverains* *ANGE* *PSE-TOGO*	
Gestion des déchets	*Présence de tri et de valorisation/revalorisation/enlèvement*	*Mensuelle*	*Statistiques de l'entreprise,* *MDC*	*PSE-TOGO* *ANGE*	
Gestion des plaintes et des griefs	*Présence d'un MGP opérationnel Nombre de plaintes y compris celles liées au VBG/AES/HS*	*Continu*	*Recueil des informations au niveau des populations*	*Riverains* *ANGE* *PSE-TOGO*	
TOTAL					

6.Programme de renforcement des capacités

Les renforcements de capacité seront nécessaires si lors de suivi, il s'avère que les membres chargés de la gestion expriment le besoin.

7.Evaluation des risques potentiels du sous-projet et les mesures de gestion

Les mesures recommandées pour prévenir, limiter et maîtriser les risques liés aux travaux de La réalisation d'un tel important ouvrage hydraulique de château de 300m^3 dans la localité de Gléi seront intégrées aux mesures d'urgence conformément au contenu du plan des mesures d'urgence en particulier au Plan HSSE de l'entreprise, etc.

Le tableau ci-dessous montre l'évaluation des risques potentiels du sous-projet et ainsi que les mesures de gestion de ces risques.

Risques potentiels identifies	***Evaluation***			***Mesures de gestion du risque***
	Gravité	***Probabilité***	***Criticité***	
Phase de réalisation				
Risque de conflit	*3*	*3*	*9*	*Opérer le MGP du sous-projet*
Risque d'apparition de maladies respiratoires liées à l'envol de la poussière	*3*	*2*	*6*	*Doter les travailleurs d'EPI adaptés* *Sensibiliser les populations sur le risque de maladie liées à l'inhalation de la poussière Risque*
Risque d'accident de circulation	*3*	*3*	*9*	*Baliser les sites des travaux* *Limiter la vitesse à 30km/h dans les villages* *Sensibiliser les populations sur le risque d'acciden*
Risque lié à la manutention manuel ou mécanisée	*l 3*	*2*	*6*	*Sensibiliser les travailleurs sur le risque* *Doter les travailleurs en EPI*
Risque de blessure (piqure, encrassement d'organes)	*3*	*3*	*9*	*Doter les travailleurs d'EPI* *Sensibiliser les travailleurs sur le port effectif des EPI*
Risque de morsures d'animaux/ blessures par les matériels et matériaux sur le chantier	*3*	*3*	*9*	*Sensibiliser les travailleurs sur ce risque* *Doter les travailleurs d'EPI*

				Disposer d'un kit d'urgence contenant de la pierre noires
Risque de dégradation de la végétation et de l'habitat faunique	*3*	*2*	*6*	*Respecter les limites des emprises* *Epargner les espèces végétales qui sont en dehors des emprises*
Risque de transmission des IST, de VIH-SIDA et d'autres maladies transmissibles	*5*	*3*	*15*	*Sensibiliser les travailleurs sur le risque d'infection VIH et les IST* *Sensibiliser les travailleurs sur le risque de maladie à vecteur : paludisme, dingue* *Sensibiliser les travailleurs sur les bonnes pratiques en matière d'hygiène individuelle et collective*
Risque de pollution des eaux, et de sols par les déchets de chantiers	*3*	*3*	*9*	*Elaborer et mettre un plan d'action de gestion des déchets du chantier*
Risque d'interruption du chantier d fait des aléas sécuritaires	*3*	*2*	*6*	*Intégrer ce risque dans le planning général des activités*
Déversement accidentel de produit chimiques (hydrocarbures,)	*3*	*3*	*9*	*Sensibiliser les travailleurs sur le risque d'incendie* *Former le personnel à l'usage des matériels de contre les incendies*
Risques de VBG/EAS/HS	*4*	*4*	*16*	*Sensibiliser les travailleurs et les populations sur le risque* *Sanctionner sévèrement les auteurs d'actes de* *VBG/EAS/HS*
Phase d'exploitation et d'entretien				
Risque de dégradation prématurée du château et des ouvrages connexes suites à la survenue de phénomènes climatiqu extrêmes (pluies diluviennes)	*e 3* *e*	*3*	*9*	*Respecter les prescriptions techniques contenues dans le DAO*

Risque de prolifération de déchets d'emballages de pesticides chimiques autour du château d'eau	*3*	*3*	*9*	*Former les usagers sur les modalités de stockage et de gestion des d'emballages et de déchets*

8.Estimation du coût du PGES

Les coûts de mise en œuvre de PGES sont estimés sur la base des estimations des coûts des différentes rubriques du programme PGES comme suit :

Tableau12 : Estimation du coût du PGES

N°	***RUBRIQUES***	***MONTANTS (FCFA)***
1	*Mise en œuvre des mesures d'atténuation, de bonification et de compensation des impacts*	*2 751 800*
2	*Mise en œuvre du plan d'action de réinstallation*	*PM*
3	*Mise en œuvre du programme de surveillance environnemental et social*	*Inclus dans les coûts d'opération*
4	*Mise en œuvre du programme de suivi environnemental et social*	1 627 700
6	*Mise en œuvre du mécanisme de gestion des plaintes du PSE-BF*	*PM*
7	*Mise en œuvre du plan de réalisation et de fermeture*	*480 000*
	TOTAL	***4 859 500***

*Le coût global de PGES s'élève à **4 879 500FCFA**. Ce coût ne prend pas en compte celui de mise en œuvre.*

CONCLUSION

Cette notice d'impact environnemental et social (NIES) a fait une revue de la situation initiale de l'environnement. Ensuite, elle a permis d'identifier et d'évaluer les impacts environnementaux et sociaux potentiels du projet de réalisation du château de 300m^3 à Gléi. Ces différentes opérations ont porté aussi bien sur les aspects négatifs que sur les aspects positifs et ont par ailleurs concerné tant la phase d'installation du chantier, la phase des travaux que celle relative à la mise en service de l'ouvrage.

Aussi, un plan de gestion environnementale et sociale (PGES) a-t-il été élaboré afin de prendre en charge les différents impacts négatifs des composantes du projet. Ces mesures d'atténuation et de compensation visent à insérer le projet dans une logique de protection et de promotion de l'environnement et social, gage d'un développement durable.

Instrument privilégié pour la prise en compte de l'environnement dans la réalisation des travaux, cette notice d'impact sur l'environnement et le social est un document qui engage le porteur du projet à atténuer les conséquences néfastes des activités projetées sur les milieux biophysique et humain.