



CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR SEMI-  
ENTERRÉ EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ  
DANS SA MISE EN OEUVRE

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE  
**MASTER**

**SPECIALITÉ : Génie Civil – Bâtiment et Travaux Publics**

---

Présenté et soutenu publiquement le 24 Janvier 2025 par

**Mélissa MABA MBA**

**(N° d'inscription : 20210672)**

**Directeur de mémoire : Prof. Adamah MESSAN**, Enseignant - chercheur à l'Institut 2iE

**Maître de stage : Alex TAGOUKAM**, Ingénieur Génie rural, Directeur de projet GEC Sarl

Jury d'évaluation du stage :

Président : Prof. Daniel YAMEGUEU

Membres et correcteurs : Dr Decroly DJOUBISSIÉ DENOUWÉ

Dr Joseph WETHE

Promotion 2024-2025

## **DEDICACE**

**A mon feu papa Célestin MBA,**

Puisses-tu être fier de ce je suis et de ce que je serai par le biais de tes sacrifices.

## **REMERCIEMENTS**

Avant de commencer le développement de cette expérience professionnelle, il me paraît respectueux de remercier tout d'abord les personnes qui m'ont permis d'effectuer ce travail ainsi que ceux qui m'ont permis d'en faire un moment agréable et profitable.

Je rends grâce à **Dieu Tout Puissant**, pour son assistance durant ce stage.

Nous tenons également à remercier particulièrement :

- ◆ Le personnel administratif du 2iE pour tout leur enseignement et formation durant ces trois dernières années
- ◆ Nos enseignants pour tous leurs encouragements et encadrements durant l'année académique, plus particulièrement :
  - Dr **Decroly DJOUBISSIE DENOUWE**, enseignant-chercheur en structures de Génie Civil 2iE
  - Dr **Maramé GOMIS**, enseignante-chercheuse en matériaux de Génie Civil à 2iE
  - Pr **Abdou LAWANE**, enseignant-chercheur en structure de Génie Civil 2iE

Merci chaleureux au Pr **Adamah MESSAN** pour son soutien indéfectible au cours de l'élaboration de ce mémoire.

Merci à **Alex TAGOUKAM**, Ingénieur Génie rural et Directeur de projet de GEC Sarl ainsi qu'à tout le personnel de la société pour leurs soutiens et conseils durant la période de stage au sein du cabinet.

**Merci à toute la famille MBA** (Maman Alice, Willy, Éléonore, Lucrèce, Fabiola, Nelson et junior) pour leurs soutiens multiformes.

Merci continue et inconditionnel à ma famille précieuse et spéciale du Burkina Faso (Erico, Yann et Jeanie), pour l'accueil, l'amour, la considération et l'encouragement.

Merci à mes amis particuliers : Awa, Blondelle, Ismael et Nazifi.

**Merci à toute ma promotion Génie civil de 2iE.**

Merci à ma famille bien-aimée **Guy Clarck et Hansel charbel PAGUI**, le meilleur reste avenir. Et à tous ceux ou celles que j'ai oublié Merci !!!

## **RESUMÉ**

La province du Nord-Kivu fait face à un problème d'accès à l'eau potable des quartiers précaires de la ville de Goma. Malgré qu'elle soit dotée de ressources hydriques importantes, cette région peine à répondre aux besoins croissants de sa population en raison d'infrastructures insuffisantes et de tensions liées aux déplacements forcés provoqués par des conflits. Pour une amélioration des conditions de vie de la ville de Goma, l'UNICEF envisage la construction **d'un réservoir semi-enterré en béton armé de 2000 m<sup>3</sup>**. Les réservoirs d'eau sont des éléments essentiels pour la gestion de l'eau car ils servent principalement à stocker l'eau potable, constituant une réserve précieuse pour diverses utilisations. Ils permettent de réguler les débits des cours d'eau, prévenant ainsi les inondations et assurant un approvisionnement constant. Ces réservoirs sont indispensables pour l'alimentation en eau potable, l'irrigation agricole, la production d'énergie hydroélectrique, les activités récréatives et même la protection contre les incendies. Cette étude a avec pour objectif principal de concevoir et dimensionner un réservoir sur le Mont Goma, tout en analysant dans son intégralité l'étanchéité, en montrant son importance sur la durabilité de l'ouvrage. Elle a permis de déterminer les différentes charges pour évaluer les efforts et les contraintes sur chaque composante de l'ouvrage. Ensuite, de dimensionner l'ouvrage pour la détermination des sections d'aciers. Enfin, d'élaborer les plans d'exécutions. Nous avons aussi effectué une recension des écrits (revue de littérature) sur le sujet étudié, ce qui a permis d'évaluer l'importance de l'étanchéité dans le cycle de vie d'un ouvrage hydraulique. Sur la base des résultats issues des études préliminaires, il en ressort un réservoir semi-enterré en béton armé construit sur une pente raide suivant les normes BAEL 91 modifiée 99, le Fascicule 74 et le D.T.U 13.12. Afin de faciliter la mise en œuvre, nous avons opté pour un ferrailage en double nappe en HA16 pour le radier et les parois qui fonctionne en flexion composée. Des renforts sont prévus à la jonction de ces deux éléments. Soumis aux intempéries, La dalle de couverture portant dans deux sens est ferrailée en HA14 et les éléments secondaires sont ferrillés en HA 8. Le cout global des travaux est estimé à huit cent millions neuf cent dix-huit mille cinq cent soixante-quatre (800 918 564) de FCFA et la durée des travaux de huit (08) mois.

**Mots-clés :** Réservoir semi-enterré, béton armé, conception, dimensionnement, étanchéité.

## **ABSTRACT**

North Kivu Province faces a challenge in providing access to safe drinking water in the precarious neighborhoods of Goma City. Despite possessing significant water resources, this region struggles to meet the growing needs of its population due to insufficient infrastructure and tensions related to forced displacement caused by conflicts. To improve living conditions in Goma City, UNICEF is considering the construction of a 2,000 m<sup>3</sup> semi-underground reinforced concrete reservoir. Water reservoirs are essential elements for water management as they primarily serve to store drinking water, constituting a valuable reserve for various uses. They enable the regulation of river flows, thereby preventing floods and ensuring a constant supply. These reservoirs are indispensable for providing safe drinking water, agricultural irrigation, hydroelectric power generation, recreational activities, and even fire protection. This study aims to design and dimension a reservoir on Mount Goma, while thoroughly analyzing its watertightness and demonstrating its importance for the structure's durability. It determined the various loads to assess the forces and stresses on each component of the structure. Subsequently, the structure was dimensioned to determine the steel sections. Finally, execution plans were developed. A literature review on the subject was conducted, which assessed the significance of watertightness in the life cycle of a hydraulic structure. Based on the results of preliminary studies, a semi-underground reinforced concrete reservoir was constructed on a steep slope, complying with modified BAEL 91 99 standards, Booklet 74, and D.T.U 13.12. To facilitate implementation, double-layer reinforcement with HA16 steel was chosen for the base slab and walls, which function under combined bending. Reinforcements are planned at the junction of these two elements. Exposed to the elements, the two-way spanning roof slab is reinforced with HA14 steel, and the secondary elements are reinforced with HA8 steel. The overall cost of the project is estimated at eight hundred million nine hundred eighteen thousand five hundred sixty-four (800,918,564) FCFA, with a construction period of eight (08) months.

**Keywords:** Semi-underground reservoir, reinforced concrete, design, dimensioning, watertightness.

## **LISTE DES ABRÉVIATION**

ASD	Analysing Structural Detailing
BAEL	Béton Armé aux Etats Limites
D.T.U	Documents Techniques Unifiés
EIES	Étude d'Impact Environnemental et Social
ELS	Etat Limite de Service
UNICEF	Fond des Nations Unies pour l'Enfance
GE2A	Génie de l'Eau, de l'Assainissement et de l'Agriculture
GEC	Global Engineering Consulting
GET	Génie énergétique et technologique
GISE	Génie de l'Ingénierie Sociale et de l'Environnement
2iE	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
IO2A	Infrastructures, Ouvrages d'Art et Aménagement
MAIF	Management Appui Institutionnel et Formation
MICS	Multiple Indicator Cluster Surveys
NES	Normes Eenvironnementales et Sociales
ISO	Organisation Internationale de Normalisation
ODD	Objectifs de Développement Durable
RDC	République Démocratique du Congo
REGIDESO	Régie de Distribution d'Eau
SPT	Standard Pénétration Test

## SOMMAIRE

<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>LISTE DES ABRÉVIATION</b> .....	v
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	ix
<b>LISTES DES FIGURES</b> .....	x
<b>LISTES DES NOTATIONS</b> .....	xi
<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL, DE LA ZONE D'ETUDE ET DU PROJET</b> .....	3
I.1. Présentation générale de la structure.....	3
I.1.1. Historique et vision .....	3
I.1.2. Organisation de la structure d'accueil.....	3
I.1.3. Secteur d'activité .....	4
I.2. Présentation de la zone d'étude.....	6
I.3. Présentation du projet .....	7
I.3.1. Contexte .....	7
I.3.2. Justification .....	8
I.3.3. État des lieux .....	9
I.3.4. Hypothèses de base .....	13
<b>CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE D'APPROCHE DE L'ÉTUDE DE CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU RÉSERVOIR</b> .....	14
II.1. Collecte et analyse des données.....	14
II.2. Revue des études topographiques.....	14
II.3. Revue des études géotechniques.....	14
II.4. Revue des aspects environnementaux et sociaux .....	15
II.5. Analyse des hypothèses de conception et dimensionnement du réservoir : Normes et réglementations .....	15
II.6. Etude de conception : Esquisse des concepts structurels, forme.....	16

II.7. Prise en compte de la sismicité de la zone : Contribution qualitative .....	16
II.7.1. L'approche des poteaux 'forts' -Poutres 'faibles' .....	17
II.7.2. Le croisement des poteaux-Poutres .....	17
II.7.3. Éventuellement, la variation progressive.....	17
II.7.4. Type de configuration de l'ouvrage : " pendule inversé " .....	18
II.7.5. Des mesures indispensables.....	19
II.8. Etude de dimensionnement.....	20
II.8.1. Caractéristiques des matériaux .....	20
II.8.2. Actions à prendre en compte .....	20
II.8.3. Modélisation et simulation (calcul au logiciel) .....	21
<b>CHAPITRE 3 : RÉSULTATS DES ETUDES PRÉLIMINAIRES EFFECTUÉES .....</b>	<b>23</b>
III.1. Collecte et analyse des données .....	23
III.1.1. Revue des études topographiques .....	23
III.1.2. Revue des études géotechniques .....	24
III.2. Implantation du réservoir .....	27
<b>CHAPITRE 4 : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU RESERVOIR.....</b>	<b>30</b>
IV.1. Description du réservoir sous forme rectangulaire à deux compartiments .....	30
IV.2. Paramétrage du logiciel pour la modélisation .....	31
IV.3. Évaluation des Charges et surcharges.....	31
IV.4.1. Pression hydraulique .....	32
IV.4.2. La poussée des terres.....	33
IV.4. Prédimensionnement des éléments structuraux .....	34
IV.4.1. Parois en béton armé.....	36
IV.4.2. La dalle de couverture .....	38
IV.4.3. Prédimensionnement du poteau.....	39
IV.4.4. Éléments structuraux secondaire .....	41
IV.4.5. Le radier général .....	44
IV.5. Présentation générale du dimensionnement du réservoir .....	49
IV.5.1. Présentation du modèle conceptuel .....	49
IV.5.2. Dimensionnement des poteaux .....	52

IV.5.3. Dimensionnement des parois.....	54
IV.5.4. Dimensionnement du radier.....	56
IV.5.5. Dimensionnement de la dalle de couverture.....	59
IV.5.6. Dimensionnement des éléments secondaires.....	60
IV.6. Estimation des couts de travaux .....	61
<b>CHAPITRES 5 : L'ETANCHEITE ET ENTRETIENS DES RESERVOIRS.....</b>	<b>62</b>
V.1. Classification du complexe d'étanchéité .....	62
V.2. Etude de cas : Réservoirs soumis à des enjeux et défis d'étanchéité.....	62
V.3. Critères de sélection du mode d'étanchéité face aux contraintes .....	65
V.4. Evaluation des matériaux et techniques de l'étanchéité .....	66
V.4.1. Évaluation du matériau .....	66
V.4.2. Techniques d'étanchéité.....	67
V.4.3. Choix du mode d'étanchéité adéquat à notre projet.....	68
V.5. Entretien des réservoirs .....	70
V.6. Aspects environnementaux et sociaux .....	73
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>76</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>77</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>xv</b>

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau 2 :</b> Structuration du sol au droit du réservoir R2000 à construire. ....	26
<b>Tableau 3:</b> Synthèse des carrières disponibles autour de Goma. ....	27
<b>Tableau 4 :</b> Sollicitations exercées sur l'ouvrage. ....	32
<b>Tableau 1:</b> Contraintes des aciers en fonction des diamètres. ....	36
<b>Tableau 5 :</b> Descente de charge sur le poteau. ....	40
<b>Tableau 6 :</b> Poids des composants du réservoir. ....	44
<b>Tableau 7 :</b> Récapitulatifs des dimensions des composants du réservoir. ....	49
<b>Tableau 8:</b> Récapitulatifs des moments et des efforts sur les parois périphériques. ....	55
<b>Tableau 9:</b> Récapitulatifs des moments et des sections d'aciers du radier. ....	58
<b>Tableau 10:</b> Récapitulatifs des moments et des sections d'acier théorique de la dalle de couverture. ....	59
<b>Tableau 11:</b> Récapitulatifs des moments et des sections d'aciers. ....	60

## LISTES DES FIGURES

<b>Figure 1:</b> Organigramme de la direction générale de GEC Sarl.....	4
<b>Figure 2:</b> Carte de localisation du site du projet.....	6
<b>Figure 3:</b> Mont Goma Nyiragongo. (@ <a href="https://www.africamuseum.be">africamuseum.be</a> ).....	8
<b>Figure 4:</b> Schéma synoptique du fonctionnement de la ligne Lac 2. ....	10
<b>Figure 5 :</b> Image satellitaire pour la présentation de la zone du projet. ....	11
<b>Figure 6 :</b> Courbes de niveaux du site.....	12
<b>Figure 7 :</b> Conception qualitative parasismique.....	18
<b>Figure 8 :</b> Conception qualitative parasismique : forme de réservoir.....	19
<b>Figure 9:</b> Site d'implantation du réservoir. ....	24
<b>Figure 10:</b> Coupe lithologique du site d'implantation. ....	25
<b>Figure 11:</b> carte d'Implantation du réservoir 2000 m <sup>3</sup> (R2000). ....	28
<b>Figure 12 :</b> Zoom sur les courbes de niveau dans la zone d'Implantation du réservoir 2000 m <sup>3</sup> (R2000). ....	29
<b>Figure 13:</b> Coupe annotée d'un réservoir.....	31
<b>Figure 14:</b> La poussée des terres sur le réservoir.....	34
<b>Figure 15:</b> Poussée hydrostatique sur la structure.....	50
<b>Figure 16:</b> Service et entretien sur la structure.....	50
<b>Figure 17:</b> Poussée des terres sur la structure. ....	51
<b>Figure 18:</b> Poids de l'étanchéité sur la structure. ....	51
<b>Figure 19:</b> Maillage en éléments finis de la structure. ....	52
<b>Figure 20:</b> Cartographie de la réaction du sol. ....	57
<b>Figure 21:</b> Suintement des parois extérieures du réservoir de Haddada.....	63
<b>Figure 22:</b> Efflorescence au réservoir Harrathen.....	63
<b>Figure 23:</b> Étanchéité détérioré sur la coupole.....	64
<b>Figure 24:</b> Papier Kraft détérioré sur la couverture du réservoir.....	65
<b>Figure 25:</b> Enduit de mortier à l'intérieur du réservoir (Classe A).....	65
<b>Figure 26:</b> Revêtement de type enduit de ciment hydrofugé.....	65
<b>Figure 27:</b> Présentation des aspects en dégradé d'un revêtement d'étanchéité.....	70

## LISTES DES NOTATIONS

$\sigma_{bC}$	Contrainte de compression du béton
$f_{t28}$	Contrainte caractéristique de traction du béton à 28 jours
$f_{c28}$	Résistance caractéristique à la compression du béton à 28 jours
$\sigma_{ser}$	Contrainte de compression du béton à L'ELS
$\sigma_s$	Contrainte de traction des armatures à l'ELS
$\tau_u$	Contrainte tangentielle du béton
$\gamma_b$	Coefficient de sécurité du béton
$\gamma_{beton}$	Poids volumique du béton
$\theta$	Déviations angulaires
$E_i$	Module d'élasticité instantanée
$E_v$	Module d'élasticité différé
$\bar{\sigma}_{ser}$	Contrainte des aciers à l'ELS
$F_e$	Limite élastique de l'acier
$\alpha$	Déviations angulaires totales sur la distance x
$\eta$	Coefficient de fissuration
$\varnothing_s$	Diamètre nominal d'une armature
$\beta$	Coefficient retenu
$\gamma_{sol}$	Poids volumique du sol
$\gamma_{eau}$	Poids volumique de l'eau
$\varphi$	Coefficient de perte de tension par unité de longueur
$P_{hydrau}$	Pression hydraulique
$G$	Charge permanente
$Q$	Charge d'exploitation
$P_{eau}$	Poids de l'eau
$H$	Hauteur d'eau
$V_{eau}$	Volume d'eau
$Z$	Hauteur de terre
$K_a$	Coefficient de poussée

$P_{\text{terre}}$	Poussée des terres
$H_p$	Hauteur de la paroi extérieure du réservoir
$H_i$	Hauteur de la paroi intérieure du réservoir
$e$	Épaisseur des parois d'un réservoir
$L$	Longueur de la paroi extérieure du réservoir
$L_i$	Longueur de la paroi intérieure du réservoir
$P_{\text{be}}$	Poids de béton des parois extérieurs du réservoir
$P_{\text{bi}}$	Poids du béton de la paroi intérieur.
$P_{\text{pee}}$	Poids de l'enduit sur les parois extérieurs du réservoir
$P_{\text{pei}}$	Poids de l'enduit sur les parois intérieurs du réservoir
$P_p$	Poids total des parois du réservoir
$e_c$	Épaisseur de la couverture du réservoir
$G_c$	Poids propre de la couverture
$G_{\text{Ct}}$	Poids propre totale de la couverture
$S_1$	Surface de la couverture sans ouverture
$S$	Surface de la couverture avec ouverture
$S'$	Surface d'ouverture du lanterneau
$S''$	Surface d'ouverture de la trappe de visite
$P_c$	Poids total de la couverture
$H_t$	Hauteur totale de la poutre
$L_{\text{max}}$	Longueur maximale
$b$	Largeur de la poutre
$P_{\text{RP}}$	Poids de la retombée des poutres
$S$	Surface d'impact du poteau
$P_d$	Poids de la dalle de couverture
$P_{\text{surch}}$	Surcharge sur la dalle de couverture
$N_u$	Effort normal de compression ELU
$V$	Effort normal réduit
$B$	Aire de la section transversale du poteau

$\Lambda$	Élancement
$L_f$	Longueur de flambement
$l_0$	Hauteur de poteau
$i$	Rayon de giration de la section transversale
$I$	Moment d'inertie de la section
$V_{pot}$	Volume du poteau
$P_{pot}$	Poids du poteau
$P_d$	Poids propre de la dalle
$P_v$	Poids du voile de lanterneau sans ouverture
$h$	Hauteur de lanterneau
$P'_v$	Poids du voile de lanterneau avec ouverture
$P_L$	Poids total du lanterneau
$P_T$	Poids propre de la trappe de visite
$P_{esc}$	Poids propre des escaliers
$S_a$	Surface de l'acrotère
$P_a$	Poids de l'acrotère
$P_r$	Poids volumique du revêtement
$P_{RP}$	Poids du réservoir plein
$P_{RV}$	Poids du réservoir vide
$H_r$	Hauteur du radier
$\mu_c$	Périmètre de la surface d'impact.
$G_{rad}$	Poids propre du radier
$N_s$	Effort normal de compression ELS
$S_r$	Surface du radier
$\sigma_{sol}$	Contrainte admissible du sol
$A_s$	Section d'acier
$M_{max}$	Moment maximum
$M_e$	Moment d'encastrement

$M_{\min}$	Moment minimum
$r_u$	Vérification d'effort tranchant
$St$	Espacement des armatures transversales
$M_{\text{ser}}$	Moment à l'ELS
$E'$	Module d'élasticité
$K_z$	Raideur
$A_{\min}$	Vérification de l'effort tranchant

## **INTRODUCTION**

Malgré ses forts potentiels en ressources en eau, la RDC n'arrive pas à satisfaire sa population puisque plus 33,6% n'ont pas accès à l'eau potable et que les projections révèlent que cette population pourrait doubler d'ici 2030 (Multiple indicator cluster surveys (MICS, 2024)).

Plusieurs disparités d'accès en eau potable entre le milieu urbain et rural ont été identifiées et la situation qui sévit actuellement dans la partie Est du pays reste l'une des crises humanitaires les plus complexes. En raison des combats entre les forces gouvernementales et les groupes armés, le déplacement forcé de la population et le manque d'accès aux services essentiels tels que l'accès à l'eau ainsi que les soins de santé pour les enfants et les femmes s'amplifient.

Ces mouvements migratoires de populations engendrent davantage de pression sur les infrastructures existantes notamment les systèmes d'approvisionnement en eau, et le besoin de programmer de nouvelles comme promeut l'UNICEF.

Dans le cadre de sa collaboration avec le gouvernement de la RDC, l'UNICEF souhaite appuyer la régie provinciale de l'eau potable par la construction d'un réservoir de 2000 m<sup>3</sup> au Mont Goma afin d'améliorer l'accès à l'eau potable dans le souci de prévenir et contrôler les maladies dans la Province du Nord Kivu.

La réalisation de cet ouvrage sollicite l'intervention simultanée de plusieurs corps de métier. Toutefois, notre étude sera accentuée sur la phase de conception et de dimensionnement de l'ossature de la structure ainsi que le complexe d'étanchéité du réservoir.

Par ailleurs, Goma, chef-lieu de la province du Nord-Kivu, dispose actuellement de deux réservoirs : R350 d'une capacité de 350 m<sup>3</sup> et R5000 d'une capacité de 5000 m<sup>3</sup>. Situé à proximité du lac Kivu, le réservoir R350 est employé comme ouvrage tampon pour alimenter par pompage les villes de Birere et de Bushara, ainsi que le réservoir R5000. Malgré un débit d'alimentation de 1065 m<sup>3</sup>/h provenant de la station de pompage du lac Kivu, le réservoir R350 ne parvient pas à satisfaire les besoins en eau croissants des zones desservies (950 m<sup>3</sup>/h). Cette insuffisance est due à une capacité de stockage limitée et à une mauvaise régulation du système d'adduction en eau potable.

Afin de remédier à cette situation et d'assurer une distribution d'eau plus fiable et efficace, la construction d'un nouveau réservoir d'une plus grande capacité s'avère indispensable.

Cet ouvrage permettra de renforcer le réseau existant, d'améliorer la régulation de l'eau et de répondre efficacement à l'accroissement des besoins de la population. Cependant, ce projet est soumis à plusieurs enjeux tels que la géomorphologie du site caractérisée par la présence de pentes, et des fois, la présence de phénomènes naturels tels que le tremblement de terre et les éruptions volcaniques.

L'objectif principal de cette étude est de concevoir et de dimensionner les principaux éléments de la structure tout en montrant l'impact du complexe d'étanchéité sur la durabilité de l'ouvrage.

Face à la complexité du défi d'accès à l'eau potable à Goma, notre étude se concentrera sur la conception et le dimensionnement d'un réservoir semi-enterré en béton armé sur le Mont Goma. Cette démarche nécessite une **analyse approfondie des contraintes topographiques et géotechniques du site**, afin d'optimiser la conception de l'ouvrage et de l'adapter au mieux à son environnement. Ensuite, nous procéderons également à un **dimensionnement des éléments structuraux du réservoir**, en tenant compte des différentes sollicitations et charges, afin de garantir sa stabilité, sa résistance et sa durabilité dans le temps. Enfin, une **évaluation détaillée des différents systèmes d'étanchéité** sera menée, en considérant les spécificités climatiques du site, afin d'assurer la protection de la ressource en eau et la longévité de l'ouvrage.

A l'issue de cette étude, nous disposerons de données précises pour la construction d'un réservoir durable. Après avoir présenté le contexte du projet, l'étude va s'appuyer premièrement sur une analyse topographique, géotechnique et environnementale du site. Deuxièmement, le dimensionnement du réservoir est réalisé selon les normes BAEL 91 modifiées 99 et le Fascicule 74, en tenant compte des charges appliquées. Et enfin, l'évaluation des différentes solutions d'étanchéité et fréquence d'entretien afin d'assurer la durabilité de l'ouvrage ainsi qu'une estimation des coûts et une planification des travaux sont établies pour garantir une mise en œuvre.

## **CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL, DE LA ZONE D'ETUDE ET DU PROJET**

Dans ce chapitre il sera question de présenter le Cabinet d'étude Global Engineering Consulting en abrégé « GEC Sarl » et son fonctionnement. Ensuite, de présenter la zone d'étude du projet de conception et de dimensionnement du réservoir. Et, de présenter dans sa globalité le projet.

### **I.1. Présentation générale de la structure**

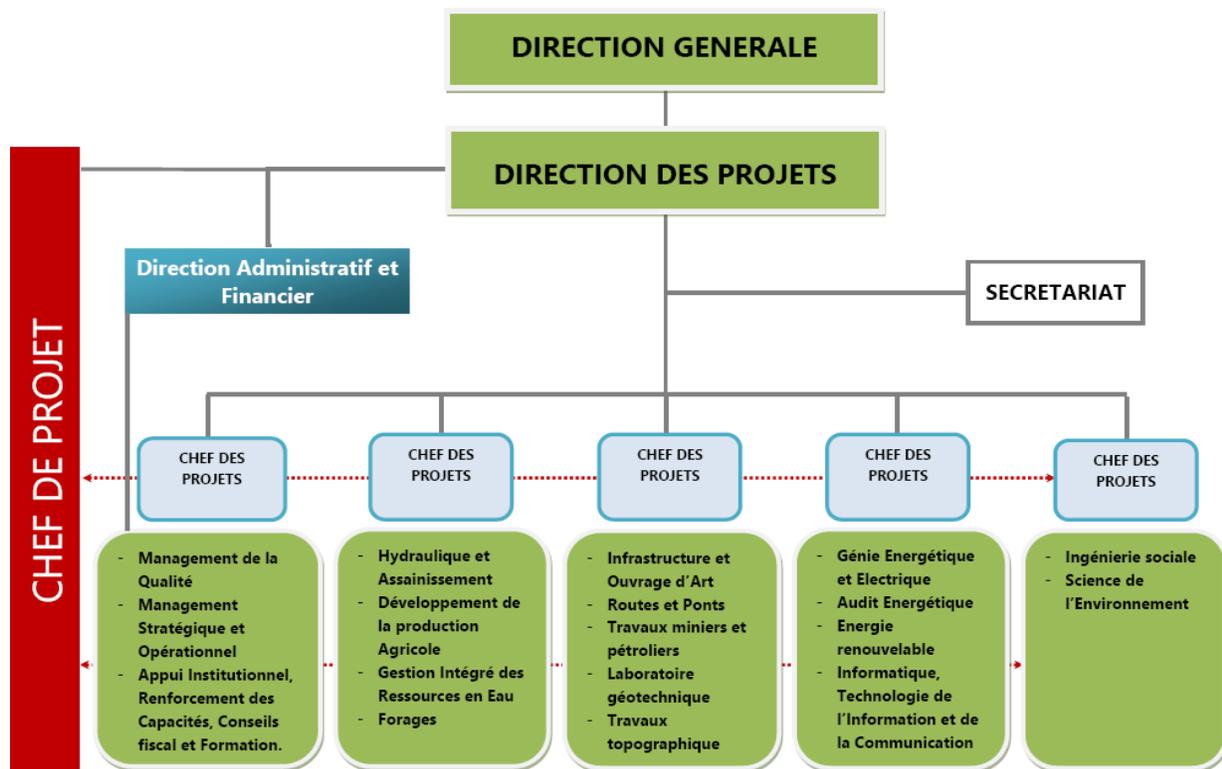
#### **I.1.1. Historique et vision**

GEC Sarl est une société d'Ingénieur - Conseils d'Ingénierie et de Management de droit Camerounais avec une filiale au Burkina Faso. Née en 2017 d'une initiative d'un groupe d'ingénieur expérimenté pour la Promotion du Savoir-faire, elle vient au cœur de l'effort global entrepris pour contribuer au Développement Local et à la Croissance Économique du continent Africain. Son objectif est d'offrir des services de conseils en Management et en Ingénierie de haut niveau, de façon responsable. Sa vision est de développer un cabinet de référence, économiquement prospère et compétitif, techniquement et socialement responsable.

#### **I.1.2. Organisation de la structure d'accueil**

L'Entreprise compte plusieurs pôles d'intervention assurés par des unités de gestion de projet. L'ensemble des unités de gestion de projet sont coordonnées par la Direction générale représentée par la Direction des projets comme présenté dans l'organigramme de la structure.

#### **Figure 1.**



**Figure 1:** Organigramme de la direction générale de GEC Sarl.

### I.1.3. Secteur d'activité

GEC Sarl est un organisme de conseils, de maîtrise d'ouvrage-délégué, de maîtrise d'œuvre, d'assistance technique et financier et de suivi contrôle des travaux tant en milieu urbain qu'en milieu rural. Ses activités sont regroupées dans cinq (05) pôles d'intervention comme suit :

- Dans le pôle Management, appui Institutionnel et formation (**MAIF**), l'entreprise intervient dans l'accompagnement des organisations Africaines dans la mise en place de leur plan stratégique de développement; l'accompagnement des organisations africaines dans la démarche qualité ISO 9001 : 2015 ; l'accompagnement de collectivités publiques dans le montage des projets de recherche de financement, le renforcement des capacités de l'administration en charge de conduire la politique de la collectivité (formation, équipement, appui en organisation et management) ; Formation et transfert de compétence ;

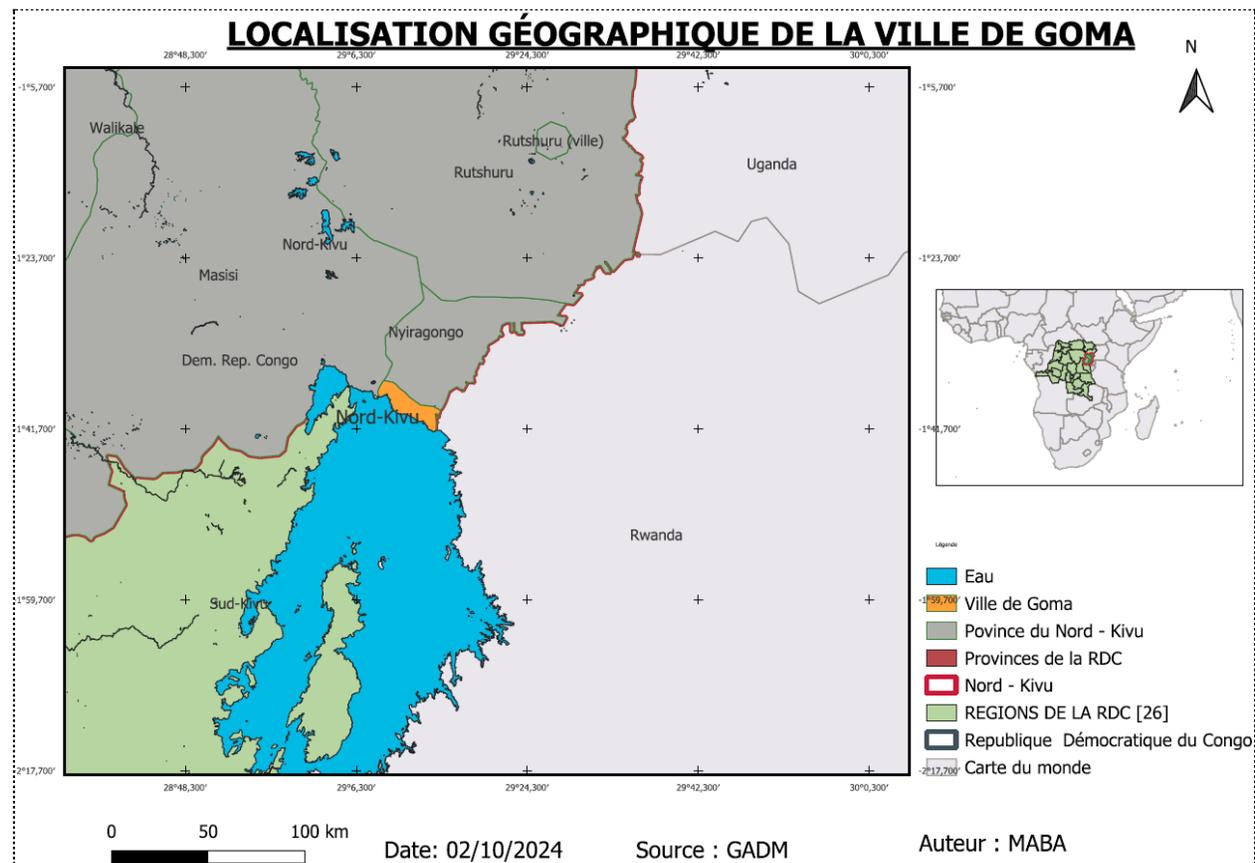
- Dans le pôle Génie de l'eau, de l'assainissement et de l'agriculture (**GE2A**), l'entreprise intervient sur les projets d'eau, d'hydraulique et d'assainissement ; les projets de développement de la production agricole et les projets de gestion intégrés des ressources en eau ;
- Dans le pôle Infrastructures, ouvrages d'art et Aménagement du territoire (**IO2A**), l'entreprise intervient dans sur les projets d'infrastructure et ouvrage d'art, les projets de routes et ponts ; les projets des travaux de mines carrière et pétrole, les projets de levés topographiques et les projets sur les travaux géotechniques ;
- Dans le pôle Génie énergétique et technologique (**GET**), l'Entreprise intervient dans les projets de Génie Énergétique, Génie électrique, l'audit Énergétique, l'énergie renouvelable et les projets d'informatique, technologie de l'information et de la communication ;
- Dans le pôle Génie de l'Ingénierie Sociale et de l'Environnement (**GISE**), L'Entreprise intervient dans les projets d'expertise collective et la transformation sociale en mettant l'accent sur le renforcement des capacités des acteurs, l'accompagnement des collectivités locales, l'éducation à l'hygiène et à l'Assainissement et l'appui des collectivités à la mise en place des instances de concertation au niveau local (AUE, CLE, CPE etc....). De même l'Entreprise intervient sur l'audit, l'évaluation et la protection de l'Environnement.

Ce sont toutes ces compétences qui représentent GEC Sarl.

## I.2. Présentation de la zone d'étude

Géographiquement la ville de Goma est située à une altitude de 1640 m dans la province du Nord-Kivu au bord du Lac Kivu en République démocratique du Congo. Elle est baignée dans sa partie Sud par le Lac Kivu et n'est traversée par aucune rivière et cours d'eau. Comme présentée dans la carte de localisation de la figure 2, la ville de Goma est limitée :

- Au Nord : par le territoire de Nyiragongo ;
- Au Sud : par le Lac Kivu ;
- A l'Est : par ville rwandaise frontalière de Gisenyi ;
- A l'Ouest : par le territoire de Masisi.



**Figure 2:** Carte de localisation du site du projet.

### I.3. Présentation du projet

#### I.3.1. Contexte

La République Démocratique du Congo (RDC) a souscrit à la mise en œuvre de la cible 6 des Objectifs de développement durable (ODD) qui préconise l'accès de tous à des services d'alimentation en eau potable et géré de façon durable. Mais, malgré l'abondante ressources en eau sur son territoire, la RDC rencontre des difficultés de production de l'eau potable, et ne parvient pas efficacement à subvenir aux besoins de sa population en pleine croissance. Cependant, plusieurs facteurs concourent ainsi à aggraver la situation actuelle, tels que : les conflits géopolitiques qui occasionnent l'instabilité territoriale, couplés aux nombreuses épidémies qui forcent les populations civiles à migrer vers des territoires plus stables.

Afin d'atteindre les objectifs fixés à l'horizon 2030, l'UNICEF et le gouvernement de la RDC ont convenu de travailler au niveau du milieu urbain particulièrement dans la ville de Goma (**Figure 3**) afin d'améliorer les conditions de vie de la population déplacée par la crise.

La ville de Goma, située à l'Est de la RDC, à une vingtaine de kilomètres de la frontière du Rwanda, est sujette à plusieurs éruptions volcaniques telles que le volcan de Nyiragongo dont les éruptions récentes ont eu un impact sur son nom.

Au regard des différents potentiels tels que l'ouverture au lac Kivu, l'accroissement de la population, la fertilisation des sols à Goma, l'UNICEF en étroite collaboration avec RÉGIDESO a pris l'initiative de contribuer à atténuer l'un des problèmes majeurs qui sévit dans cette ville à savoir : l'approvisionnement en eau potable. Ainsi, la construction d'un réservoir de 2000 m<sup>3</sup> dans la ville de Goma s'inscrit dans cette dynamique pour améliorer l'accès à l'eau potable et limiter les risques sanitaires.



**Figure 3:** Mont Goma Nyiragongo. (@ [africamuseum.be](https://www.africamuseum.be))

### **I.3.2. Justification**

Le Nord Kivu a une population de 7,1 millions d'habitants et une densité de 119 hbts/Km<sup>2</sup> (Multiple indicator cluster surveys (MICS), 2024). La Croissance démographique rapide de la population de la ville de Goma, exacerbée par les déplacements des populations dû aux conflits armés de la région entraîne une demande accrue en eau potable que les infrastructures actuelles n'arrivent pas toujours à satisfaire.

Plus encore, avec la vétusté des infrastructures de distribution qui engendre des maladies dues à la qualité de l'eau telle la typhoïde, qui occasionne les pénuries d'eau potables dans certains quartiers, réduisant considérablement l'accès à l'eau potable pour l'ensemble des habitants du territoire.

Ainsi, l'accès limité de la population au service d'eau potable, besoin fondamental, l'expose en permanence aux risques sanitaires importants, notamment les maladies hydriques et diarrhéiques comme le choléra, ce qui ralentit leur développement socioéconomique.

Témoignant de son engagement humanitaire, l'UNICEF envisage la construction d'un réservoir semi-enterrée en béton armé de capacité de stockage de 2000 m<sup>3</sup> pour limiter les pénuries d'eau d'une partie de cette ville.

### I.3.3. État des lieux

L'alimentation en eau potable de la ville de Goma est gérée par la Régie de Distribution d'Eau (REGIDESO), centre de Goma. Elle exploite par pompage l'eau du lac Kivu qui a un volume total estimé à 569 km<sup>3</sup> et couvre une surface d'environ 2.700 km<sup>2</sup>, avec une profondeur moyenne de 240 m et une profondeur maximale de 489 m (GEC Sarl , 2024).

La distribution dans la ville se fait par pompage à partir de trois (03) lignes de captage (Lac 1, Lac 2 et Palliative venant en secours à Lac 1) distinctes qui refoule dans plusieurs réservoirs et un réseau de 73,6 km linéaire. Afin d'améliorer le réseau de distribution d'eau potable, le Schéma directeur prévoit la construction d'un réservoir de 2000 m<sup>3</sup> sur la ligne de captage Lac 2 (**Figure 5**). Prévu sur le Mont Goma Nyiragongo, le site, caractérisé par un relief accidenté en pente avec des sols volcaniques, est logé dans un périmètre exposé aux risques sismiques pouvant éventuellement conduire à un glissement de terrain.

Le lac Kivu est la source d'approvisionnement en eau de plusieurs localités de la région. Son eau est d'abord pompée vers un réservoir de 350 m<sup>3</sup> situé sur le mont Goma, grâce à une pompe de 315 KW et un débit de 1065 m<sup>3</sup>/h. De ce réservoir initial, l'eau est redistribuée de deux manières :

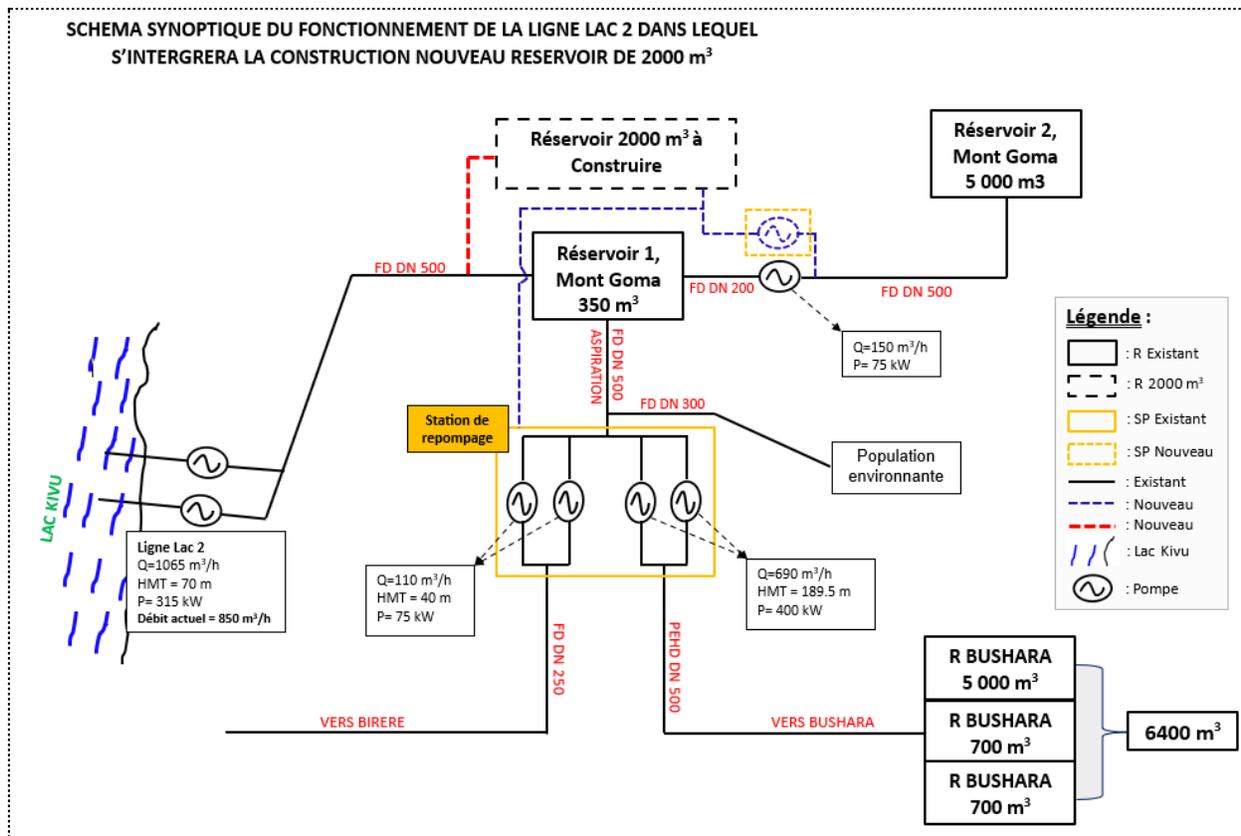
#### Vers d'autres réservoirs :

- Une pompe provisoire de 150 m<sup>3</sup>/h achemine l'eau vers un réservoir de 5000 m<sup>3</sup>.
- Une station de repompage à Bushara envoie l'eau vers trois autres réservoirs de 5000 m<sup>3</sup>, 700 m<sup>3</sup> et 700 m<sup>3</sup>, avec un débit de 690 m<sup>3</sup>/h.

#### En direct :

- Une partie de l'eau est pompée directement vers la ville de Birere, avec un débit de 110 m<sup>3</sup>/h.
- L'eau du lac Kivu permet également d'approvisionner les populations vivant autour du lac.

Ce système complexe permet d'assurer l'alimentation en eau de plusieurs zones grâce à une combinaison de pompage, de stockage et de redistribution. (**Figure 4**)



**Figure 4:** Schéma synoptique du fonctionnement de la ligne Lac 2.

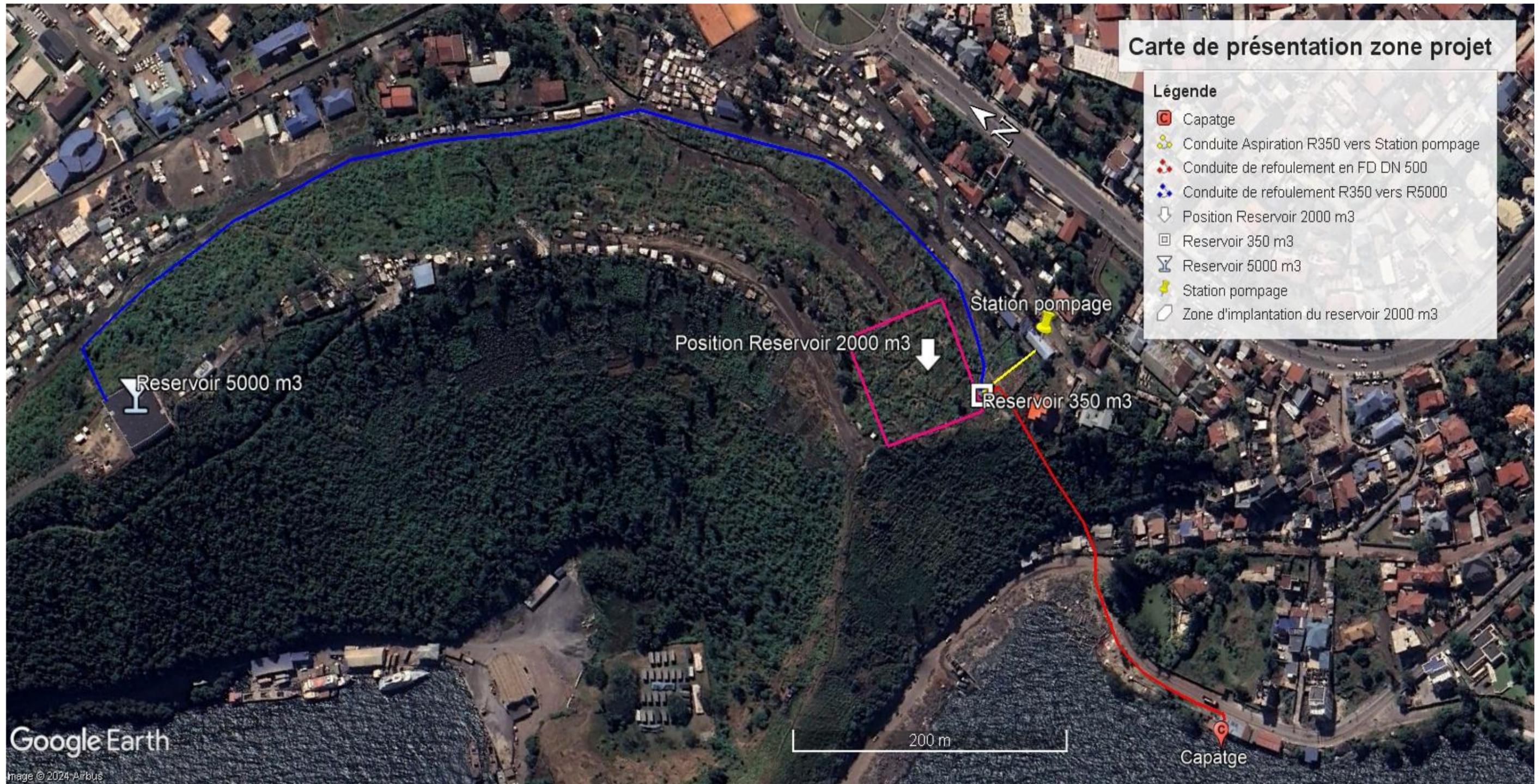


Figure 5 : Image satellitaire pour la présentation de la zone du projet.



Figure 6 : Courbes de niveaux du site

### **I.3.4. Hypothèses de base**

La population de la ville de Goma, située dans l'Est de la République Démocratique du Congo, est estimée à environ 700 000 à 800 000 habitants selon l'Enquête par grappes à indicateurs multiples en 2018.

Les études topographiques, les études géotechniques n'étant pas l'objet du mandat de stage qui nous a été assigné, ne feront pas l'objet de ce rapport de stage bien que y ayant contribué de manière sporadique (aux travers de la préparation des descentes sur le terrain comme la préparation du matériel, analyse par logiciel, etc...).

Les résultats émanant de ces études (que nous ne présenterons pas en détails dans ce rapport qui porte essentiellement sur la conception et dimensionnement du réservoir) nous permettront de mieux concevoir, dimensionner et établir un système d'étanchéité adéquat de l'ouvrage. Les normes et réglementations de conception seront également respectés afin d'assurer la pérennité du réservoir.

Cependant, afin de mener efficacement notre mandat visant à concevoir et dimensionner ledit réservoir, GEC Sarl, a mis à notre disposition les données issues des résultats des études topographiques, géotechniques et hydrauliques. Bien que le site soit soumis aux risques des phénomènes sismiques, aucune donnée actualisée y afférente nous a été transmise.

Aussi, dans le cadre de l'élaboration du mémoire et dans un objectif de mieux guider sa lecture et sa compréhension, nous n'aborderons pas l'analyse détaillée de la simulation des débits entrants et sortants du réservoir, du dimensionnement des canalisations, vannes et orifices pour le refoulement et la distribution, la gestion de la pression de l'eau et les courbes de vidanges.

### **Conclusion partielle**

En guise de conclusion de ce premier chapitre, il ressort que notre projet doit être à mesure de relever les défis de durabilité d'un réservoir que sont : -la conception et le dimensionnement adéquats et adaptés aux réalités géographiques du site, -la proposition d'un système d'étanchéité qui prend en compte les réalités climatiques de la Ville de Goma.

## **CHAPITRE 2 : MÉTHODOLOGIE D'APPROCHE DE L'ÉTUDE DE CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU RÉSERVOIR**

Dans ce chapitre, il sera question de présenter la démarche employée, structurée en huit (8) principales étapes pour l'étude de conception et de dimensionnement.

### **II.1. Collecte et analyse des données**

La collecte et l'analyse de toutes les informations pertinentes sur l'existant permettront de fonder les choix techniques pendant l'étude de faisabilité. Nous procéderons à la collecte de données sur les études de base suivant :

- Revue des études topographiques ;
- Revue des études géotechniques ;
- Revue des études d'impact environnemental et social ;
- Enquête sur les services d'utilité publique.

### **II.2. Revue des études topographiques**

Les travaux ont consisté à faire une analyse détaillée des relevés topographiques de terrain mise à disposition par l'équipe topographique. Sur la base de ces relevés, nous avons une reconstruction du modèle numérique de terrain, une analyse de la géomorphologie du site et de la variation numérique du terrain à partir des courbes de niveaux.

Ces plans sont la base pour l'implantation exacte du réservoir ainsi que son dimensionnement.

### **II.3. Revue des études géotechniques**

Les travaux ont consisté à faire l'analyse du rapport géotechnique du laboratoire pour évaluer les caractéristiques et la portance du sol, la stabilité des pentes et les risques de glissement terrain sur l'emprise projetée pour la construction du réservoir de 2000 m<sup>3</sup>.

L'étude géotechnique sur l'ensemble de l'emprise projetée pour la construction du réservoir est constitué de plusieurs essais in-situ et en laboratoire tels que :

- Des essais d'identification,
- Les essais de pénétromètre dynamique lourd jusqu'au refus,
- Des sondages carottés
- Des essais SPT,
- Des essais pressiométriques,

- Des essais œdométriques,
- Des essais de cisaillement direct à travers des matériaux prélevés sur le terrain.

Nous avons fait également une analyse de la disponibilité des carrières et matériaux de construction environnant ainsi que la localisation des sites d'emprunt de matériaux.

#### II.4. Revue des aspects environnementaux et sociaux

Il s'agit de faire une analyse du rapport EIES des impacts environnementaux et sociale du projet par une étude des effets potentiels de la construction du réservoir sur l'écosystème local (faune, flore) et proposer des mesures d'atténuation et le processus de planification pour assurer l'acceptabilité sociale du projet.

#### II.5. Analyse des hypothèses de conception et dimensionnement du réservoir : Normes et réglementations

L'analyse des hypothèses de conception et de dimensionnement du reservoir à construire repose sur des normes et des réglementations strictes qui garantissent la sécurité, la durabilité et la performance de l'ouvrage.

Nous avons fait une revue des normes et réglementations existantes utiliser pour la conception et le dimensionnement de chaque partie de l'ouvrage comme suit :

- Normes de conception structurale (Normes européennes, règlements nationaux de construction, le DTU, les fascicules)
- Normes de conception pour l'étanchéité
- Réglementations Environnementales
- Réglementations santé et sécurité

Ensuite, nous allons essayer de faire l'analyse de ses différentes normes pour voir lesquelles sont le plus adaptées à notre zone d'intervention.

Les études détaillées sont soumises, en tout ce qui leur est applicable aux normes et règlements en vigueur dont notamment les normes françaises.

Les ouvrages sont conçus et calculés conformément aux règlements du (BAEL 91, Modifié 99, 1999). De plus, on fera référence au (Fascicule 74, Construction des réservoirs en béton, 1998) qui est le plus répandu pour la construction des réservoirs en béton armé. Nous aurons aussi le

Traité de béton Armé (Thonier, 1998) pour le dimensionnement et des dispositions constructives des différents composants du réservoirs.

En ce qui concerne la fondation du réservoir, les documents techniques unifiés (DTU) sont constitués une base d'appui et un guide technique indispensable pour assurer une construction durable et sécuritaire. Les DTU (11.1 ; 13.11 ; 21 ...) interviendront lors des différents sondages de sol, le choix des matériaux de construction, épaisseurs et joints d'étanchéité. Les normes et réglementation locale tel que le NRC (Norme Routière Congolaise) en vigueur sera également pris en compte lors de la caractérisation des sols.

## II.6. Etude de conception : Esquisse des concepts structurels, forme

Le réservoir d'eau potable est un élément essentiel des systèmes de distributions. Initialement conçu comme une réserve, il sert à maintenir un fonctionnement régulier des pompes et à faire face aux interruptions dans l'adduction d'eau. Son bon fonctionnement repose sur une étude détaillée prenant en compte l'action de l'eau, principales sources de désordres structurels.

Compte tenu des contraintes du terrain, nous avons deux variantes selon la forme pour la construction de ce réservoir :

- **Variante 1 : Le réservoir sous forme rectangulaire à deux compartiments**
- **Variante 2 : Le réservoir sous forme circulaire avec un couvercle en coupole**

Chacune de ces deux variantes présentes des avantages et des inconvénients.

## II.7. Prise en compte de la sismicité de la zone : Contribution qualitative

Le tremblement de terre fait partis des phénomènes naturels auxquels la ville de Goma est souvent confrontée. Les séismes sont définis comme étant la vibration du sol provoquée par une libération soudaine de l'énergie de déformation accumulée dans la croûte terrestre et le manteau supérieur. L'étude des structures des ouvrages nécessite une analyse poussée de cet aspect non stationnaire du train d'ondes ainsi que du comportement complexe des couches superficielles du sol (Fulgence, 2010).

Bien qu'il existe à ce jour des technologies d'observations et de prévision sismique, il reste à ce jour difficile de prévoir la localisation exacte, la magnitude et la date d'apparition d'un séisme comme dans le cas de la ville de Goma qui est géographiquement situé dans une zone dont le risque de manifestation est moyen.

Face à ce risque et à l'impossibilité de le prévoir, l'une des préventions valables est la prise en compte des paramètres qualitatifs (dispositions et normes) dans la conception de notre projet. En plus des données topographiques, géotechniques et hydrauliques, nous allons prendre en compte des mesures qualitatives de conceptions qui permettront à la fois d'atténuer les risques et de prévenir les effets d'un éventuel séisme sur le site. Ces règles de conceptions visent essentiellement à garantir la sécurité structurelle, l'étanchéité, et la durabilité de l'ouvrage.

En s'aidant de la littérature existante dans le domaine de la prévention et de l'atténuation sismique, on s'aperçoit que les ouvrages de conception saine et respectant les règles normales de conception ont de réelles possibilités de se comporter convenablement lors de secousses d'intensité moyenne comme c'est le cas pour la ville de Goma. Parmi ces nombreuses règles, nous allons par exemple prendre en compte :

#### **II.7.1. L'approche des poteaux 'forts' -Poutres 'faibles'**

Elle permet l'utilisation de sections plus importantes pour les poteaux et orientant de manière stratégique des poteaux pour maximiser leur résistance en flexion du réservoir. Pour cela, la zone de nœud entre poteau et poutre doit être conçue pour résister au fort cisaillement induit par les moments de flexion opposés dans les poutres et le dimensionnement doit être effectué en optimisant le volume des poutres et en minimisant au maximum celui des poteaux.

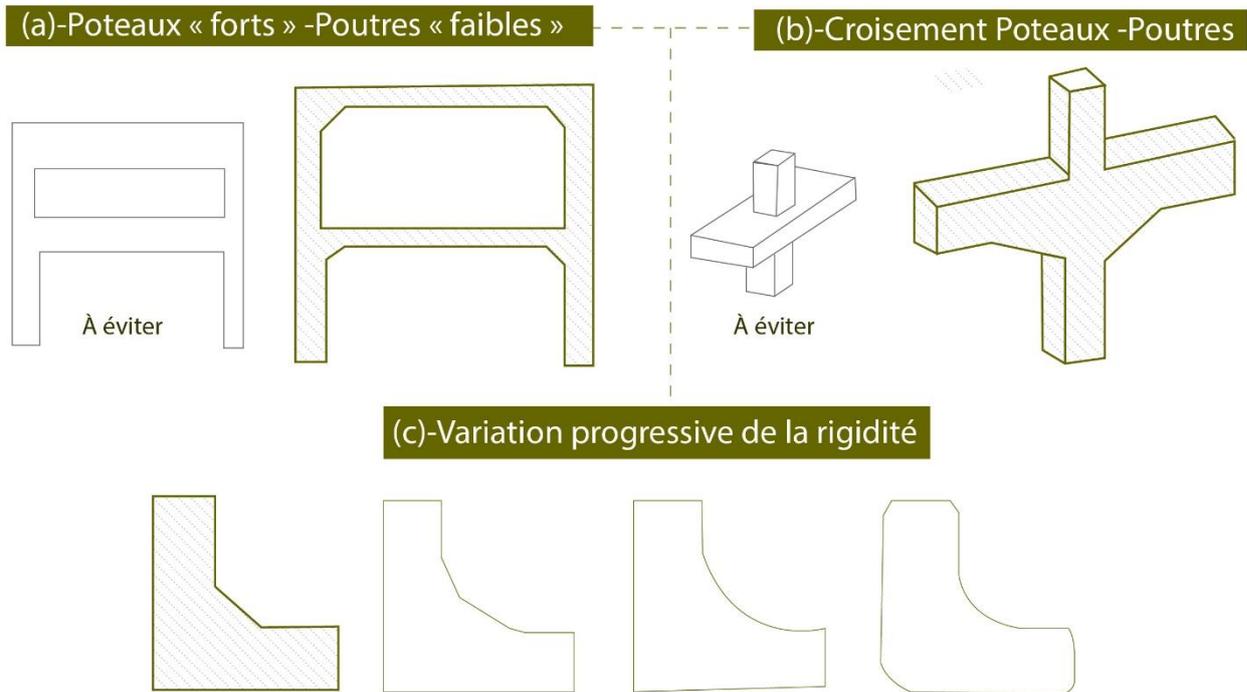
#### **II.7.2. Le croisement des poteaux-Poutres**

Cette approche qualitative est indispensable au moment d'effectuer les assemblages spécifiques, comme le croisement de poutres et permet d'augmenter la rigidité au niveau des points de croisement des poteaux-poutres de telle façon qu'il se crée une entraide et un lien fort entre la liaison entre portique. Autrement dit, la pression exercée sur l'aile horizontale est soutenue et confortée par l'aile verticale et réciproquement.

#### **II.7.3. Éventuellement, la variation progressive**

La variation progressive de la rigidité sera utile pour améliorer la qualité de résistance et d'atténuation des risques d'effondrement en cas d'un imprévu sismique. Elle vise à réduire les concentrations de contraintes qui se produisent souvent dans les angles rentrants des structures. La démarche consiste à adoucir les angles rentrants en créant une forme plus fluide du réservoir lors de sa mise en œuvre (

**Figure 2).**



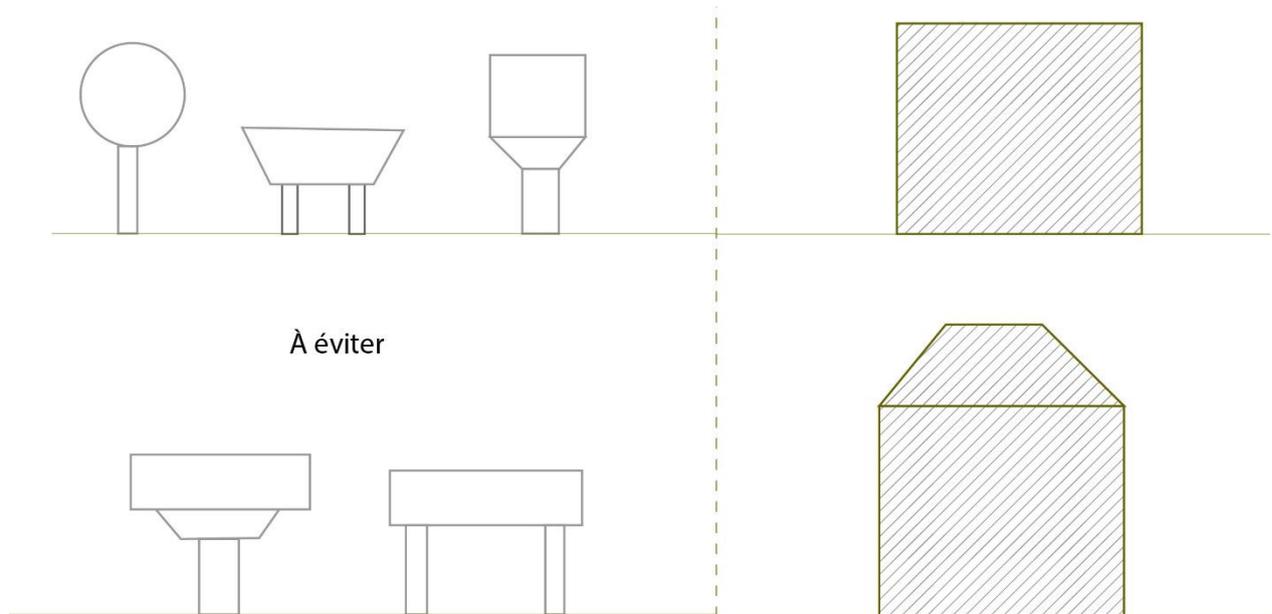
**Figure 7 :** Conception qualitative parasismique

#### II.7.4. Type de configuration de l'ouvrage : " pendule inversé "

Les configurations visant à concentrer la masse des ouvrages dans leurs niveaux supérieurs donne lieu à des sollicitations d'origine sismiques élevées. En effet, les charges sismiques étant proportionnelles aux masses, le bras de levier du moment de renversement augmente avec l'élévation du centre de gravité.

Or, les sollicitations axiales dans les éléments porteurs verticaux croissent avec le moment de renversement. En outre, si des efforts de traction apparaissent dans les poteaux, leur résistance au cisaillement est notablement réduite.

Par conséquent, il est souhaitable d'éviter, dans la mesure du possible, les formes de réservoir en pendule inversé ou en pyramide inversée. Il est souhaitable dans ce cas de situation d'opter pour une forme plus régulière et stable comme indiqué à droite dans la figure ci-dessous (**Figure 8**). C'est cette forme rectangulaire régulière qui sera adopté lors de la conception du réservoir.



**Figure 8 :** Conception qualitative parasismique : forme de réservoir

### II.7.5. Des mesures indispensables

Le comportement réel d'une structure, d'un ouvrage soumis à une sollicitation sismique est méticuleux. Même en faisant abstraction de l'incertitude importante entachant la sollicitation de l'ouvrage à résister, le comportement sismique structural réel est soumis à une telle variabilité que les méthodes de dimensionnement traditionnelles y perdent leur pertinence et ne doivent être appliquées au cas par cas (Fulgence, 2010).

Au lieu de se focaliser sur les sollicitations dont la détermination reste très incertaine, le dimensionnement en qualité se base sur la capacité de la structure à supporter favorablement les sollicitations d'origine sismique par la dissipation due à la façon dont les points de jonctions et les formes appliquées à l'ouvrage ont été constitués afin d'atténuer les risques de destruction de l'ouvrage au passage d'un tel phénomène.

Pour ce faire, nous allons aborder plusieurs aspects du projet de conception et de dimensionnement du réservoir. Entre autres nous allons prendre en compte :

La réglementation générale, qui porte sur la prise en compte du Code national de la construction en RDC et l'Eurocode 8 - Partie 4 qui traite des ouvrages de génie civil spécifiques, y compris les réservoirs, puisque nous n'avons pas pu obtenir de normes locales.

La conception structurelle, qui permet de faire le choix du matériau adapté à la situation comme le béton armé résistant à la compression et à la fissuration en traction avec une ductilité élevée pour mieux absorber l'énergie sismique. Elle prend aussi en compte la spécificité des fondations, la disposition constructive des armatures et la forme que devra prendre le réservoir, qui dépend des résultats des études géotechniques effectuées et qui démontre que le site est favorable pour un tel projet.

L'autre aspect essentielle est l'étanchéité et la fissuration puisque l'un des enjeux est de conserver l'eau potable de telle enseigne qu'elle n'interfère pas avec l'environnement extérieur soit en coulant ou autres, au risque qu'elle soit polluée. Nous prendrons aussi en compte les charges permanentes (Poids propre du réservoir et des équipements), les effets hydrodynamiques (Pression de l'eau exercée sur les parois) et bien d'autres.

## II.8. Etude de dimensionnement

Pour le dimensionnement, plusieurs hypothèses de base sont établies dans le cadre de la conception d'un ouvrage résistant, durable et efficace respectant ainsi les normes et réglementation en vigueur.

### II.8.1. Caractéristiques des matériaux

#### Caractéristiques du béton

Le matériau utilisé pour recouvrir le réservoir est le 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. Dans notre cas, le contact en permanence avec l'eau entraîne l'usage d'un béton **B30** avec une résistance à la compression de 30MPa.

La fissuration étant très nuisible pour les éléments structuraux en contact avec l'eau, tous les calculs se feront à l'état limite de service (**ELS**).

### II.8.2. Actions à prendre en compte

Les actions considérées lors du dimensionnement du réservoir comprennent :

#### Actions permanentes :

- Poids propre du réservoir, le poids des superstructures
- Poids de l'étanchéité (épaisseur 2cm) :  $24 \text{ kN/m}^3 = 0,48 \text{ kN/m}^2$

- Poids et poussée de la terre sur le réservoir ( $\gamma_{sol}=19kN/m^3$ )

Actions variables :

- Poids et poussée du liquide contenu ( $\gamma_e=10 kN/m^3$ )

A défaut d'une telle précision pour les charges d'entretien sur les planchers, passerelles et couvertures, les valeurs suivantes sont adoptées (*Fascicule 74*) :

- 2kN/m<sup>2</sup> pour les planchers et passerelles
- 1 kN/m<sup>2</sup> pour les couvertures.

Ainsi, nous prendrons :

- Surcharges d'entretien et de protection = 1 kN/m<sup>2</sup>

Combinaison d'action :

D'après les articles 36.212 et 36.214 des règles du BAEL, les combinaisons d'actions suivantes sont à considérer :

Soit G ensemble des actions permanentes, Q ensemble des actions variables

- ◆ Vis-à-vis des états limites ultimes (ELU) :

**1,35G+1,5 Q**

- ELU réservoir plein (sans poussée des terres).
- ELU réservoir vide (avec poussée des terres).

- ◆ Vis-à-vis des états limites de service (ELS) :

**G+ Q**

- ELS réservoir plein (sans poussée des terres).
- ELS réservoir vide (avec poussée des terres).

### **II.8.3. Modélisation et simulation (calcul au logiciel)**

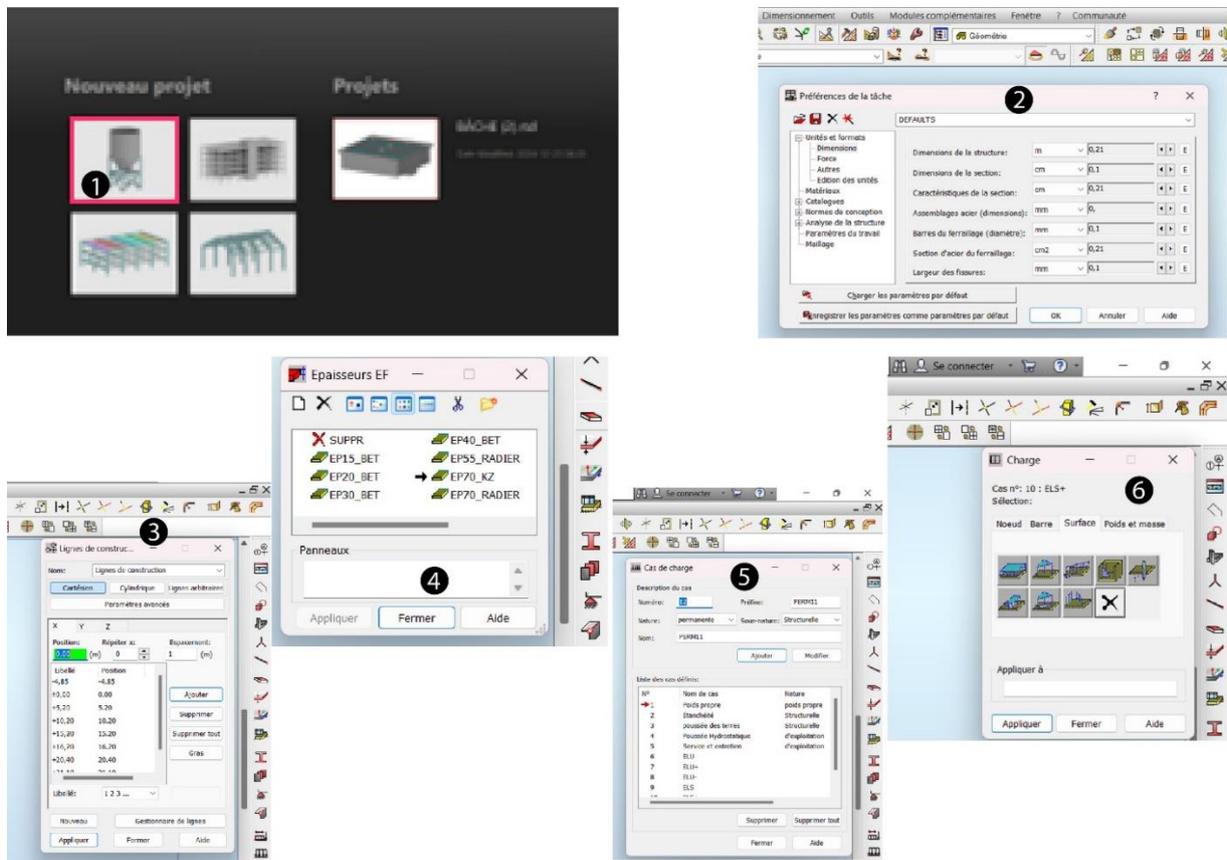
Le calcul automatique et le dimensionnement sera fait en utilisant le logiciel Robot Version 2019. Les plans d'exécution seront dessinés sur le logiciel AUTOCAD et ASD (Analysing Structural Detailing). Il sera effectué sur la base d'un réservoir semi-enterré en mode statique.

Le cas le plus défavorable est celui d'une cuve pleine sans poussée des terres, c'est le cas d'essai d'étanchéité du réservoir avant réception de l'ouvrage. Avant de passer à la modélisation, nous ferons le prédimensionnement de chaque composant du réservoir ensuite, nous déterminerons les charges et les surcharges qui reviennent à celle-ci et enfin les différents efforts internes engendré par la structure.

Pour la modélisation nous allons suivre les étapes suivantes :

- ✓ Choix du plan du travail : notre structure est un modèle tridimensionnel ;
- ✓ Choix de l'unité du travail : kN et m ;
- ✓ Création graphique du modèle en utilisant l'interface du Robot Structural Analysing ;
- ✓ Introduction des propriétés du matériau utilisé : les propriétés du béton ;
- ✓ Introduction des propriétés de chaque élément de la structure : la section et le matériau ;
- ✓ Applications des charges, surcharges et combinaisons d'action ;
- ✓ Calcul du modèle et extraction des cartographies des efforts internes.

Le suivi de ces étapes permettra d'établir notre réservoir avec tous les détails possibles.



**Figure 9:** Étapes clés de modélisation du réservoir.

## **CHAPITRE 3 : RÉSULTATS DES ETUDES PRÉLIMINAIRES EFFECTUÉES**

Les données des différentes études recueillies et analysées en suivant la méthodologie expliquée dans la section précédente seront présentées dans ce chapitre. Ces résultats joueront une fonction significative dans la validation des hypothèses de bases.

### **III.1. Collecte et analyse des données**

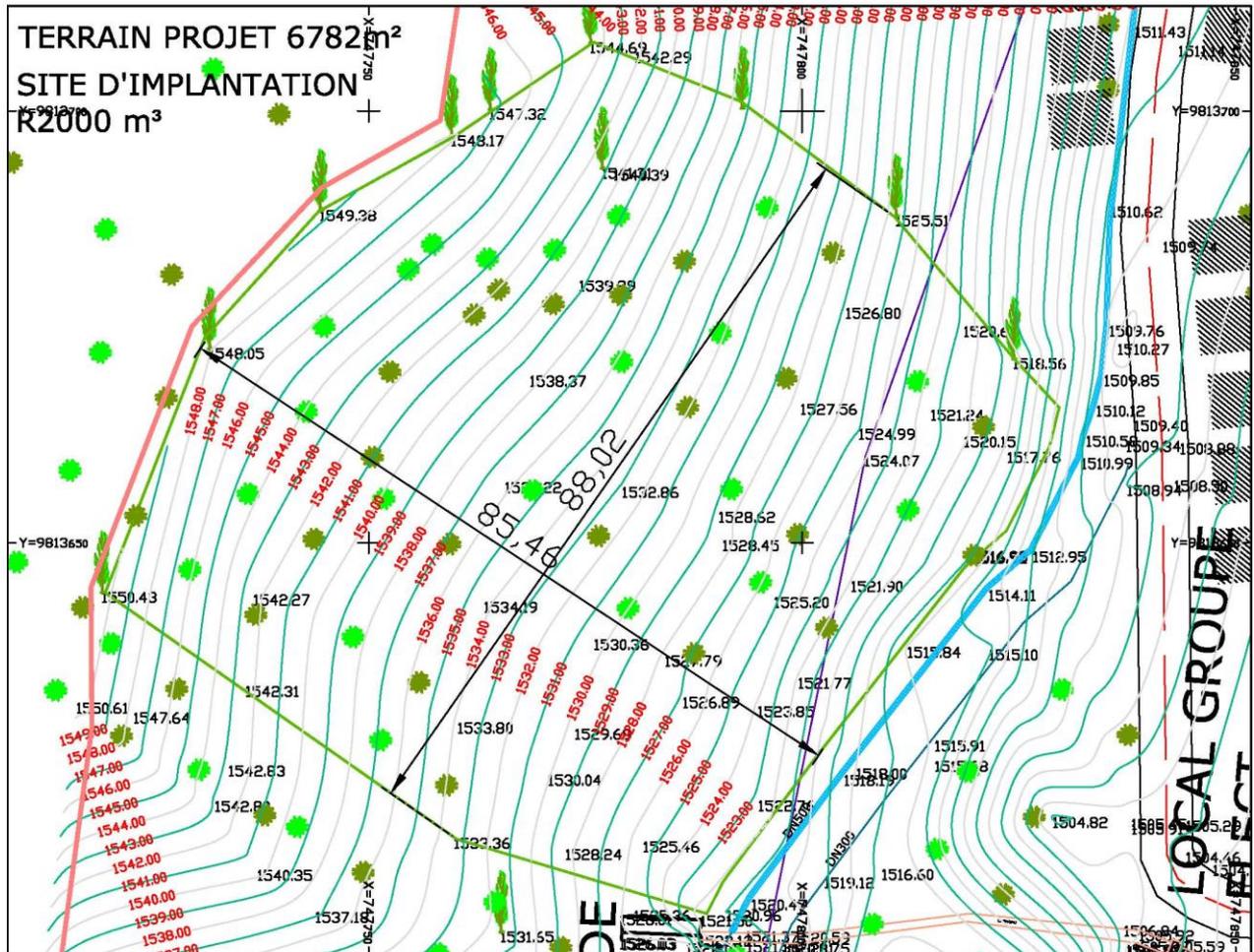
Plusieurs études ont été faites afin de fournir les données clés du site, pour adapter la conception du réservoir à la particularité du site.

#### **III.1.1. Revue des études topographiques**

Les travaux topographiques sur la zone du projet ont consisté à la réalisation de levés topographiques du site de captage, de la station de pompage, des réservoirs et ouvrages annexes existants ainsi que le terrain mise à disposition.

Ces études ont permis de révéler la configuration approximative du terrain où l'ouvrage sera érigé avec les différentes limites. La surface mise à la disposition est de 6782m<sup>2</sup>. Elle a une forme polygonale variable et fait environ 88.5 m sur 85.4 m (**Figure 10**). La cote maximale est de 1 547,50 m, la cote minimal 1 517,50 m et la cote moyenne est de 1537,50 m, soit un dénivelé maximal de 30 m de dénivelé sur 84,5 m.

La géomorphologie du site est en pente. Suite à l'analyse de la variation numérique des courbes de niveaux du terrain, cette pente est 35,50 % sur une distance de 100m. Le profil en long et le profil en travers en annexe 1 résultant de ces études interviendront lors de l'implantation de l'ouvrage (voir Annexe 1).



**Figure 10:** Site d'implantation du réservoir.

### III.1.2. Revue des études géotechniques

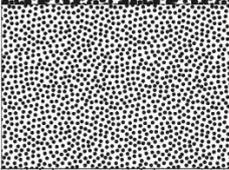
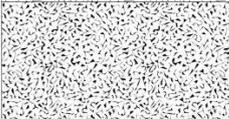
Le Laboratoire National de Travaux Publics de l'Office des Route Antenne Nord-Kivu a été chargé de mobiliser l'équipe compétente capable de collecter les données et procéder aux travaux de reconnaissance géotechniques de sol de fondation dans le but de déterminer les conditions favorables (la contrainte admissible du sol) pouvant permettre de dimensionner la fondation du réservoir.

En aperçu géologique du site, la ville de Goma se situe dans le RIFT EST AFRICAIN, structure géologique générale de la région. Elle est battue sur un substratum rocheux provenant de différentes phases d'éruptions de plusieurs volcans anciens et récents de la chaîne volcanique de Virunga, dont les plus récents et actuels sont ceux de Nyiragongo et de Nyamulagira au Nord de la ville.

Les résultats des différents essais d'identification ont montré la présence de sables volcaniques fins et pulvérulents de faible poids volumique et de faible densité sèche sur une profondeur de 3,5 m à partir du sol.

La résistance du sol varie en fonction de la profondeur, avec des contraintes admissibles allant de 0,15 à 1,56MPa selon les couches. Cette contrainte a été évalué grâce aux essais au pénétromètre dynamique à l'aide d'un mouton de 63,5 kg. De plus, la compressibilité du sol évaluée lors des essais pressiométriques et des essais œdométriques indique un sol à faible compressibilité (Voir Annexe 2).

A l'issue de l'essais sur les quatre carottes, la contrainte admissible varie de 0,8 MPa à 2,8 MPa sur une profondeur de 3,5 m à 5 m. Les essais de compression sur ces carottes ont montré une augmentation de la résistance au fur et à mesure que la profondeur augmentait jusqu'à 8 Mpa à plus de 7,5m. Cependant la contrainte admissible favorable est estimée à une profondeur de 4m équivalent à 1,6 Mpa, principalement constitué de basalte et de sable volcanique très compact et une nappe phréatique profonde, à plus de 50 mètres (*Figure 11*).

Typologie de sol	Profondeur (m)	Lithologies	Contrainte admissible
Sol végétal constitué des limons de couleur noire	De 0 - 1,5m		1,71Mpa
Sables volcaniques fins de couleur sombre	De 1,5m - 3m		1,56Mpa
Sables volcaniques fins consolidés	De 3m - 5m		Augmentation jusqu'à atteindre 8Mpa à une profondeur de 4,5 à 5m
Sables volcaniques fins très consolidés	De 5m - 6m		
Roche basaltique massive	De 5,78m - 6,71m		
Roche basaltique poreuse	De 6,71m - 7,50m		
Roche basaltique poreuse	Plus de 7,50m		

**Figure 11:** Coupe lithologique du site d'implantation.

Les résultats des essais de cisaillement au laboratoire sur l'échantillon non remanié révèlent un sol en place de faible valeur d'angle de frottement  $\varphi$  (°) = 24 et une cohésion de 5 sur une profondeur de 3 m.

La région étant sujette au séisme à plusieurs reprises, des dispositions ont été prises pour intégrer cette variable dans la conception des fondations.

Le contexte géologique dévoilant la nature des sols volcaniques entraîne également une prise en compte des mesures de protection contre les glissements de terrain lors du terrassement et de la conception des fondations.

Les couches superficielles sont relativement faibles en termes de résistance, constituées de sables volcaniques fins. En revanche, les couches plus profondes, à partir de 3 mètres, sont beaucoup plus solides, constituées de basalte et de sable volcanique compact.

**Tableau 1** : Structuration du sol au droit du réservoir R2000 à construire.

Profondeur	Type de sol	Contrainte admissible	Angle de frottement
De 0 – 1,5 m	Sol végétal constitué des limons de couleur noire	1,71 Mpa	24°
De 1,5 m – 3 m	Sables volcaniques fins de couleur sombre	1,56 Mpa	24°
De 3 m – 5 m	Sables volcaniques fins consolidés	Augmentation jusqu'à atteindre <b>8Mpa</b> à une profondeur de <b>4,5 à 5 mètres</b> .	30°
De 5 m – 6 m	Sables volcaniques fins très consolidés		35°
De 5,78 m – 6,71 m	Roche basaltique massive		40°
De 6,71 m – 7,50 m	Roche balsamique poreuse		40°

<b>Plus de 7,5 m</b>	Roche basaltique poreuse		45°
----------------------	--------------------------	--	-----

Les carrières disponible et facilement accessible autour de Goma sont ceux de Munigi et Kibati.à une distance de 10 Km.

**Tableau 2:** Synthèse des carrières disponibles autour de Goma.

Type de matériau	Carrière principale	Localisation	Accessibilité
Sable volcanique	Carrière de Munigi	Munigi à environ 10 Km de Goma	Facilement accessible, proche de Goma.
Gravier et granulats	Lac Kivu, Rivière Ruzizi	Sud de Goma, à environ 61 Km	Modérément accessible, avec contraintes environnementales.
Pierres (Moellons)	Carrière de Munigi, Kibati	Munigi et Kibati à environ 10 Km de Goma	Bonne accessibilité, transport par camion.
Cendres volcaniques	Proximité du volcan Nyiragongo	Nyiragongo, au nord de Goma à environ 14 Km de Goma	Accessible en fonction des conditions géologiques.

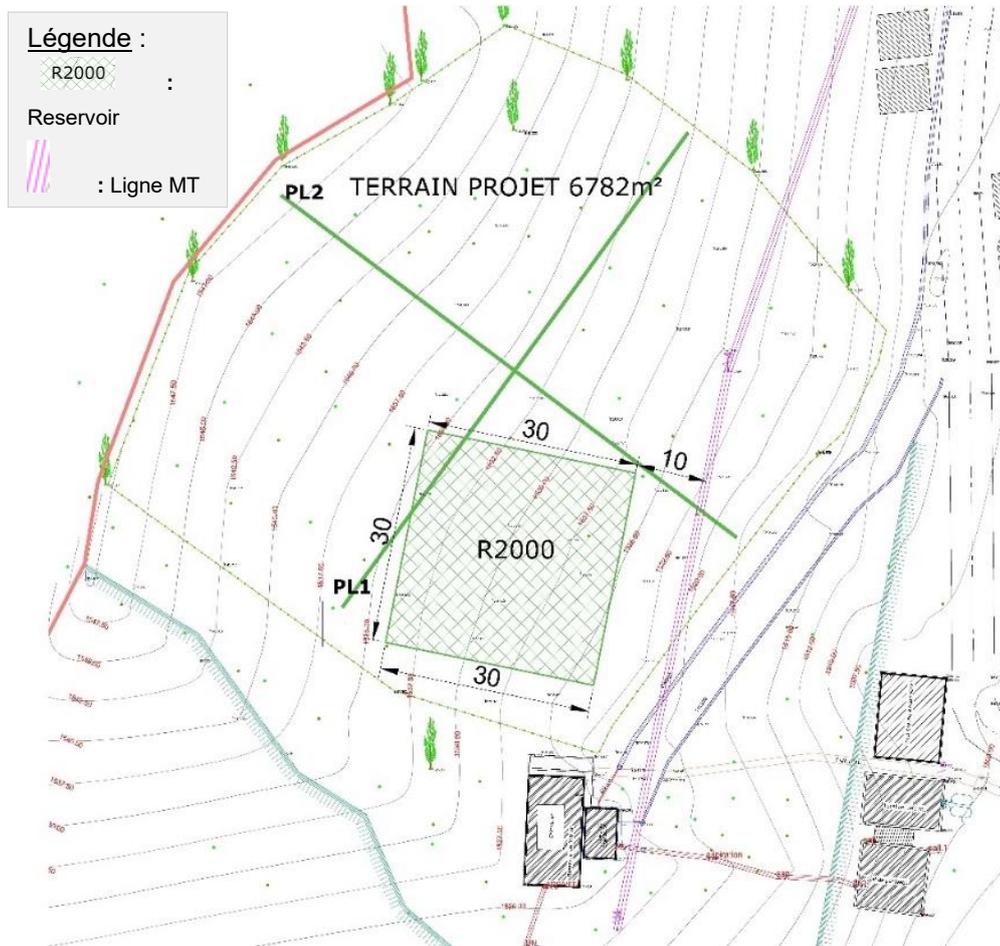
### III.2. Implantation du réservoir

La construction du réservoir sur une zone en pente exige des études d'implantation spécifiques pour garantir la stabilité de l'ouvrage et l'intégration harmonieuse au terrain environnant.

Pour construire un réservoir rectangulaire de 2000 m<sup>3</sup>, le prédimensionnement donne les dimensions spatiales de longueur 20 m et largeur 20 m. Les dimensions utiles représentent les dimensions interne du réservoir pour un volume utile de 2000 m<sup>3</sup> d'eau à stocker dans le réservoir.

L'implantation du réservoir nécessite un espace plat d'au moins 30 m par 30 m d'emprise sur le sol (

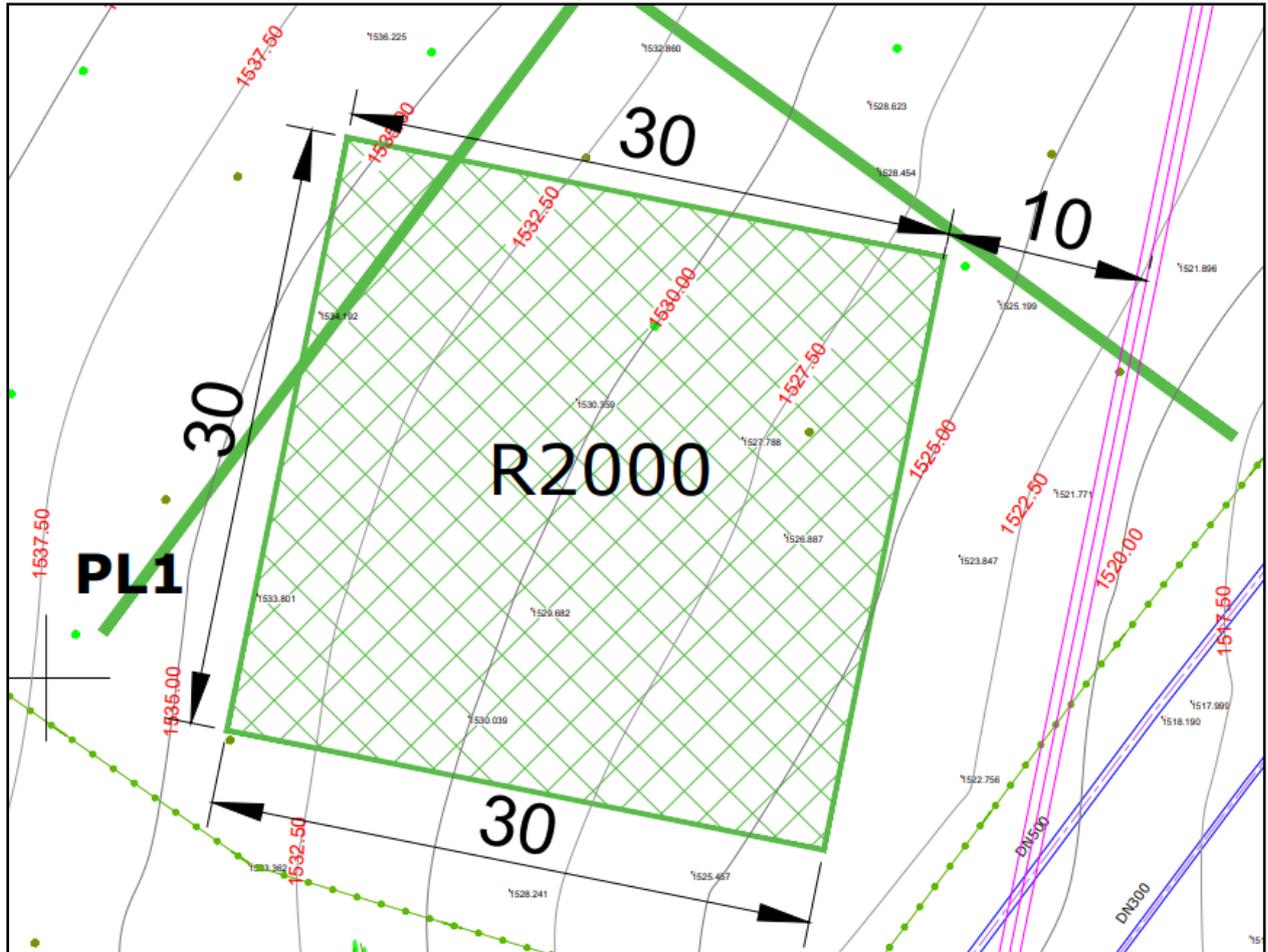
**Figure 12).** Il est également important de respecter une distance minimale de 10 m par rapport à la ligne de moyenne tension 33 000 V qui traverse le site du projet.



**Figure 12:** carte d'Implantation du réservoir 2000 m<sup>3</sup> (R2000).

L'espace prévu pour le projet **6782 m<sup>2</sup>** a été découpé en 4 quadrant. Le réservoir sera implanté dans le quadrant 1, proche du réservoir R350 sur une superficie brute de **1740 m<sup>2</sup>** et comprise entre les courbes de niveau **1537,50 m et 1520,00 m**.

Afin de faciliter l'accès au réservoir, nous allons abaisser son implantation jusqu'à une altitude de 1521 m et créer une plate-forme sur laquelle l'ouvrage sera construit.



**Figure 13 :** Zoom sur les courbes de niveau dans la zone d'Implantation du réservoir 2000 m<sup>3</sup>(R2000).

Les résultats topographique, géotechnique, environnemental que nous avons présentés précédemment montrent que l'implantation du réservoir dans une zone légèrement en retrait de la pente principale est la plus adéquate pour assurer la stabilité de la structure. Ces ajustements garantiront la durabilité de l'infrastructure dans un environnement potentiellement contraignant.

## CHAPITRE 4 : CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DU RESERVOIR

Le réservoir de forme rectangulaire et le réservoir de forme circulaire, deux variantes initialement envisagées dans le cadre de ce projet afin de répondre aux objectifs et exigences. Cependant, le réservoir de forme rectangulaire a été retenu pour la poursuite de notre étude en raison de son adéquation par rapport au contrainte du site.

### IV.1. Description du réservoir sous forme rectangulaire à deux compartiments

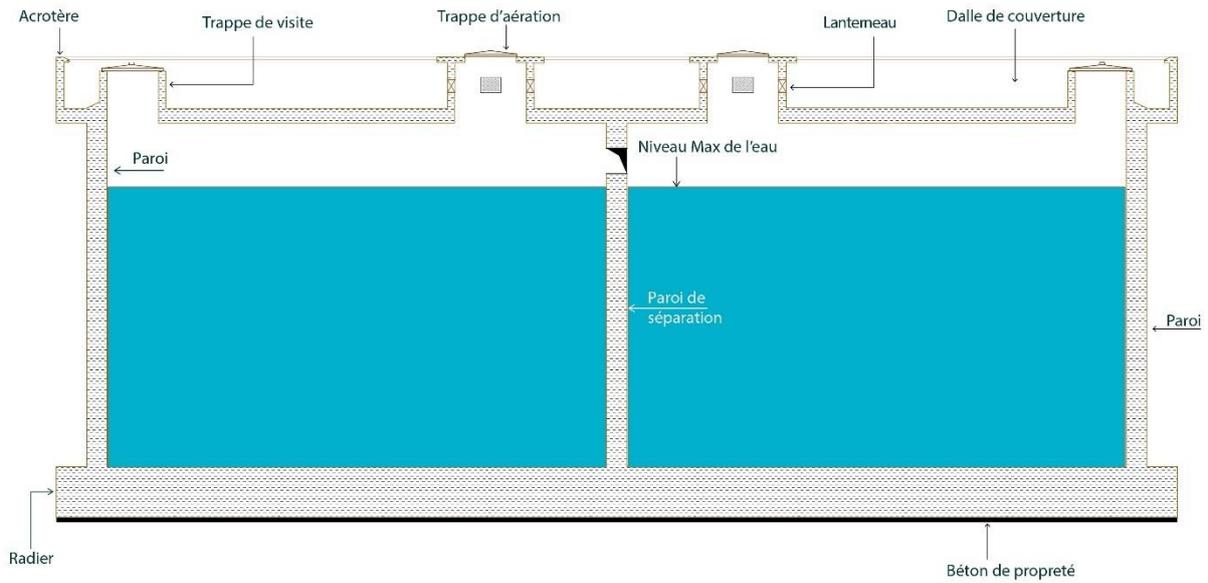
Sa forme rectangulaire est particulièrement bien adaptée pour les terrains irréguliers, car il peut s'adapter aux pentes et être encastré partiellement dans la colline pour réduire l'impact visuel. Nous proposons qu'il soit conçu avec deux compartiments indépendants, permettant une gestion optimale des flux d'eau et facilitant l'entretien de l'unité en gardant une partie opérationnelle pendant les opérations de maintenance. Ces compartiments communiquent entre eux et sont reliés, directement, à la conduite d'adduction et à la conduite maîtresse de distribution.

La géométrie du réservoir rassemble plusieurs composantes tel que le radier qui constitue une base solide de celle-ci et est dimensionné de sorte répartir uniformément les charges sur le sol. Les parois du réservoir sont faites de voile étanche en béton armé, recouvert par une dalle reposant sur des poteaux. Afin de faciliter les interventions de maintenances et d'installations, une trappe de visite est nécessaire sur la dalle ou le voile.

Toutefois, la trappe d'aération reste indispensable afin de favoriser la ventilation.

Les différentes parties du réservoir sont illustré sur la figure ci-dessous (@Maba

**Figure 14) :**



@Maba

**Figure 14:** Coupe annotée d'un réservoir.

#### IV.2. Paramétrage du logiciel pour la modélisation

Pour la modélisation, nous avons suivi la démarche suivante :

- Choix de la norme de calcul
- Insertion des propriétés des matériaux (Béton et aciers)
- Insertion des propriétés de chaque élément de la structure : la section
- Génération du Modèle tridimensionnel de l'ouvrage
- Insertion des charges et combinaisons : Poussée des terres, poussée hydrostatique
- Calcul et extraction des cartographies des efforts internes pour chaque composant.

Les sections d'aciers générés à travers le logiciel ROBOT sont vérifiées sur le logiciel EXPERT en utilisant les efforts internes et l'état de fissuration.

#### IV.3. Évaluation des Charges et surcharges

Pour une stabilité durable de la structure, les éléments structuraux de l'ouvrage seront pré-dimensionnés conformément au règlement du BAEL 91 modifié 99 tout en tenant compte des sollicitations tels :

**Tableau 3 :** Sollicitations exercées sur l'ouvrage.

Sollicitations	Charges	
Sollicitations verticales	Charges permanentes	Poids propre
		Enduit et Étanchéité
		Isolation thermique
	Charges d'exploitation	Entretien
		Eau
		Poussée des terres

#### IV.4.1. Pression hydraulique

La pression d'eau s'applique horizontalement sur les parois est donnée par la formule suivante :

$$P_{\text{hydrau}} = \gamma_{\text{eau}} \times H_{\text{eau}} \quad (1)$$

Avec  $\gamma_{\text{eau}} = 10 \text{ kN/m}^3$

$$H_{\text{eau}} = 5,5 \text{ m}$$

On obtient :  $P_{\text{eau}} = 10 \times 5,5 = 55 \text{ kN/m}^2$

$$P_{\text{eau}} = 55 \text{ kN/m}^2$$

#### ❖ Poids de l'eau

Le poids de l'eau dans le réservoir est de :

$$P_{\text{eau}} = \gamma_{\text{eau}} \times V_{\text{eau}} \quad (2)$$

Avec :  $\gamma_{\text{eau}} = 10 \text{ kN/m}^3$

$$V_{\text{eau}} = 2305 \text{ m}^3$$

On obtient :  $P_{\text{eau}} = 10 \times 2305$

$$P_{\text{eau}} = 23050 \text{ kN}$$

#### IV.4.2. La poussée des terres

Le poids des poussées des terres est donné par la formule suivante :

$$P_{\text{terre}} = K_a \times \gamma_{\text{sol}} \times Z \quad (3)$$

Avec :

**K<sub>a</sub>** : Le coefficient de poussée des terres.

**γ<sub>sol</sub>** : le poids volumique du sol.  $\gamma_{\text{sol}} = 19 \text{ KN/m}^3$

**Z** : la profondeur d'ancrage de l'ouvrage (3 m).

Le coefficient de poussée **K<sub>a</sub>**, est calculé à partir de la théorie de coulomb-Rankine.

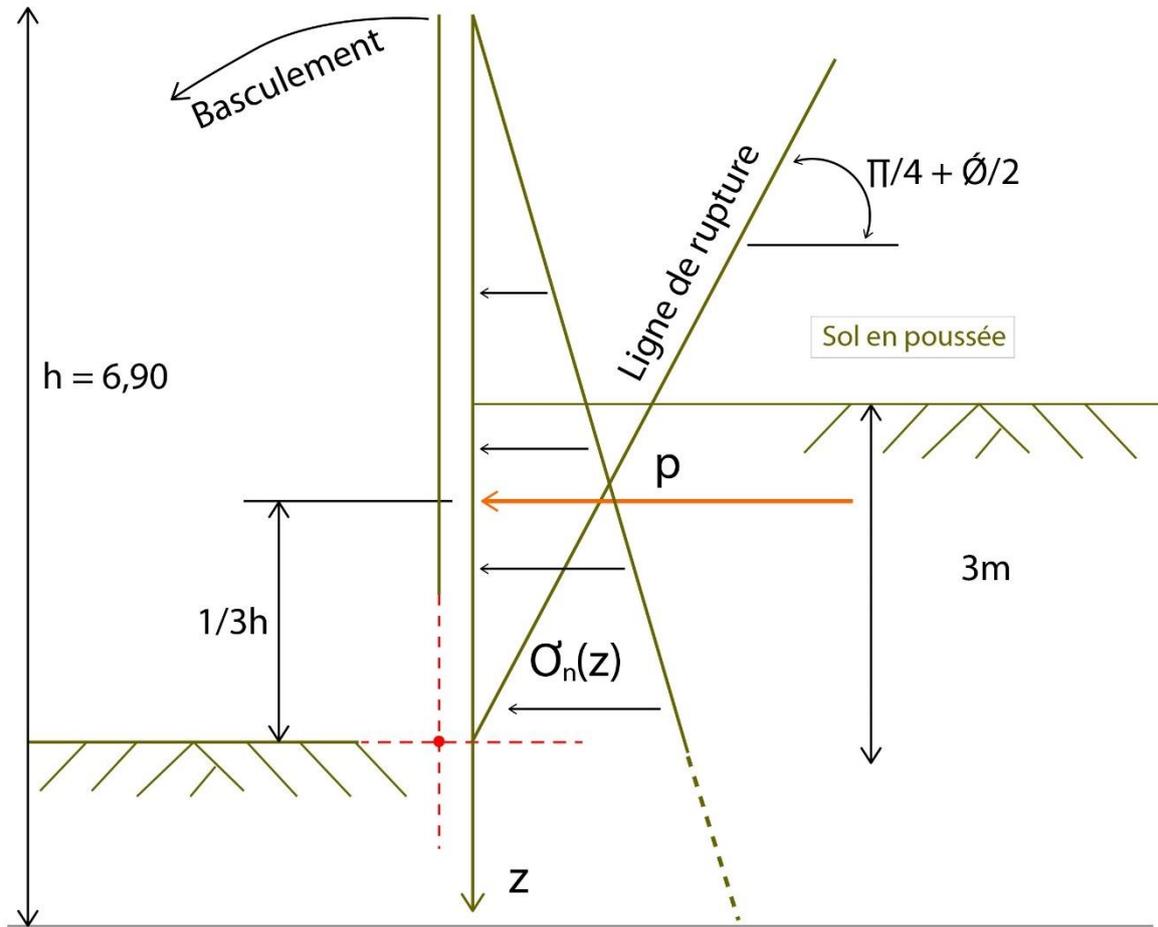
$$K_a = \text{tg}^2 \left( \frac{\pi}{4} - \frac{\phi}{2} \right) \quad (4)$$

$$\rightarrow K_a = \text{tg}^2 \left( \frac{180}{4} - \frac{24}{2} \right)$$

Donc :  $K_a = 0,37$

On obtient :  $P_{\text{terre}} = 0,37 \times 19 \times 3$

$$P_{\text{terre}} = 21,09 \text{ kN/m}^2$$



@Maba

Figure 15: La poussée des terres sur le réservoir

#### IV.4. Prédimensionnement des éléments structuraux

Le Prédimensionnement des éléments de structure est choisi selon les préconisations du (BAEL 91, Modifié 99, 1999), les résultats obtenus ne sont pas définitifs, ils peuvent être ajustés après vérification dans la phase de dimensionnement.

##### ✚ Caractéristiques du béton

Les Contraintes admissibles du béton à la traction et à la compression sont obtenues par les relations ci-dessous :

- Résistance à la compression à 28 jours :  $f_{c28} = 30$  MPa ;
- Résistance à la traction à 28 jours :  $f_{t28} = 2,4$  MPa ;
- Enrobage 3cm sur les parois et 5 cm en fondation

- Poids volumique ou densité du béton : 2,5 t/m<sup>3</sup> = 25 kN/m<sup>3</sup>

La contrainte de calcul à l'ELS du béton est de :

$$\overline{\sigma}_{bc} = 0,6f_{c28} \quad (5)$$

On obtient :  $\overline{\sigma}_{bc} = 18 \text{ MPa}$

La contrainte tangentielle  $\tau_u$  du béton est de :

$$\tau_u = \text{Min} \left( \frac{0,15 f_{c28}}{\gamma_b} ; 4 \text{ MPa} \right) \quad (6)$$

On obtient :  $\tau_u = 3 \text{ Mpa}$

### Limitation de la contrainte de traction du béton

Les contraintes de traction du béton dans les sections entièrement tendues et celles développées sur la face mouillée des parois, calculées vis-à-vis de l'état-limite de service et en section homogénéisée, ne peuvent excéder la valeur :

$$\overline{\sigma}_{bt} = 1,10 \theta f_{t28} \quad (7)$$

Avec :  $\theta = 1 + \frac{2e_0}{3h_0}$  et  $f_{t28} = 2,4 \text{ MPa}$

On obtient :  $\overline{\sigma}_{bt} = 1,10 \times \theta \times f_{t28} \rightarrow \overline{\sigma}_{bt} = 1,10 \times \frac{5}{3} \times 2,4 = 4,41 \text{ MPa}$

$$\overline{\sigma}_{bt} = 4,41 \text{ MPa}$$

### Le module de déformation du béton

Le module d'élasticité instantanée est de :

$$E_i = 1000 \times \sqrt[3]{f_{c28}} \quad (8)$$

On obtient :  $E_i = 3107,23 \text{ MPa}$

Le module d'élasticité différé est de :

$$E_v = 3700 \times \sqrt[3]{f_{c28}} \quad (9)$$

On obtient :  $E_v = 11496,76 \text{ MPa}$

### Le coefficient de poisson $\nu$

La gamme des valeurs du retrait a été étendue à tous les climats (du plus humide au plus sec).

Pour être plus conforme à la réalité, le coefficient de Poisson du béton doit être pris égal à 0 pour le calcul des sollicitations et à 0,2 pour celui des déformations.

#### ✚ Caractéristiques des aciers

Les aciers utilisés seront du type haute adhérence FE500. Le calcul de la contrainte des aciers à l'état limite de service suivant le fascicule 74 est donnée par la formule suivante :

$$\overline{\sigma}_{st} = \min \begin{cases} \alpha \sqrt{\frac{\eta f_{t28}}{\phi_s}} + \eta \beta; \\ 0,5 f_e ; \\ 90 \sqrt{\eta f_{t28}} ; \end{cases} \quad (10)$$

Avec :

$\alpha=240$  dans le cas général

$\eta=1,6$  Pour les aciers HA

$\phi_s$  : varie en fonction du diamètre de l'acier.

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

On obtient le tableau des contraintes en fonction des différents diamètres :

**Tableau 4:** Contraintes des aciers en fonction des diamètres.

$\phi_s$	8	10	12	14	16	20
$\overline{\sigma}_{st}$	176,36	176,36	176,65	155,69	147,58	135,16

Le module d'élasticité E qui exprime la rigidité de l'acier est de : E = 210 GPa.

#### IV.4.1. Parois en béton armé

Les parois sont des murs voiles fondés sur un radier, ils sont similaires au comportement d'un mur de soutènement. Le réservoir est constitué de 04 parois extérieures et d'une paroi de séparation à l'intérieur.

L'épaisseur minimale des parois d'un réservoir prescrit par (Fascicule 74, Construction des réservoirs en béton, 1998) est de 15 cm.

Soit  $H_p$  : la hauteur maximale de paroi  $\Rightarrow H_p = 6,80$  m.

$$(H_p/25) \leq e \leq (H_p/24)$$

$$0,27 \leq e \leq 0,28.$$

Nous adopterons une épaisseur ( $e$ ) de 40 cm pour les parois afin de faciliter le coffrage.

Soit  $P_{be}$ , le poids de béton des parois extérieurs du réservoir et  $P_{bi}$ , le poids du béton de la paroi intérieur.

Pour le calcul du poids des parois extérieurs (04), nous prendrons  $L = 20,80$  m et  $H_p = 6,80$  m.

$$P_{be} = L \times H_p \times e \times \gamma_{\text{béton}} \quad (11)$$

On obtient:  $P_{be} = 4 \times 20,80 \times 6,80 \times 0,4 \times 25$

$$P_{be} = 5657,6 \text{ kN.}$$

Pour le calcul du poids de la parois intérieurs, nous prendrons  $L_i = 20,00$  m et  $H_i = 5,80$  m

$$P_{bi} = L_i \times H_i \times e \times \gamma_{\text{béton}} \quad (12)$$

On obtient:  $P_{bi} = 20,00 \times 5,80 \times 0,4 \times 25$

$$P_{bi} = 1160 \text{ kN}$$

Soit  $P_{pee}$ , le poids de l'enduit sur les parois extérieurs du réservoir et  $P_{pei}$ , le poids de l'enduit sur la paroi intérieur.

$$P_{pee} = S_{\text{enduit}} \times \gamma_{\text{enduit}} \times \text{Nombre de face} \quad (13)$$

Avec :

$$S_{\text{enduit}} = L \times H_p$$

$$\gamma_{\text{enduit}} = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Nombre de face} = 4 \times 2$$

On obtient :  $P_{pee} = 20,80 \times 6,80 \times 0,2 \times 4 \times 2$

$$P_{pee} = 226,30 \text{ kN}$$

$$P_{pei} = 20,00 \times 5,80 \times 0,2 \times 2$$

$$P_{pei} = 46,4 \text{ kN}$$

Soit  $P_p$ , le poids total des parois du réservoir

$$P_p = P_{be} + P_{bi} + P_{pee} + P_{pei} \quad (14)$$

$$P_p = 5657,6 + 1160 + 226,30 + 46,4$$

$$P_p = 7090,3 \text{ kN}$$

Cependant, nous négligerons les orifices de canalisations sur les parois.

#### IV.4.2. La dalle de couverture

La dalle est réalisée sur un coffrage jointif recouvrant toute la surface.

Après analyses des conditions météorologiques et des phénomènes naturels présente dans la zone, nous irons sur la base d'une épaisseur de dalle respectant cette équation :

La dalle portant dans deux sens car  $l_x = 9.80 \text{ m}$  et  $l_y = 20.00 \text{ m}$

Soit  $e_c$ , l'épaisseur de la couverture du réservoir

Le rapport  $l_x / l_y$  est supérieur à 0.4, ceci implique que la dalle portera dans les deux sens

$$e_c \geq \frac{l_x}{30} \text{ avec } l_x = 9.80 \text{ m} \text{ d'où } e_c = 30 \text{ cm}$$

L'épaisseur de la dalle est de 30 cm.

Avec l'épaisseur de la couverture  $e_c = 0.3 \text{ m}$  et  $\gamma_{\text{béton}} = 25 \text{ kN/m}^3$

D'où le poids propre de la couverture est :

$$G_c = e_c \times \gamma_{\text{béton}} \quad (15)$$

$$\text{On obtient : } G_c = 0.3 \times 25 \Rightarrow G_c = 7.5 \text{ kN/m}^2$$

En tenant compte du poids surfacique de l'étanchéité  $0.2 \text{ kN/m}^2$ , on obtient le poids propre totale de la couverture  $G_{cT} = 7.7 \text{ kN/m}^2$

Soit  $S_1$  la surface de la couverture sans ouverture et  $S$  la surface de la couverture avec ouverture

$$S_1 = 22 \times 22 \Rightarrow S_1 = 484 \text{ m}^2$$

Soit S' la surface d'ouverture du lanterneau et S'' la surface d'ouverture de la trappe de visite

$$S' = 1,4 \times 1,4 \Rightarrow S' = 1,96 \text{ m}^2$$

$$S'' = 1 \times 1 \Rightarrow S'' = 1 \text{ m}^2$$

On obtient:

$$S = S_1 - S' - S'' \quad (16)$$

$$\text{D'où } S = 481,04 \text{ m}^2$$

Le poids total de la couverture est :

$$P_c = S \times G_{cT} \quad (17)$$

$$\text{On a : } P_c = 481,04 \times 7.7$$

$$P_c = 3704 \text{ kN}$$

#### IV.4.3. Prédimensionnement du poteau

Le calcul de la section du béton se fera au flambement sous l'action de la compression centrée. Nous avons au totale 03 poteaux mais, les poteaux de rive, d'angle et centraux étant les plus sollicités feront l'objet du dimensionnement.

On utilisera un calcul basé sur la descente de charge tous en appliquant la loi de dégression des charges d'exploitation. Les dimensions de base du poteau sont de 50 × 50 cm<sup>2</sup> puis nous vérifierons à l'issue de la descente de charge.

##### Descente de charge du poteau

Le poids de la dalle de couverture et la retombée de poutre sont considérés comme surcharge sur le poteau.

$$\text{Surface d'impact du poteau : } S = 88,2 \text{ m}^2$$

Soit P<sub>d</sub>, le poids de la dalle de couverture

Soit une surcharge sur la dalle de couverture S = 1 kN/m<sup>2</sup>

**Tableau 5 :** Descente de charge sur le poteau.

Elément	G (kN)	Q(kN)
Dalle de couverture	$88,2 \times 0,3 \times 25$ = 661.5	$1 \times 88,2 =$ 88,2
Etanchéité	$0,48 \times 88,2$ = 42,3	
Total	703.8	88,2
<b>Nu = 1,35 G + 1,5Q</b>	<b>1082,4</b>	

Sous l'hypothèse que le poteau est de forme carrée, avec une dimension de 50x50 cm<sup>2</sup>, nous vérifierons s'il peut supporter les efforts sans toutefois flamber.

➤ Vérification du flambement du poteau

Il s'agit de vérifier que l'élancement  $\lambda$  soit inférieur ou égale à 35.

$$\lambda = \frac{L_f}{i} \text{ (l'élancement).} \quad (18)$$

$$L_f = 0.5l_0 \text{ (} L_f \text{ étant la longueur de flambement et } l_0 \text{, la hauteur de poteau).} \quad (19)$$

$$i = \sqrt{\frac{L_f}{i}} \text{ (rayon de giration de la section transversale).} \quad (20)$$

$$I = \frac{b^4}{12} \text{ (Moment d'inertie de la section)} \quad (21)$$

Pour  $l_0 = 6,80$  m,  $L_f = 3,40$  m

Le moment d'inertie  $I = 0.5^4 / 12 = 0,0052$  m<sup>4</sup> et la surface  $B = 0,5 \times 0,5 = 0,25$  m<sup>2</sup>

Le rayon de giration de la section est :  $i = \sqrt{\frac{0,0052}{0,25}} = 0,144$

D'où l'élancement  $\lambda = \frac{3,40}{0,144} = 23,61 \leq 35$ , le flambement du poteau est vérifié.

☞ Poids des poteaux

Soit  $P_{\text{pot}}$  le poids des poteaux et  $V_{\text{pot}}$  le volume d'un poteau,

$$P_{\text{pot}} = (\gamma_{\text{béton}} \times V_{\text{pot}}) \times \text{Nombre de poteaux} \quad (22)$$

$$P_{\text{pot}} = 25 \times (0,5 \times 0,5 \times 6,80) \times 3$$

D'où  $P_{\text{pot}} = 127,5 \text{ kN}$ .

#### IV.4.4. Éléments structuraux secondaire

✚ Le lanterneau

Le lanterneau est une ouverture sur la couverture du réservoir servant d'éclairage ou de ventilation. Il est constitué d'une dalle et des parois. Ce réservoir comporte 02 lanterneaux repartis pour chaque cuve et couvert par une trappe d'aération.

➤ Le poids de l'étanchéité et l'enduit de ciment

Le poids surfacique de l'étanchéité est de 0,48 kN/m<sup>2</sup>

Le poids surfacique de l'enduit est de 0,2 kN/m<sup>2</sup>

$$P_e = G_T (l \times L) \quad (23)$$

$$G_T = 0,2 + 0,48 = 0,68 \text{ kN/m}^2$$

$$P_e = 0,68 (1,1 \times 1,1)$$

On obtient:  $P_e = 0,82 \text{ kN}$

➤ Le poids du voile du lanterneau sans ouverture

Le lanterneau possède 04 parois d'épaisseur 15 cm, de hauteur 90 cm et de longueur 100 cm.

$$P_v = \gamma_{\text{béton}} (l \times L \times e) \times \text{Nombre de paroi} \quad (24)$$

$$P_v = 25 (1 \times 0,9 \times 0,15) \times 4$$

⇒  $P_v = 13,5 \text{ kN}$ .

Une minoration de 20% sur le poids du voile sans ouverture pour obtenir le poids du voile avec ouverture.

$$P'_v = 13,5 \times 0,8 \Rightarrow P'_v = 10,8 \text{ kN.}$$

D'où le poids total du lanterneau est de :

$$P_L = (P'_v + P_e) \times \text{Nombre de lanterneau} \quad (25)$$

$$P_L = (10,8 + 0,82) \times 2$$

$$\Rightarrow P_L = 23,24 \text{ kN}$$

✚ La trappe de visite

Le poids propre de la trappe de visite est de :

$$P_T = \gamma_{\text{beton}} (l \times L \times e) \quad (26)$$

$$P_T = 25 (1 \times 0,7 \times 0,15) \times 4$$

$$\Rightarrow P_T = 10,5 \text{ kN}$$

Pour deux trappes de visite, on a :  $P_T = 21 \text{ kN}$

✚ Escaliers

Les escaliers sont constitués de 16 marches de 80 cm de longueur L, 28,125 cm de largeur l et 18,75 cm de contremarche c.

Soit  $P_{\text{esc}}$  le poids propre des escaliers

Le poids propre des escaliers est donné par la formule suivante :

$$P_{\text{esc}} = L \times l \times c \times \text{Nombre de marche} \quad (27)$$

$$P_{\text{esc}} = 0,8 \times 0,28125 \times 0,1875 \times 25 \times 16$$

$$\Rightarrow P_{\text{esc}} = 16,875 \text{ kN}$$

### ✚ L'acrotère

L'acrotère est un élément de sécurité au niveau de la terrasse, il forme une paroi contre toute chute, elle est considérée comme une console encastrée à sa base, soumise à son poids propre et à une surcharge horizontale due à la main courante.

Pour le calcul du poids de l'acrotère, nous négligerons les vides d'aération.

#### ➤ Surface de l'acrotère

$$S_a = (0,6 \times 0,2) + (0,9 \times 0,15) + (0,1 \times 0,15) + (0,08 \times 0,05) + \frac{0,05 \times 0,02}{2}$$

$$S_a = 0,27 \text{ m}^2$$

#### ➤ Poids propre de l'acrotère pour 1 ml

Le poids propre de l'acrotère est donné par la formule suivante :

$$P_a = S_a \times \gamma_{\text{béton}} \times 1 \quad (28)$$

$$P_a = 0,27 \times 25 \times 1 \Rightarrow P_a = 6,75 \text{ kN}$$

#### ➤ Revêtement en ciment

Le poids volumique du revêtement en ciment est de  $\gamma_{\text{Ciment}} = 18 \text{ kN/m}^3$  d'épaisseur 2 cm

Il s'exprime à travers la formule suivante :

$$P_r = \gamma_{\text{Ciment}} \times \text{épaisseur} \times \text{Longueur développée} \quad (29)$$

$$P_r = 18 \times 0,02 \times (3,24) \times 1 \Rightarrow P_r = 1,166 \text{ kN}$$

D'où le poids total de l'acrotère est de :  $G_a = 6,75 + 1,166 \Rightarrow G_a = 7,916 \text{ kN}$

### ✚ Le poids total du réservoir d'eau

Le poids des différents éléments du réservoir sont regroupés dans le tableau suivant :

**Tableau 6** : Poids des composants du réservoir.

Désignation	Poids (kN)
Lanterneau	<b>23,24</b>
Acrotère	7,916
Trappe de visite	21
Dalle de couverture	3704
Poteaux	127,5
Escaliers	16,875
Parois	<b>7090,3</b>
Eau	23 050
<b>Total</b>	<b>34040.83</b>

Le poids du réservoir plein est de :  $P_{RP} = 34040.83 \text{ kN}$

Le poids du réservoir vide est de :  $P_{RV} = 10990.83 \text{ kN}$

#### IV.4.5. Le radier général

✚ Prédimensionnement du radier

Le radier général d'un réservoir est pré-dimensionnée de la même manière que le patin d'un mur de soutènement. L'épaisseur est déduite de la relation suivante :

$$(H/15) \leq H_r \leq (H/12)$$

Avec :H la hauteur des voiles du réservoir

$$\text{On a : } \frac{6,80}{15} \leq H_r \leq \frac{6,80}{12} \rightarrow 0,45 \leq H_r \leq 0,56$$

On obtient une épaisseur du radier  $H_r = 0,55 \text{ cm}$

✚ Vérification du non-poinçonnement

$$Q_u = 1,35G + 1,5Q \quad (30)$$

Avec : G le poids du réservoir vide et Q le volume d'eau

On a :

$$Q_u = 1,35 \times 10990,83 + 1,5 \times 23050$$

$$Q_u = 49412,5 \text{ kN}$$

Soit  $\mu_c$  : Périmètre de la surface d'impact.

$$\mu_c = 4 \times L \quad \text{avec : } L = l = 20,8 \text{ m}$$

$$\mu_c = 20,8 \times 4 = 83,2 \text{ m.}$$

La condition du non-poinçonnement est vérifiée par la formule suivante :

$$Q_u \leq 0,045 \mu_c \cdot \frac{f_{c28}}{\gamma_{bc}} \cdot H_r \quad (31)$$

$$\text{On a : } Q_u \leq 0,045 \times 83,2 \times \frac{30}{1,5} \times 0,55$$

$$Q_u = 49,41 \text{ MN} \geq 41,18$$

La condition n'est pas vérifiée pour une épaisseur de  $H_r = 55 \text{ cm}$ . Nous allons augmenter l'épaisseur du radier à  **$H_r = 70 \text{ cm}$**  puis vérifier à nouveau le non-poinçonnement.

$$\text{On obtient : } Q_u \leq 0,045 \times 83,2 \times \frac{30}{1,5} \times 0,7$$

$$Q_u = 49,41 \text{ MN} \leq 52,41 \text{ MN, d'où la condition est vérifiée.}$$

✚ Calcul des sollicitations

Les sollicitations qui s'appliquent sur le radier sont constitués du poids propre de celui-ci ainsi qu'une charge due à l'étanchéité. Cette surcharge est équivalente à 2 kN/m<sup>2</sup> à cause de son accessibilité.

Soit  $G_{\text{rad}}$ , le poids propre du radier

$$G_{\text{R}} = L \times l \times H_{\text{r}} \times \gamma_{\text{béton}} \quad (32)$$

$$G_{\text{R}} = 20,8 \times 20,8 \times 0,7 \times 25$$

$$\Rightarrow G_{\text{R}} = 7571,2 \text{ kN}$$

Soit  $G_{\text{Etanchéité}}$ , le poids propre de l'étanchéité sur le radier

$$G_{\text{Etanchéité}} = L \times l \times \text{Poids de l'étanchéité} \quad (33)$$

$$G_{\text{Etanchéité}} = 20,8 \times 20,8 \times 0,48$$

$$\Rightarrow G_{\text{Etanchéité}} = 207,66 \text{ kN}$$

D'où le poids total du radier est de :

$$G_{\text{rad}} = G_{\text{R}} + G_{\text{Etanchéité}} \quad (34)$$

$$G_{\text{rad}} = 7571,2 + 207,66 = 7778,86 \text{ kN}$$

A l'ELU :

$$N_u = 1,35G_T + 1,5Q_T \quad (35)$$

$$\Rightarrow N_u = 1,35 (P_{\text{RV}} + G_{\text{rad}}) + 1,5Q_T$$

$$\text{On obtient : } N_u = 1,35 (10990,9 + 7778,86) + 1,5 \times 23050$$

$$N_u = 59914,17 \text{ kN}$$

A l'ELS :

$$N_s = G_T + Q_T \quad (36)$$

$$\Rightarrow N_s = P_{\text{RV}} + G_{\text{rad}} + Q_T$$

$$\text{On obtient : } N_s = 10990,9 + 7571,2 + 23050$$

$$N_s = 41612,1 \text{ kN}$$

✚ Vérification de la contrainte de cisaillement

La contrainte de cisaillement est vérifiée par la formule suivante :

$$r_u = \frac{V_u}{b \times d} \leq 0,15 f_{c28} \quad (37)$$

$$\text{Avec : } b = 1 \text{ m ; } d = 0,9h = 0,9 \times 0,7 = 0,63 \text{ m ;}$$

$$V_u = \frac{Nu \cdot b}{\text{Surface du radier}} \cdot \frac{L_{max}}{2} \quad (38)$$

$$V_u = \frac{59,91}{20,8 \times 20,8} \cdot \frac{20,8}{2} = 1,4 \text{ MN}$$

La contrainte de cisaillement est de :  $r_u = \frac{1,4}{1 \times 0,63} = 2,2 \leq 3 \text{ MPa}$

#### ✚ Vérification au non glissement

Cette vérification justifie le non soulèvement de la structure sous l'effet de la pression hydrostatique.

$$H \leq \frac{V \times \tan(\varphi) + c \times A}{F} \quad (39)$$

Où :

- H est la résultante des poussées des terres et de la pression hydrostatique
- V est le poids propre du réservoir plein
- $\varphi$  est l'angle de frottement à l'interface sol-radier
- c est la cohésion à l'interface sol-radier
- A est la surface de contact entre le radier et le sol
- F est un facteur de sécurité (généralement entre 1,5 et 2)

On a :

$$V = P_{RV} + G_{rad} \quad (40)$$

$$\rightarrow V = 10990,9 + 7778,86 = 18769,7 \text{ kN}$$

$$\frac{V \times \tan(\varphi) + c \times A}{F} = \frac{18769,7 \times \tan(24) + 5 \times 432,64}{1,5} = 7013,33 \text{ kN}$$

$$H = P_{terre} + P_{hydro} \quad (41)$$

$$H = 21,09 + 55 = 76,09 \text{ kN} \leq 7013,33 \text{ kN.}$$

D'où la condition au non glissement est vérifiée.

#### ✚ Vérification de la surface minimale du radier

Soit  $S_r$  la surface du radier et  $\sigma_{sol}$ , la contrainte admissible du sol

$$S_r = 20,8 \times 20,8 = 432,64 \text{ m}^2 \text{ et } \sigma_{sol} = 1,56 \text{ MPa}$$

La surface du radier doit être telle qu'elle puisse vérifier la condition suivante :

$$S_r \geq \frac{N}{\sigma_{sol}} \quad (42)$$

On obtient :

$$\text{à l'ELU, } S_r \geq \frac{N_u}{1,35 \times \sigma_{sol}} \Rightarrow S_r = 432,64 \geq \frac{59914,17}{1,35 \times 156} = 285,5 \text{ m}^2$$

$$\text{à l'ELS, } S_r \geq \frac{N_s}{\sigma_{sol}} \Rightarrow S_r = 432,64 \geq \frac{41612,1}{156} = 266,74 \text{ m}^2$$

D'où la condition est vérifiée.

#### ✚ Modélisation et dimensionnements des éléments structuraux

Pour toutes les armatures des sections entièrement tendues et pour les armatures proches de la face mouillée des sections partiellement tendues, la contrainte de traction, exprimée en MPa. D'après les règles BAEL 91, la contrainte de traction des armatures à l'ELS est limitée à :

$$\bar{\sigma}_s = \text{Min} \left\{ \begin{array}{l} \frac{2}{3} f_e \\ \text{Max} \left( 0,5 f_e ; 110 \sqrt{\eta f_{tj}} \right) \end{array} \right. \quad (43)$$

$$\bar{\sigma}_s = 250 \text{ MPa}$$

**Tableau 7 :** Récapitulatifs des dimensions des composants du réservoir.

Éléments	Dimension utile	Dimension constructive	
		Compartment 1	Compartment 2
Longueur intérieure (cm)	2000	2000	2000
Largeur intérieure(cm)	2000	980	980
Hauteur utile d'eau (cm)	550	550	550
Hauteur des voiles (cm)	680	680	680
Épaisseur des voiles (cm)	40	40	40
Épaisseur du radier (cm)	100	100	100
Épaisseur de couverture (cm)	20	20	20
Poteaux (cm)	Section : (50 × 50)		
Volume utile (m3)	2305	1078	1078
Surface utile (m2)	400	196	196

#### IV.5. Présentation générale du dimensionnement du réservoir

##### IV.5.1. Présentation du modèle conceptuel

Après le prédimensionnement à la main, nous avons procédé à la modélisation conceptuelle sur le logiciel robot 19.1. Cette modélisation a consisté à évaluer le comportement de chaque élément de l'ouvrage ainsi que les efforts s'appliquant sur celle-ci (*Figure 16*).

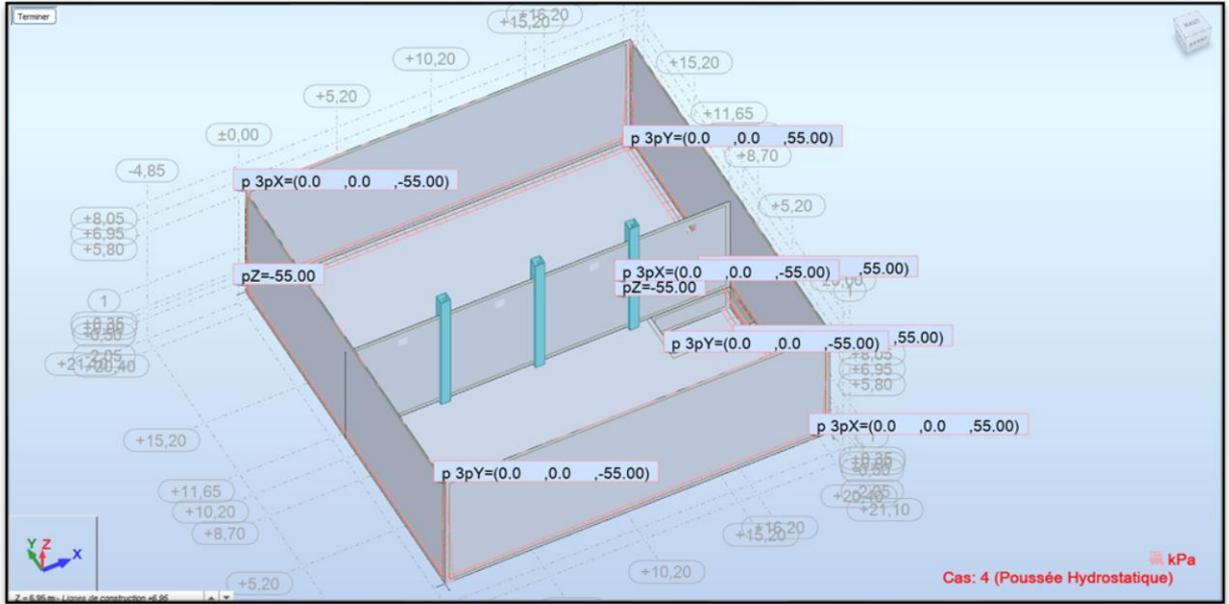


Figure 16: Poussée hydrostatique sur la structure.

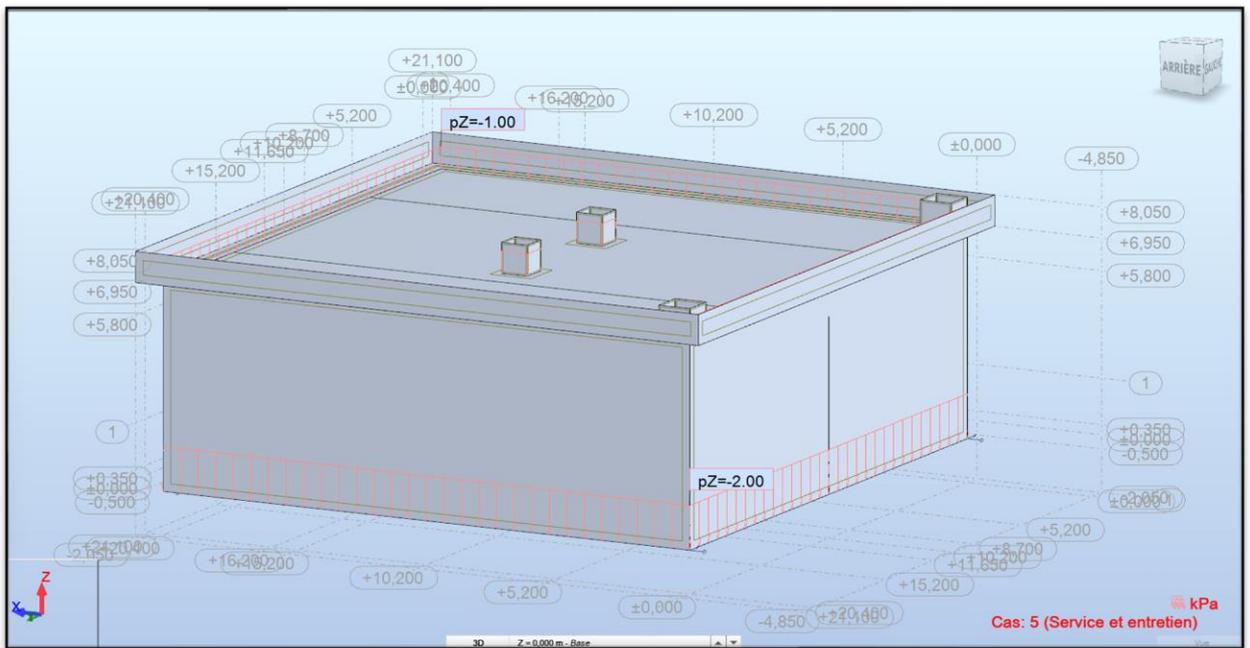


Figure 17: Service et entretien sur la structure.

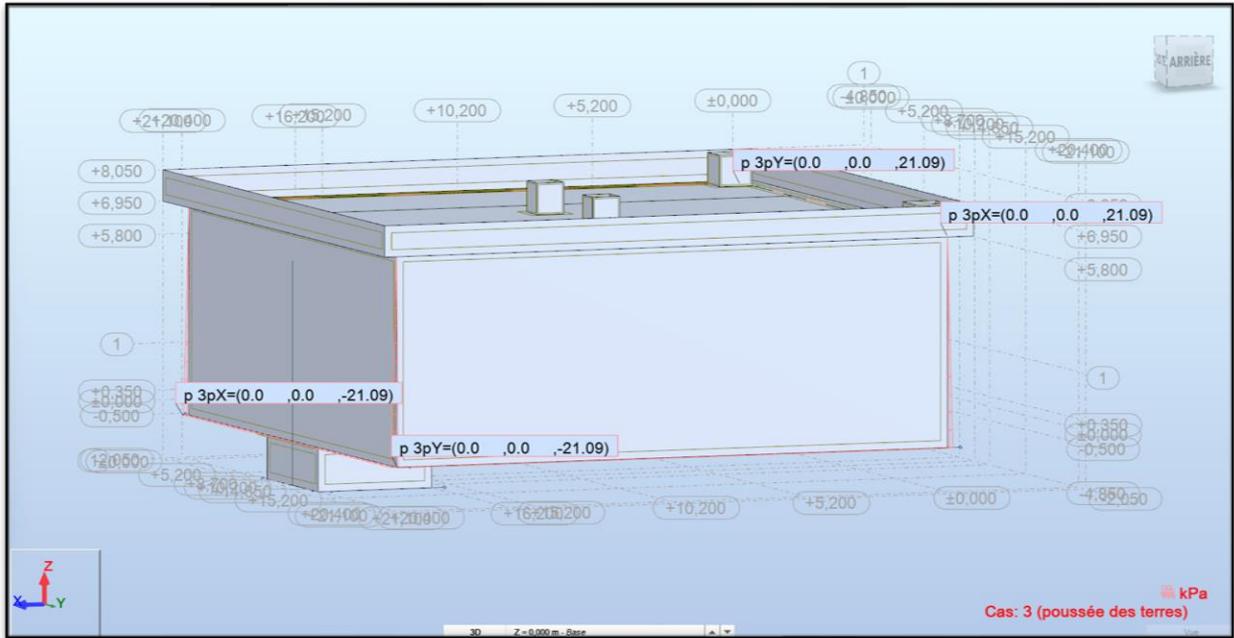


Figure 18: Poussée des terres sur la structure.

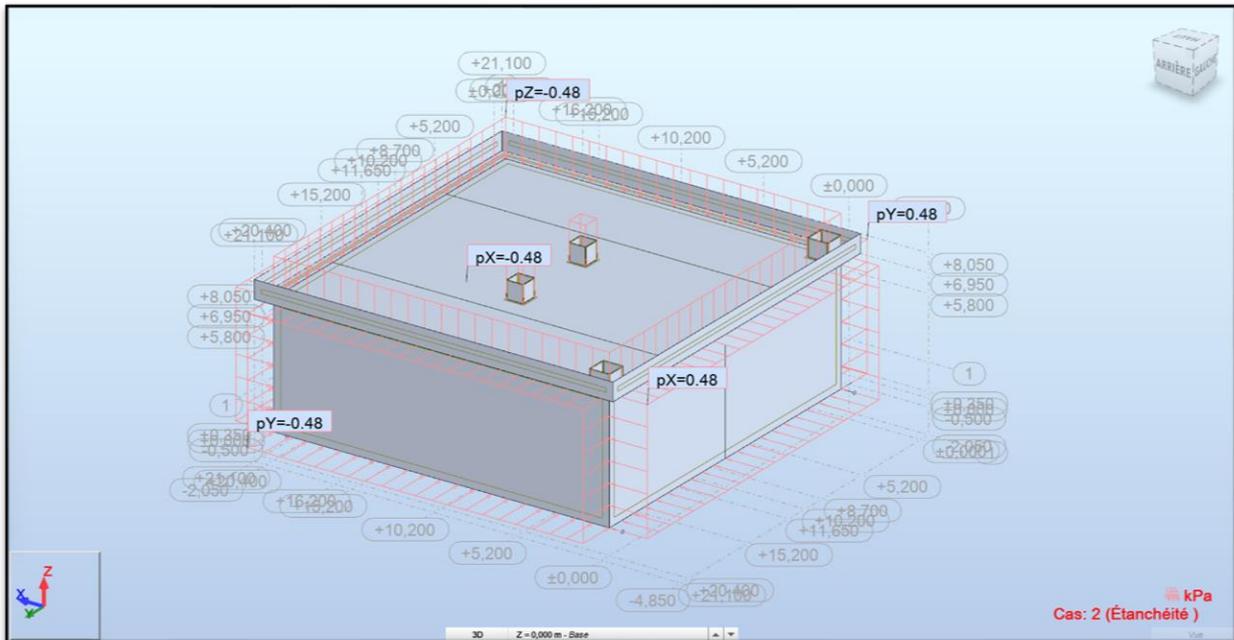


Figure 19: Poids de l'étanchéité sur la structure.

Le modèle de calcul aux éléments finis à l'issue de l'application des charges est donné dans le graphique ci-dessous (

Figure 20) :

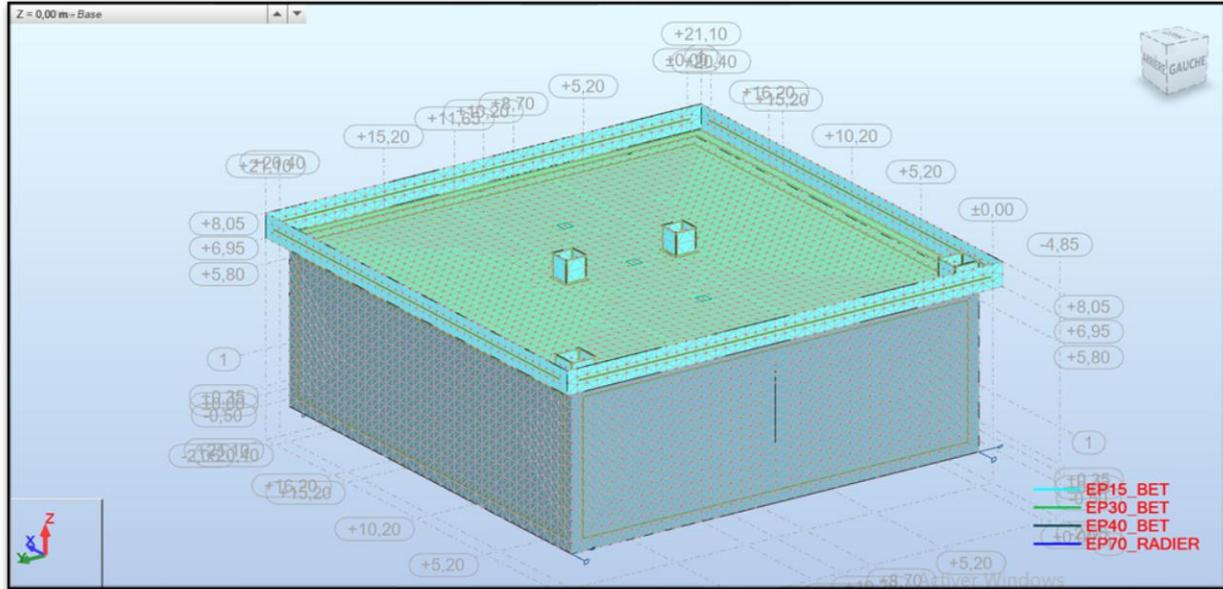


Figure 20: Maillage en éléments finis de la structure.

#### IV.5.2. Dimensionnement des poteaux

Le Poteau est sollicité par un effort de compression  $N$  due à l'encastrement sur la dalle de couverture. L'effort de compression résulte du poids propre du poteau, de la dalle de couverture, et de l'étanchéité. L'état de fissuration considéré est très préjudiciable à cause de la présence de l'eau.

#### Interprétations et exploitations des résultats

Pour une section de  $50 \times 50 \text{ cm}^2$ , un effort de compression de  $N = 784,8 \text{ kN}$ ,

- Armatures longitudinales

La section d'armature obtenue à partir du logiciel RSA est de :

$$A_{st} = \left( \frac{N_u}{\alpha} - \frac{B_r \cdot f_{c28}}{0,9 \cdot \gamma_b} \right) \frac{\gamma_s}{f_e} \quad (44)$$

Avec :

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left( \frac{\lambda}{35} \right)^2} \quad (45)$$

$$\alpha = \frac{0,85}{1 + 0,2 \left( \frac{23,61}{35} \right)^2}$$

$$\alpha = 0,779$$

$$Br = (0.5 - 0.03)^2 = 0.22 \text{ m}^2$$

$$\text{On obtient : } Ast = \left( \frac{0,784}{0,779} - \frac{0,22 \times 30}{0,9 \times 1.5} \right) \frac{1,15}{500} = - 0,0089 \text{ m}^2$$

La section d'acier minimale est de :

$$A_{\min} = \max \left( 4\% P; \frac{0.2B}{100} \right) \quad (46)$$

$$A_{\min} = \max \left( 0,04 \times 2(50+50); \frac{0,2 \times 50 \times 50}{100} \right)$$

$$A_{\min} = 8 \text{ cm}^2$$

La section d'acier maximale est de :

$$A_{\max} = \frac{5.B}{100} \quad (47)$$

$$A_{\max} = \frac{5 \times 50 \times 50}{100} = 125 \text{ cm}^2$$

Choix possibles : nous avons obtenu une section d'acier théorique de  $As = 8 \text{ cm}^2$  , On aura donc une section d'acier réelle, de  $9,05 \text{ cm}^2$  correspondant **8HA12**.

➤ Armatures transversales

$$\Phi_t \geq \frac{\Phi_L}{3} \quad (48)$$

Avec

$\Phi_L$  : diamètre des armatures longitudinales.

$\Phi_t$  : diamètre des armatures transversales

$$\Phi_L = 12 \text{ mm}$$

$$\Phi_t \geq \frac{12}{3} = 4 \text{ mm} \text{ On prend } \Phi_t = 6 \text{ mm}$$

➤ Espacement des armatures transversales

L'espacement des armatures transversales est donné par la formule suivante :

$$St \leq \min (15\Phi_L, \min (a+10, 40) \text{ cm}) \quad (49)$$

$$St \leq \min (15 \times 1.2, \min (50+10, 40) \text{ cm}) \rightarrow St = 18 \text{ cm}$$

Nous prendrons  $St = 15 \text{ cm}$ .

### IV.5.3. Dimensionnement des parois

L'état de fissuration considéré est très préjudiciable à cause de la présence de l'eau et les charges qui s'appuient sur le réservoir.

Les parois sont soumises à la flexion composée (Moment et effort normal). Selon le fascicule 74, L'épaisseur des parois du réservoir est supérieure à 15cm ( $e > 15\text{cm}$ ) alors les armatures seront obligatoirement réparties en deux nappes.

- ✓ Paroi intérieure
- ✓ Parois extérieures
  
- Calcul du moment d'encastrement

La valeur du moment d'encastrement est exprimée par la formule suivante :

$$Me = \frac{We \times he}{4} \quad (50)$$

Avec  $\gamma_{\text{eau}} = 10 \text{ kN/m}^3$

$$H_{\text{eau}} = 5,5 \text{ m}$$

$$\text{On obtient : } Me = \frac{10 \times 5,5}{4} = 13,75 \text{ kN/m}^2$$

$$Me = 13,75 \text{ kN/m}^2$$

Le moment d'encastrement ( $Me$ ), obtenu est inférieur au moment due aux combinaisons des charges à l'ELU et à l'ELS.

- Comportement de l'excentricité du béton

La valeur de l'excentricité du béton est exprimée par la formule suivante :

$$e' = \frac{M_{ser}}{N_{ser}} ; \text{ avec } \{M_{ser} = M_t \text{ et } N_{ser} = N\} \quad (51)$$

$$e' = \frac{111,32}{220,54} = 0,5 \text{ m}$$

➤ Comportement du béton dans les parois

Il s'agit d'évaluer si la section est partiellement tendue.

Soit  $d$  la hauteur utile des parois et  $H_p$  la hauteur des parois

$$\text{On a : } d - 0,5H_p = 0,9 \times 0,40 - 0,5 \times 0,40 = 0,16 \text{ m} \leq 0,5 \text{ m}$$

$d - 0,5H_p \leq e$  donc la section est **partiellement tendue**.

### Interprétations et exploitations des résultats

Les moments et les efforts obtenues proviennent du calcul au logiciel RSA. (Annexe 4)

**Tableau 8:** Récapitulatifs des moments et des efforts sur les parois périphériques.

Combinaisons	Mxx ( kN.m/m)	Myy ( kN.m/m)	Nxx ( kN/m)	Nyy ( kN/m)
ELU	63,37	111,32	220,54	202,10
ELS	46,47	68,90	150,53	113,80
Valeurs max	$M_{\max} = 111,32$		$N_{\max} = 220,54$	
Sur appuis : $A_{st} \text{ (cm}^2\text{/m)}$	18,16			
Choix possible	10HA16 esp 10= 20,11			
En travée : $A_{st} \text{ (cm}^2\text{/m)}$	12,59			
Choix possible	7HA16 esp 15 =14,07			

	10HA14 esp 10 = 15,39
--	-----------------------

Le moment d'encastrement obtenue est inférieur au moments suivant l'axe xx et suivant l'axe yy. Pour le choix des sections d'acier sur toute la paroi, nous avons utilisé le moment maximal ainsi que l'effort normal maximal.

Au niveau des appuis (paroi-paroi), nous avons obtenu une section théorique de  $A_{st} = 18,16$  cm<sup>2</sup>/m. Les aciers principaux, en nappe extérieure et intérieure seront disposés des barres HA16 espacement de 10cm. Les plans de ferrailage sont joints en annexe 6.

#### Vérification aux conditions d'acier minimal

$$A_{stmin} = 0,125\% * B \quad (52)$$

$$\rightarrow A_{stmin} = 0,125 \times 10^{-2} \times 100 \times 40 = 5 \text{ cm}^2$$

$$A_{stmin} = 5 \text{ cm}^2$$

Condition  $A_{stmin} < A_{st}$  vérifiée

#### Vérification aux conditions d'acier maximal

$$A_{stmax} = 2\% * B \quad (53)$$

$$\rightarrow A_{stmax} = 80 \text{ cm}^2$$

Condition  $A_{st} < A_{stmax}$  vérifiée

#### Aciers répartitions

$$\frac{1}{3} A_p \leq A_r \leq \frac{1}{2} A_p \quad (54)$$

$$4,196 \text{ cm}^2/\text{m} \leq A_r \leq 6,29 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Choix des aciers possible : HA16 esp 15 cm

### **IV.5.4. Dimensionnement du radier**

Le calcul aux éléments finis du radier reposant sur un appui élastique de coefficient d'élasticité  $k_z$

➤ Calcul coefficient d'élasticité  $k_z$

Encore appelé Coefficient de ballast, coefficient de Westergaard ou encore module de réaction du sol  $k_z$ , il est déterminé lors de l'essai pressiométrique selon le Fascicule 62. Cependant, après le dépouillement des résultats des essais pressiométriques, force est de constater que cette valeur n'a pas été mise en évidence. Dans cette dynamique, le livre de (E.Bowles, 1997), qui établit l'équation suivante :

$$k_z = 40 \sigma_{Ultime} \quad (55)$$

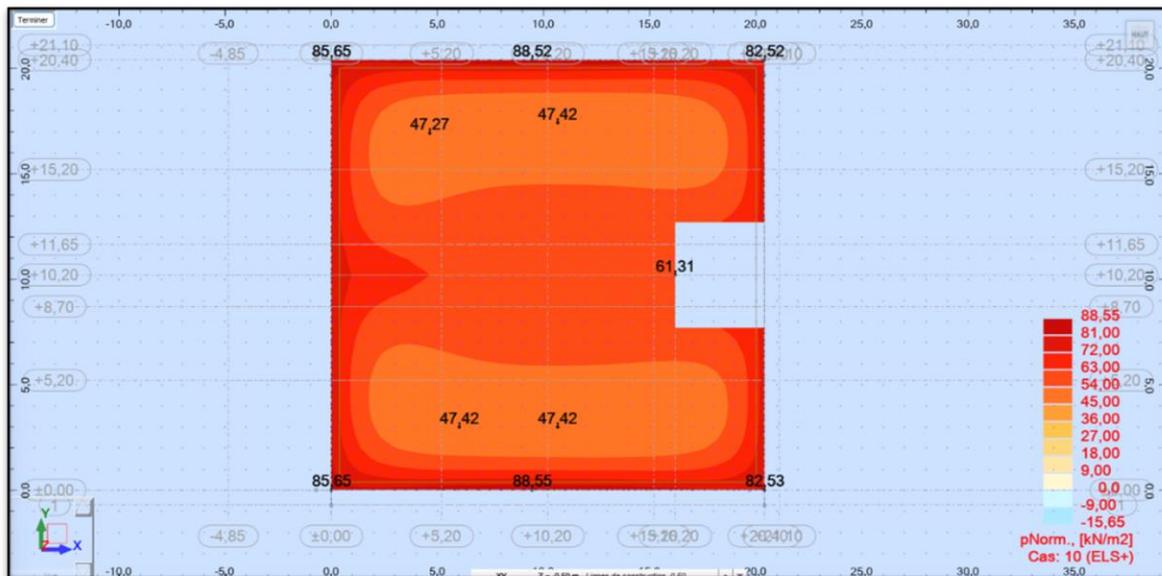
Avec  $\sigma_{Ultime}$ : la contrainte ultime du sol

$$\text{Pour } \sigma_{Ultime} = 3 \times \sigma_{sol}$$

On obtient :  $k_z = 40 \times 3 \times 1,56$

$$k_z = 187,2 \text{ MN/m}^3$$

Le radier est assimilé à un plancher chargé par la réaction uniforme du sol, il est composé de plusieurs panneaux simplement appuyés sur 4 cotés.



**Figure 21:** Cartographie de la réaction du sol.

La réaction du sol est 88,55 kN/m<sup>2</sup> inférieure en tous points à la contrainte admissible définie par le rapport d'étude géotechnique qui est de 1560 kN/m<sup>2</sup>. Cela s'explique par le fait que le

réservoir est bien dimensionné par rapport aux caractéristiques du sol, et qu'il y a une réserve de capacité portante qui peut absorber la variation des charges et éventuellement une stabilisation de l'ouvrage lors des secousses.

Le calcul se fera en flexion simple, Le radier est toujours en contact avec l'eau ; la fissuration est très préjudiciable ; Le panneau considéré est continu au-delà des appuis (panneau intermédiaire).

### *Interprétations et exploitations des résultats*

Le tableau 9 représente les moments maximums suivant l'axe des x et l'axe des y. les cartographies des moments et des aciers sont joint en annexe (Annexe 4). En observant les résultats, le ferrailage de la nappe supérieure et inférieure suivant x et y seront identiques.

On disposera dans les deux sens, en nappe inférieure et supérieure, des barres HA16 espacement de 15cm.

**Tableau 9:** Récapitulatifs des moments et des sections d'aciers du radier.

Combinaisons	M <sub>xx</sub> ( kN.m/m)	M <sub>yy</sub> ( kN.m/m)
ELU	199,53	195,17
ELS	109,90	108,53
Ast(cm <sup>2</sup> /m)	10,55	9,69
Choix possible par face	10HA14 esp 10 = 15,39 cm <sup>2</sup> /m 7HA16 esp 15 = 14,07 cm <sup>2</sup> /m	

### **Vérification aux conditions de bétonnage**

$$S_{tmax} = \min (1,5 h_o ; 20cm) \quad (56)$$

$$S_{tmax} = \min (1,5 \times 100 ; 20cm)$$

$$S_{tmax} = 20 \text{ cm}$$

$$S_{tmin} = \max (\varnothing_{max} ; cg) \tag{57}$$

$$S_{tmin} = \max (1,4\text{cm} ; 2,5\text{cm})$$

$$S_{tmin} = 2,5 \text{ cm}$$

Dans nos choix d'acier, nous avons opté pour deux espacements qui sont :  $S_t = 15\text{cm}$ .

Comme  $S_{tmin} < S_t < S_{tmax}$ , l'espacement vérifie les conditions de bétonnage,

Donc le choix est maintenu.

#### IV.5.5. Dimensionnement de la dalle de couverture

Le calcul se fera en flexion simple (la fissuration étant considérée préjudiciable). Le ferrailage se fera avec les moments obtenus à l'État limite Ultime.

#### Interprétations et exploitations des résultats

Le panneau considéré est continu au-delà des appuis (panneau intermédiaire).

**Tableau 10:** Récapitulatifs des moments et des sections d'acier théorique de la dalle de couverture.

Combinaisons	Mxx ( kN.m/m)	Myy ( kN.m/m)
ELU	38,23	51,10
ELS	25,58	33,62
Ast(cm <sup>2</sup> /m)	8,49	
Choix possible par face	7HA14 esp 15 = 10,78 cm <sup>2</sup> /m 8HA12 esp 14 = 9,05 cm <sup>2</sup> /m	

Ce tableau représente les moments maximums suivant l'axe des x et l'axe des y. les cartographies des moments et des aciers sont joint en annexe (Annexe 4).

Étant donné que le radier a deux nappes, la nappe supérieurs sera dimensionnée en utilisant le moment maximum, on disposera dans les deux sens, en nappe inférieure et supérieure, des barres HA14 espacement de 15 cm. On aura donc une section d'acier réelle en nappe inférieure et supérieure, de 10,78 cm<sup>2</sup>

#### IV.5.6. Dimensionnement des éléments secondaires

Les éléments secondaires de notre ouvrage sont constitués de l'acrotère, lanterneau et trappe de visite. Exposés aux intempéries, la fissuration est considérée préjudiciable.

#### *Interprétations et exploitations des résultats*

Ce tableau représente les moments maximums suivant l'axe des x et l'axe des y. les cartographies des moments et des aciers sont joint en annexe (Annexe 4).

**Tableau 11:** Récapitulatifs des moments et des sections d'aciers.

Combinaisons	Mxx ( kN.m/m)	Myy ( kN.m/m)
ELU	7,18	3,11
ELS	4,21	1,93
Ast(cm <sup>2</sup> /m)	1,60	
Choix possible par face	5HA8 esp 20 = 2,51 cm <sup>2</sup> /m 5HA10 esp 15 = 3,93 cm <sup>2</sup> /m	

On disposera dans les deux sens, en nappe inférieure et supérieure, des barres HA8 espacées de 20 cm. On aura donc une section d'acier réelle en nappe inférieure et supérieure, de 2,51 cm<sup>2</sup>/m.

#### IV.6. Estimation des couts de travaux

L'estimation du coût des travaux sera basée sur un avant-métré des surfaces et volumes des terrassements, des murs, fondations, couvertures et des infrastructures d'accompagnement. Les coûts de matériaux (béton armé, ferrailage), le coût de mise en œuvre du PGES ainsi que ceux de la main-d'œuvre locale ont été pris en compte (Voir Annexe 5).

Cependant il faut noter que les prix unitaires respectent une marge afin d'éviter une surévaluation ou une sous-évaluation des prix. Le présent devis variera probablement pendant la phase d'exécution des travaux.

## **CHAPITRES 5 : L'ETANCHEITE ET ENTRETIENS DES RESERVOIRS**

L'étanchéité des réservoirs est définie comme la capacité d'un réservoir à empêcher toute fuite du contenant à travers ses parois verticales, son radier ou ses joints. Selon (Hammoum, 2012), l'étanchéité est la qualité caractéristique d'un ouvrage à s'opposer au passage de l'eau dans les limites d'un débit de fuite défini par l'exploitant de l'ouvrage.

### **V.1. Classification du complexe d'étanchéité**

Elle est cruciale pour éviter la perte de contenu, préserver la qualité du liquide stocké, et protéger les sols environnants contre toute contamination engendrée par le milieu extérieur. Elle doit posséder des caractéristiques durable et résistante aux effets des cycles thermiques, des pressions internes, sans oublier les attaques chimiques ou biologiques.

Le fascicule 74 du ministère Français de l'équipement, des transports et du logement regroupe les réservoirs en fonction de leur mode d'étanchéité et de réalisation suivant cette classification :

- **Classe A** : Pour les réservoirs en béton armé ou béton précontraint dont l'étanchéité est assurée par la structure elle-même ;
- **Classe B** : Pour les réservoirs dont l'étanchéité est assurée par la structure elle-même ainsi qu'un traitement d'imperméabilisation de masse ou de surface ;
- **Classe C** : Pour les réservoirs dont l'étanchéité est assurée par un revêtement d'étanchéité ;
- **Classe D** : Pour les réservoirs en élément préfabriqués dont l'étanchéité est assurée par un revêtement d'étanchéité.

### **V.2. Etude de cas : Réservoirs soumis à des enjeux et défis d'étanchéité**

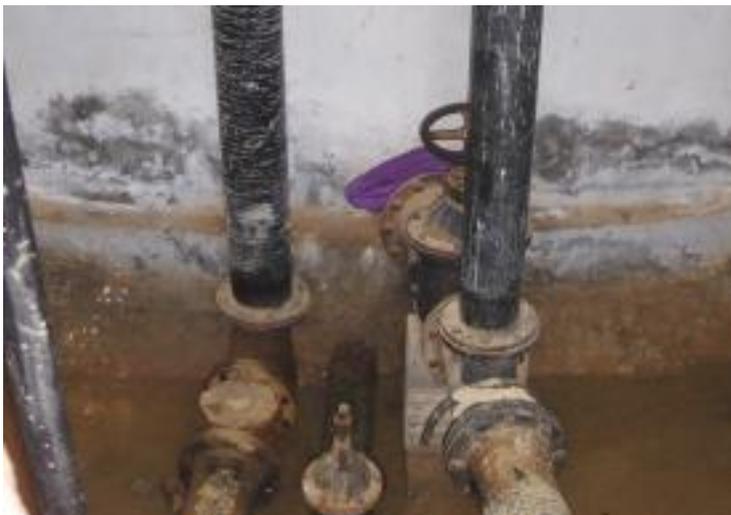
Les réservoirs d'eau potables sont souvent sujets d'une multitude de problèmes mais le plus souvent la défaillance ou le manque du mode d'étanchéité entraîne plusieurs pathologies sur l'ouvrage quelque temps ou immédiatement après la mise en fonction de celui-ci. Les pathologies rencontrées à l'issue de cette déficience ou manque du mode d'étanchéité sont :

- **Le suintement** : il se matérialise par une extraction de l'eau en petites gouttelettes à travers les parois du réservoir ou des traces d'humidité sur la paroi. Le cas du réservoir Haddada en Algérie a révélé, après diagnostic, une mise en œuvre d'un mauvais mode d'étanchéité.



**Figure 22:** Suintement des parois extérieures du réservoir de Haddada

- **L'efflorescence :** il se manifeste par la carbonatation du béton et provoque ainsi l'apparition des taches blanchâtres sur les parois extérieures. Ce phénomène résulte également de la défaillance de l'étanchéité.



**Figure 23:** Efflorescence au réservoir Harrathen

- Infiltration

Lors de la construction du réservoir de Haddada, l'étanchéité de la coupole était faite au paxaluminium. Le paxaluminium est une feuille d'étanchéité en bitume élastomère autoprotégée par une couche d'aluminium à dilatation autocompensée. Cependant, l'image ci-dessous montre que l'étanchéité de la coupole du réservoir de Ouled Aïssa est détériorée à cause des intempéries, des agressions du milieu, des conditions climatiques rudes. Toutefois, le facteur durabilité du paxaluminium est médiocre et sa défaillance expose ainsi le réservoir aux infiltrations.



**Figure 24:** Étanchéité détériorée sur la coupole

Les pathologies entraînant la défaillance du mode d'étanchéité sont aussi nombreuses que les pathologies issues de la défaillance de celle-ci. Néanmoins, ces anomalies sont la réaction des matériaux de construction face à la négligence ou l'ignorance lors de la mise en œuvre.

- **La ségrégation :** C'est la variation dans la répartition des éléments du béton se traduisant par des concentrations différentes des composants du mélange (Hammoum, 2012). Ce symptôme est la conséquence d'une insuffisance de vibration du béton.

- **Le gonflement :** c'est l'augmentation du volume de béton. Cette pathologie est causée par la présence d'aciers dénudés.
- **Les Fissures :** C'est une légère ouverture longitudinale, transversale ou inclinée de largeur comprise entre 0,2 mm à 2 mm. Elles résultent soit d'un tassement différentiel, soit du retrait du béton,
- **L'écaillage :** C'est une fine couche d'enduit se décollant continuellement à la surface et exposant ainsi les agrégats. Elle résulte de l'insuffisance d'enrobage.

### V.3. Critères de sélection du mode d'étanchéité face aux contraintes

De nos jours, les réservoirs sont soumis à diverses complexe d'étanchéité, ceci dépendamment du facteur économique. Ce facteur est considéré récurrentement sans la mise en place d'un système d'entretien entraîne la ruine du complexe. D'autres facteurs tels que les facteurs environnementaux et les propriétés mécaniques des matériaux restent primordiale et permet d'adapter au mieux l'étanchéité et le réservoir dans son environnement.

Les complexes d'étanchéités moins onéreux ayant céder face à multiples enjeux sont :

- Le papier kraft
- Enduit de mortier (classe A)
- Revêtement de type enduit de ciment hydrofugé (classe B)



**Figure 25:** Papier Kraft détérioré sur la couverture du réservoir



**Figure 26:** Enduit de mortier à l'intérieur du réservoir (Classe A)



**Figure 27:** Revêtement de type enduit de ciment hydrofugé

Le choix du système d'étanchéité pour un réservoir semi-enterrée en béton armé est crucial et déterminatif pour la pérennité de l'ouvrage. Les contraintes du site d'implantation et les agressions climatiques sont prises en compte, ainsi que les défis tels que la pression

hydrodynamique de l'eau et la pression exercée par les poussées de terres environnantes. Face à ces défis, les critères de sélection du mode d'étanchéité adéquat sont : **la durabilité, le coût global de pose y compris maintenance et enfin la compatibilité avec les matériaux de construction.**

#### V.4. Evaluation des matériaux et techniques de l'étanchéité

##### V.4.1. Évaluation du matériau

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collées entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont constitués de gravillons, de sable et le liant communément utilisé pour la formulation du béton armé est le ciment portland. Le ciment est le liant hydraulique par excellence pour la construction des réservoirs.

L'association acier – béton forme du béton armé et plusieurs facteurs tels que l'adhérence, la porosité et la perméabilité de celle-ci permet de maîtriser la fissuration à long terme ainsi que plusieurs autres pathologies.

##### Évaluation de l'adhérence du béton armé

L'adhérence des armatures est fonction de leur forme, de leur surface et de la résistance du béton.

Toutefois, la résistance du béton est fonction de tous les composants de celle-ci notamment le granulats car la forme des grains influent son adhérence à la pâte de ciment. De ce fait, il est préférable d'utiliser **les grains de dimension 25 mm et un module de finesse inférieur à 2,5 pour un béton coulé sur place.**

La géométrie de surface des aciers permet également d'assurer l'adhérence acier/béton.

Un essai d'adhérence sur la surface du béton pourrait être effectué afin d'évaluer si la surface du béton face à un revêtement d'étanchéité a une rupture cohésive ou adhésive. Elle consiste à exercer sur la rotule mâle (vissée sur le plot) un effort de traction normal à la surface de la pastille. (Truong, 2020)

#### ✚ Évaluation de la porosité du béton armé

La porosité est le rapport du volume vide au volume total de la matière. Elle est l'un des facteurs étroitement liés au degré d'humidité du matériau. Le caractère poreux du béton est très important puis qu'elle impacte négativement sur sa résistance en compression. Le mode recommandé nécessite trois pesés :

- La masse de l'échantillon saturée  $M_{\text{sat}}$  lorsque l'échantillon est sorti de l'eau ;
- La masse hydrostatique  $M_{\text{hyd}}$  correspondant à la masse de l'échantillon dans l'eau ;
- La masse sèche  $M_{\text{sec}}$  de l'échantillon après stabilisation de sa masse dans l'étuve.

Ainsi, **il est recommandé de vibrer le béton au fur et à mesure afin de limiter les vides dans le béton.**

#### ✚ Évaluation de la perméabilité du béton armé

La perméabilité d'un matériau poreux correspond à son aptitude à se laisser traverser par un fluide (liquide ou gaz) sous l'effet d'un gradient de pression. La perméabilité va dépendre de la porosité du matériau (connexion entre les pores de la matrice), mais aussi peut être diminuée par l'ajout d'agents hydrofuges à l'intérieur ou appliqués à la surface du matériau. Elle dépend du rapport Eau/Ciment ainsi que la nature et la quantité des granulats. L'apparition des microfissures et la ségrégation du béton en traction et en compression est due à la perméabilité de celle-ci. L'idéal pour la construction d'un ouvrage tel que le réservoir est d'avoir un béton imperméable.

### V.4.2. Techniques d'étanchéité

Lors de la construction d'un réservoir, les techniques d'étanchéité jouent un rôle crucial pour assurer la durabilité et l'étanchéité de la structure. Les différents types de méthodes employées sont détaillés ci-après :

#### ✚ Étanchéité par conception du béton

La conception du béton vise à minimiser la porosité et à renforcer sa résistance à l'eau grâce à des formulations et techniques spécifiques :

##### a) Formulation du béton B30 :

- **Béton hydrofuge** : Utilisation d'adjuvants hydrofuges de masse incorporés directement dans le mélange de béton pour améliorer son imperméabilité et réduire sa porosité.
- **Rapport eau/ciment optimisé** : Contrôle strict du rapport eau/ciment afin de limiter la porosité et d'assurer une résistance mécanique optimale.

**b) Veiller au respect des dispositions constructives**

- **Protection des armatures** : Respect des normes d'enrobage minimal des armatures pour éviter la corrosion causée par une infiltration d'eau.
- **Mise en place des goussets d'angle** : La mise en place des goussets d'angle est une étape essentielle pour renforcer l'étanchéité des jonctions entre les parois et le fond du réservoir. Ces éléments triangulaires ou en forme de congés assurent une transition douce entre les surfaces perpendiculaires, réduisant les concentrations de contraintes et améliorant l'étanchéité

 **Étanchéité par membranes ou revêtements**

L'application de membranes ou de revêtements spécialisés assure une protection supplémentaire contre les infiltrations d'eau. Les différentes options comprennent :

**c) Membranes bitumineuses :**

- Pose de feuilles bitumineuses préfabriquées ou application à chaud sur externes du réservoir pour créer une barrière étanche.

**d) Revêtements à base de résines :**

- **Revêtements époxy** : Application de couches de résine époxy pour former une protection imperméable durable.
- **Revêtements polyuréthane** : Revêtement liquide qui, une fois séché, forme une membrane élastique et continue, adaptée aux contraintes des structures en mouvement.

**e) Peintures spéciales :**

- Utilisation de peintures formulées à base de ciment ou de polymères, spécialement conçues pour étanchéifier les surfaces internes des réservoirs et renforcer leur résistance à l'humidité et aux agents chimiques.

### V.4.3. Choix du mode d'étanchéité adéquat à notre projet

Dans le cadre de ce projet d'une grande importance, nous proposons d'adopter une approche combinée en utilisant plusieurs techniques complémentaires pour assurer l'étanchéité optimale du réservoir. Au vu du contexte géologique du site du projet (zone sismique) avec un risque de

fissuration élevé du réservoir, un revêtement d'étanchéité de type REA (Revêtement d'étanchéité adhérent) est préconisé. Il sera Composite adhérent (CAD) : résine synthétique renforcée par armature. C'est un revêtement armé avec une résistance à la fissuration selon la masse surfacique de l'armature rapportée. L'épaisseur et l'incorporation d'une armature d'une certaine qualité confèrent en effet au revêtement une résistance à la fissuration pouvant atteindre 20/10ème de mm en fissuration instantanée ainsi qu'une résistance à la contre-pression de 1 bar minimum.

La solution combinée retenue est la suivante :

**1. Étanchéité par formulation d'un béton B30 hydrofuge :**

- Incorporation d'un adjuvant hydrofuge (par exemple, Sikate) dans la formulation du béton pour réduire sa porosité et améliorer sa résistance à l'eau.

**2. Étanchéité par respect des dispositions constructives :**

- Contrôle rigoureux de la mise en œuvre, notamment le respect des enrobages des armatures.
- Mise en place soignée des goussets d'angle pour assurer l'étanchéité des jonctions critiques.

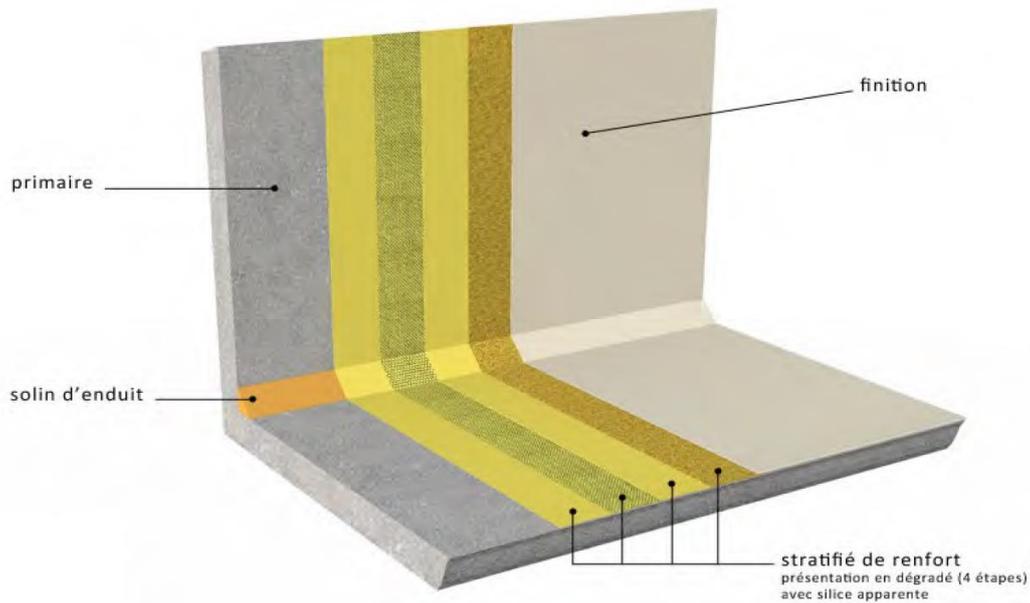
**3. Étanchéité par revêtement époxy :**

- Application de plusieurs couches de résine époxy sur les parois internes du réservoir pour créer une barrière protectrice imperméable et durable.

Lors de la mise en œuvre, il sera composé de plusieurs couche disposé de la manière suivante (**Figure 28**) :

- La couche primaire : une couche de primaire époxy à raison de 0,3 kg/m<sup>2</sup>
- L'enduit : une couche de ragréage éventuelle en fonction de l'état de surface en enduit
- Les couches de revêtement : une couche d'imprégnation époxy à raison de 0,7 kg/m<sup>2</sup>, un renfort en tissu de verre multiaxial à raison de 0,45 kg/m<sup>2</sup>, une couche de saturation époxy à raison de 0,55 kg/m<sup>2</sup>.

- La couche de finition : une couche de fermeture époxy à raison de 0,7 kg/m<sup>2</sup>.



**Figure 28:** Présentation des aspects en dégradé d'un revêtement d'étanchéité

Pour conclure, il est essentiel de souligner que l'étanchéité est un aspect fondamental dans la conception et la durabilité de l'ouvrage. Les enjeux de celle-ci ne se limitent pas qu'à la prévention des pathologies mais également à la sécurité des usagers. L'ensemble des méthodes et matériaux présentées ci-dessous montrent qu'il est important de faire le choix des solutions adaptés aux spécificités de chaque projet.

#### V.5. Entretien des réservoirs

L'entretien d'un réservoir peut être catégorisé en trois approches complémentaires :

1. **Préventif** : Il s'agit d'une maintenance régulière, incluant des inspections visuelles et techniques pour déceler toute anomalie (fissures, dégradations du béton, fuites, corrosion). Un nettoyage périodique est essentiel pour prévenir l'accumulation de sédiments et le développement de micro-organismes, tout comme la vérification de l'étanchéité et des joints.
2. **Curatif** : Ce type d'entretien intervient lorsque des problèmes sont identifiés. Il peut s'agir de la réparation de fissures ou de zones d'infiltration par injection de résine ou

application de revêtements étanches, du remplacement de joints défectueux, ou encore du traitement de la corrosion des armatures.

3. **Prédictif** : Cette approche proactive utilise des outils de surveillance tels que des capteurs de pression ou d'humidité, ainsi que des technologies de diagnostic avancées comme la thermographie ou les ultrasons. L'objectif est d'anticiper les dégradations avant qu'elles ne deviennent critiques, permettant ainsi une maintenance ciblée et optimisée. Le tableau 12 représente les fréquences d'entretiens pour chaque élément de structure.

**Tableau 12:** Entretiens du réservoir

Partie du réservoir	Type d'entretien	Fréquence	Méthode d'entretien / Actions à entreprendre
<b>Parois et fondations</b>	Inspection visuelle	Tous les 6 mois	Vérification des fissures, signes de dégradation, moisissures, ou infiltrations d'eau.
	Réparation des fissures	Dès détection	Injection de résine époxy ou mortier de réparation pour combler les fissures.
	Protection contre la corrosion	Tous les 3-5 ans	Application d'un revêtement protecteur (peinture anticorrosion ou hydrofuge).
<b>Revêtement d'étanchéité</b>	Contrôle de l'étanchéité	Annuellement	Inspection des joints et revêtements (bitumineux, époxy, ou membranes). Réparer toute zone défectueuse.
	Nettoyage du revêtement	Tous les 2 ans	Nettoyage haute pression pour éviter l'accumulation de saletés et mousses.
<b>Joints d'étanchéité</b>	Vérification des joints	Tous les 6 mois	Inspection des joints d'expansion pour détecter les détériorations.
	Remplacement des joints	Tous les 5-7 ans	Remplacement des joints usés ou fissurés par des joints hydro-expansifs.

Partie du réservoir	Type d'entretien	Fréquence	Méthode d'entretien / Actions à entreprendre
<b>Plancher du réservoir</b>	Inspection du fond	Annuellement	Vérifier les fissures, dépôts de sédiments, et l'état du béton.
	Nettoyage des sédiments	Tous les 3-5 ans	Vidange et nettoyage mécanique pour éviter l'accumulation de dépôts.
<b>Toiture et dalles de couverture</b>	Inspection des fissures et infiltrations	Tous les 6 mois	Vérifier la présence de fissures, d'humidité ou de corrosion sur les éléments métalliques.
	Réparation de la couverture	Dès détection	Application de revêtements protecteurs ou réparation des fissures.
<b>Éléments métalliques (vannes, tuyauteries, échelles, garde-corps, etc.)</b>	Inspection anticorrosion	Annuellement	Vérification des structures métalliques exposées (rouille, affaiblissement).
	Peinture et protection	Tous les 3 ans	Application de peinture anticorrosion et vérification des soudures.
<b>Système de drainage</b>	Vérification des évacuations	Tous les 6 mois	Vérifier que les canalisations d'évacuation sont dégagées et fonctionnelles.
	Nettoyage des conduites	Tous les 2 ans	Débouchage et nettoyage des canalisations pour éviter l'accumulation de boue.
<b>Qualité de l'eau stockée</b>	Tests physico-chimiques et bactériologiques	Tous les 3 mois	Analyse de l'eau pour détecter toute contamination (pH, chlore résiduel, turbidité, bactéries).
	Vidange et désinfection du réservoir	Tous les 5 ans	Nettoyage complet avec désinfection (chloration ou autre procédé).
<b>Système de sécurité et accès</b>	Vérification des équipements de sécurité	Annuellement	Inspection des échelles, garde-corps, verrous et systèmes d'accès.

Partie du réservoir	Type d'entretien	Fréquence	Méthode d'entretien / Actions à entreprendre
	Mise en conformité	Dès détection d'un problème	Réparation ou remplacement des équipements non conformes aux normes de sécurité.

## V.6. Aspects environnementaux et sociaux

### Analyse et Intégration dans le Projet

Dans le cadre de la conception et du dimensionnement du réservoir en béton armé de 2000 m<sup>3</sup> à Mont Goma, une Étude d'Impact Environnemental et Social (EIES) a été réalisée conformément aux normes environnementales et sociales de la Banque Mondiale (NES) et au décret n°14/019 du 2 août 2014 de la République Démocratique du Congo. Cette étude vise à évaluer les impacts potentiels du projet sur l'environnement et les communautés locales, tout en définissant des mesures pour garantir un développement durable.

### Justification et Enjeux du Projet

La construction de ce réservoir s'inscrit dans la réponse aux besoins critiques d'accès à l'eau potable pour les populations de Goma, où seulement 33,6 % de la population bénéficiait d'un accès à l'eau potable en 2018. Ce déficit est aggravé par la pression démographique et les déplacements forcés liés aux conflits dans la région du Nord-Kivu. En plus d'améliorer la disponibilité en eau potable, le projet répond aux Objectifs de Développement Durable (ODD), en particulier l'ODD 6 qui vise à garantir l'accès universel à l'eau potable.

### Impacts Environnementaux et Sociaux

La réalisation des projets de réhabilitation et d'extension des réseaux d'alimentation en eau potable des axes Kavumu-Katana et Katana nord engendre dans l'ensemble les impacts positifs importants. Les impacts négatifs du projet sont de faible importance et peuvent être évités ou minimisés par l'application effective des mesures d'atténuation proposées par la présente étude.

L'EIES a permis d'identifier des impacts positifs et négatifs associés au projet :

- **Impacts positifs :**

- ✓ Assurance d'un service de qualité par la disponibilité d'une main d'œuvre formée, compétente et qualifiée ;
- ✓ Assurance que l'entretien des ouvrages et des équipements sera fait par une main d'œuvre formée, compétente et qualifiée ;
- ✓ Émergence de certains corps de métier au sein de la population ;
- ✓ Fortes activités économiques induites par la production et la distribution d'eau potable ;
- ✓ La population, particulièrement les jeunes et les femmes seront plus disponibles pour d'autres activités : scolarité, activités lucratives susceptibles d'accroître le revenu familial ;
- ✓ Régularité et fiabilité du service ;
- ✓ Disponibilité d'une eau de qualité en quantité suffisante ;
- ✓ Proximité du point d'eau (à domicile pour le branchement particulier ou à une distance raisonnable pour la borne fontaine) ;
- ✓ Diminution sensible des maladies liées au manque d'eau à sa mauvaise qualité ;
- ✓ Amélioration des conditions d'hygiène ;
- ✓ Réalisation de certains travaux d'assainissement autour des nouveaux points d'eau.

▪ **Impacts négatifs :**

- ✓ La déformation de certaines espaces parcellaires, champs suites aux travaux de creusage des tranchées ;
- ✓ Risque d'accidents du travail lors de l'utilisation des produits chimiques ;
- ✓ Évacuation journalière d'une grande quantité d'eaux usées sans système d'évacuation approprié ;
- ✓ Risque d'aggravation des problèmes dus aux érosions.

✚ Mesures d'Atténuation et de Bonification

Pour minimiser les impacts négatifs et maximiser les bénéfiques, plusieurs mesures ont été proposées :

- **Gestion des déchets** : Stockage des huiles usagées dans des récipients étanches, récupération des déchets biodégradables, et interdiction de laver les engins dans les cours d'eau.
- **Sécurité et santé** : Fourniture d'équipements de protection individuelle (EPI) aux travailleurs, mise en place de panneaux de signalisation, et formation sur la santé et sécurité au travail.
- **Protection de l'environnement** : Reboisement compensatoire pour limiter l'érosion et préserver la biodiversité, ainsi que la limitation des travaux aux zones strictement nécessaires.
- **Consultation et inclusion communautaire** : Sensibilisation des parties prenantes et intégration des préoccupations des populations locales dans le plan d'exécution du projet.

#### Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES)

Le présent Plan de gestion Environnemental et Social est établi à partir des enjeux environnementaux et ses actions d'amélioration préconisées. Il comporte plusieurs rubriques entre autres, les mesures d'atténuations/ bonification, les responsabilités de surveillance et de suivi environnemental, la matrice du PGES, formation et renforcer des capacités et les coûts de la mise en œuvre. Le Plan de Gestion Environnementale et Sociale est joint en Annexe 3.

## CONCLUSION

Cette étude questionnait la possibilité de concevoir et dimensionner un réservoir semi-enterré de 2000 m<sup>3</sup> sur le mont Goma face aux enjeux de durabilité, de stabilité, ainsi que de contraintes environnementale du site. Combinée d'une analyse du système d'étanchéité, cet ouvrage répond à la problématique majeure d'eau potable que sévit la population dans la ville de Goma de nos jours. Sur la base des données d'entrée que nous avons obtenue tels que les études géotechniques et topographiques, révélant une géomorphologie du site en pente et un sol sableux avec une grande capacité portante, ils nous ont permis de concevoir un réservoir avec une capacité de stockage pouvant assurer la distribution locale. A l'issue de la conception respectant les réglementations et normes de calcul (Fascicule 74, BAEL 91 Modifié 99, et DTU associé), les résultats obtenus montrent que notre ouvrage conçu en béton armé, compartimenté en deux cuves de volumes identiques est stable et sécuritaire. Le sol résiste bien aux charges et surcharges de la structure. Le dimensionnement des éléments structuraux tels que le radier, les parois, la dalle de couverture et les éléments structuraux secondaire nous ont permis d'évaluer de manière quantitative le cout estimatif des travaux de construction. Il s'élève à une valeur de huit cent millions neuf cent dix-huit mille cinq cent soixante-quatre (800 918 564) de Fcfa et la durée des travaux de huit (08) mois.

Cependant, plusieurs précautions ont été prise en compte afin d'établir une conception parasismique : les dispositions constructives, la forme du réservoir et le lieu d'implantation. Il reste tout de même indispensable d'analyser le comportement de la structure sous l'effet des secousses sismiques et de la pression hydrodynamique.

Par ailleurs, différents complexes d'étanchéité ont été mis de mettre en évidence. Il en résulte que, la pérennité de l'ouvrage en dépend. Et pour pallier aux pathologies engendrées par celle-ci, il est recommandé d'associer plusieurs méthodes notamment le béton hydrofuge et un revêtement époxy.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

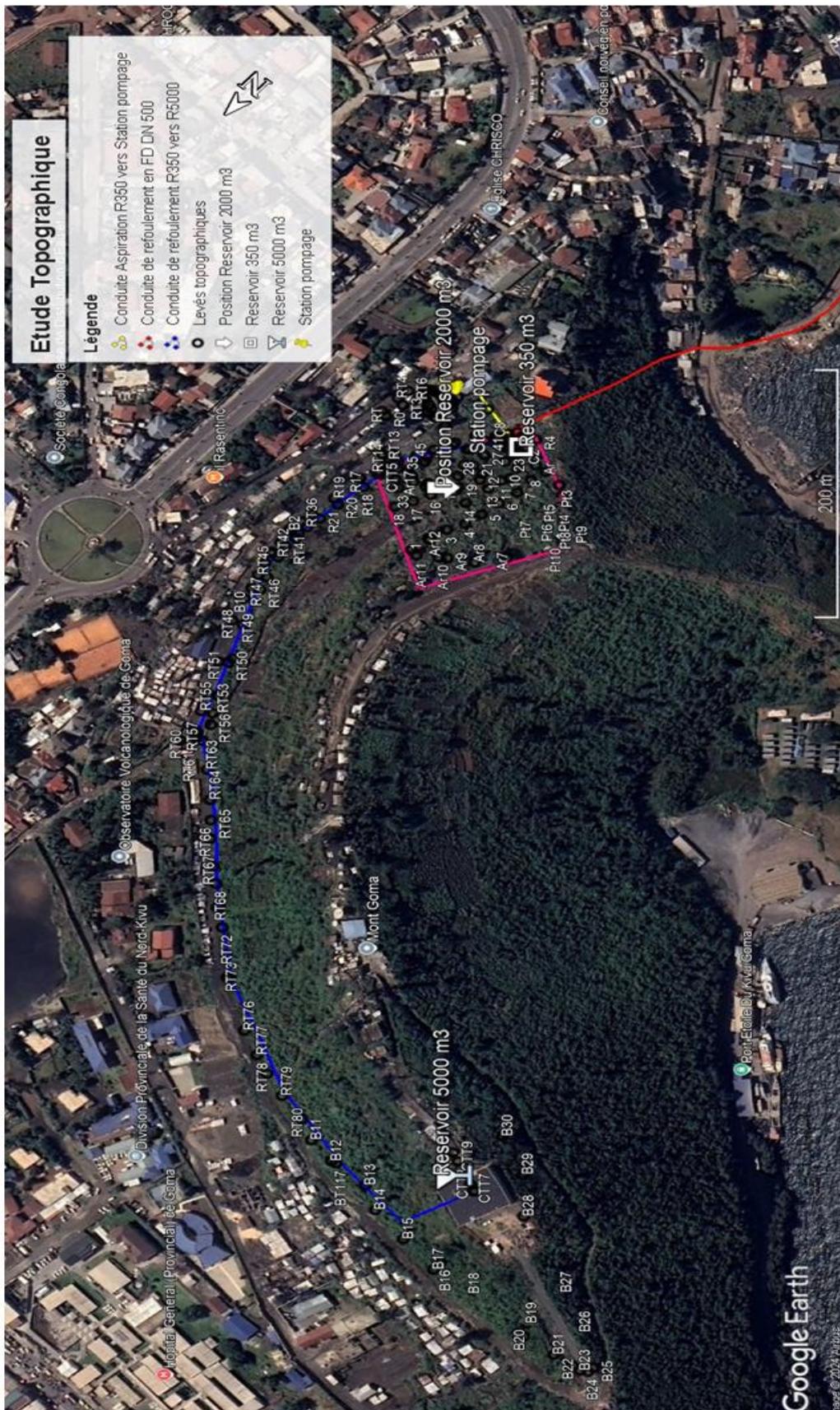
- [1] Ba Tam TRUONG. (2016), THESE de DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LYON : Formulation, performances mécaniques, et applications, d'un matériau TRC pour le renforcement et la réparation de structures en béton/et béton armé : Approches expérimentale et numérique (2016). 206 pages
- [2] E.Bowles, J. (1997). Foundation Analysis and Design (Vol. 5e édition). USA.
- [3] Fascicule 74 Cahier des clauses techniques générales (1998). Construction des réservoirs en béton. 272 pages
- [4] Fulgence, D. (2010). Conception et dimensionnement parasismique. Algerie.
- [5] GUERRIN A. et R.C. LAVAUUR. (1979). Traité de béton armé Tome 6 ; réservoirs château d'eau, piscines. 204 pages
- [6] Hocine HAMMOUM. (2012). Diagnostic et analyse de risques liés au vieillissement des réservoirs en béton armé Développement de méthodes d'aide à l'expertise. 198 pages
- [7] Jean-Pierre Mougine Béton armé. (2006). BAEL 91 modifié 99 et DTU associés, deuxième Edition EYROLLES et quatrième tirage, Paris.
- [8] Multiple Indicator Cluster Surveys (MICS). (2024). La vie des enfants : Conférence internationale sur les enfants et leurs familles, à l'aide des enquêtes en groupes à indicateurs multiples . Londres : Unicef.
- [9] MUHINDO MUSUBAO Bosco. (2022), cartographie des coulées de lave et fissures de l'éruption volcanique du Nyiragongo du 22/05/2021, 32 pages
- [10] OLLIVIER, J. P. 1997. Durabilité des bétons. 1997. Compte rendu des journées techniques AFPC-AFREM.

## **ANNEXES**

Annexe 1: Résultats des études topographiques .....	xvi
Annexe 2: Résultats des études Géotechnique .....	xx
Annexe 3: Plan de gestion environnementale et sociale .....	xxviii
Annexe 4: Cartographies des efforts internes et sections d'aciers .....	xliv
Annexe 5: Estimation des coûts de travaux .....	lxiii
Annexe 6: Plan d'exécution .....	lxvi

## Annexe 1: Résultats des études topographiques

### Zone des levés topographiques



## **Profil en long PL1 de la plateforme du projet**

## **Profil en long PL2 de la plateforme du projet**

## **Profil en long PL3 de la plateforme du projet**

## **Annexe 2: Résultats des études Géotechnique**

### **Essai au pénétromètre dynamique de 63,5 kg**

L'essai de Pénétration Dynamique est un essai qui donne une indication qualitative sur la résistance du sol. Il consiste à faire pénétrer dans le sol, par battage, des tiges ou tubes métalliques, à l'aide d'un mouton tombant en chute libre. Pour une énergie de battage constante, on compte le nombre de coups de mouton correspondant à un enfoncement donné (20 Cm).

Profondeur (m)	<b>PD MONT GOMA 1</b>			
	Coefficient	Nombre de Coups	Rd (MPa)	$\sigma_a$ (MPa)
0	7,61	0	<b>0,0</b>	<b>0,00</b>
0,2	7,61	4	<b>3,0</b>	<b>0,15</b>
0,4	7,61	4	<b>3,0</b>	<b>0,15</b>
0,6	7,61	5	<b>3,8</b>	<b>0,19</b>
0,8	7,61	5	<b>3,8</b>	<b>0,19</b>
1	7,61	8	<b>6,1</b>	<b>0,30</b>
1,2	6,85	13	<b>8,9</b>	<b>0,45</b>
1,4	6,85	20	<b>13,7</b>	<b>0,69</b>
1,6	6,85	23	<b>15,8</b>	<b>0,79</b>
1,8	6,85	26	<b>17,8</b>	<b>0,89</b>
2	6,85	27	<b>18,5</b>	<b>0,92</b>
2,2	6,23	29	<b>18,1</b>	<b>0,90</b>
2,4	6,23	31	<b>19,3</b>	<b>0,97</b>
2,6	6,23	34	<b>21,2</b>	<b>1,06</b>
2,8	6,23	50	<b>31,2</b>	<b>1,56</b>

Profondeur (m)	<b>PD MONT GOMA 2</b>			
	Coefficient	Nombre de Coups	Rd (MPa)	$\sigma_a$ (MPa)
0	7,61	0	<b>0,0</b>	<b>0,00</b>
0,2	7,61	1	<b>0,8</b>	<b>0,04</b>
0,4	7,61	3	<b>2,3</b>	<b>0,11</b>
0,6	7,61	7	<b>5,3</b>	<b>0,27</b>
0,8	7,61	11	<b>8,4</b>	<b>0,42</b>
1	7,61	22	<b>16,7</b>	<b>0,84</b>
1,2	6,85	50	<b>34,3</b>	<b>1,71</b>

Profondeur (m)	PD MONT GOMA 3			
	Coefficient	Nombre de Coups	Rd (MPa)	$\sigma_a$ (MPa)
0	7,61	0	0,0	0,00
0,2	7,61	1	0,8	0,04
0,4	7,61	2	1,5	0,08
0,6	7,61	4	3,0	0,15
0,8	7,61	5	3,8	0,19
1	7,61	5	3,8	0,19
1,2	6,85	6	4,1	0,21
1,4	6,85	10	6,9	0,34
1,6	6,85	11	7,5	0,38
1,8	6,85	12	8,2	0,41
2	6,85	19	13,0	0,65
2,2	6,23	19	11,8	0,59
2,4	6,23	27	16,8	0,84
2,6	6,23	29	18,1	0,90
2,8	6,23	32	19,9	1,00
3	6,23	50	31,2	1,56

Profondeur (m)	PD MONT GOMA 4			
	Coefficient	Nombre de Coups	Rd (MPa)	$\sigma_a$ (MPa)
0	7,61	0	0,0	0,00
0,2	7,61	1	0,8	0,04
0,4	7,61	4	3,0	0,15
0,6	7,61	5	3,8	0,19
0,8	7,61	7	5,3	0,27
1	7,61	14	10,7	0,53
1,2	6,85	20	13,7	0,69
1,4	6,85	27	18,5	0,92
1,6	6,85	26	17,8	0,89
1,8	6,85	29	19,9	0,99
2	6,85	29	19,9	0,99
2,2	6,23	31	19,3	0,97
2,4	6,23	35	21,8	1,09
2,6	6,23	50	31,2	1,56

Tous les pénétrogrammes présente deux parties (voir annexes) :

- Une partie superficielle où la courbe montre des contraintes très faibles.
- Une deuxième partie résistante (refus) représentant le substratum.

N° Essai	Coordonnées		Profondeur de refus	Contraintes admissibles
	Latitude	longitude		
PD1	S1°41'5.635''	E29°13'37.798''	2.80 m	1.56 MPa
PD2	S1°41'5.203''	E29°13'37.511''	1.20 m	1.71Mpa
PD3	S1°41'5.272''	E29°13'37.590''	3.00m	1.56Mpa
PD4	S1°41'5.860''	E29°13'37.866''	2.60m	1.56Mpa

## Sondage carotte et essais SPT



### A. Sondage1 (S1) :

- Coordonnées
  - S1°41'6.060''
  - E29°13'32.317''
- De 0,00 à 1.5 m : début de Sondage carotté par battage au tube HW : L'échantillon extrait est un sol végétal constitué des limons volcaniques de couleur noire.

**SPT1 : 1.5 à 1.95m**

<b>Enfoncement (Cm)</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>
<b>Nombre de coups</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>6</b>

$$N = 3 + 6 = 9$$

L'échantillon extrait est un sol limoneux volcanique de couleur noire

- De 1.5 à 3m : poursuite de sondage par battage ; l'échantillon extrait est constitué d'un sable volcanique fin de couleur sombre.

**SPT2 : 3 à 3.45m**

<b>Enfoncement (Cm)</b>	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>
<b>Nombre de coups</b>	<b>8</b>	<b>11</b>	<b>50</b>

**N= 50 (résistance ou refus à 40 Cm)**

L'échantillon extrait est un sable volcanique fin de couleur noire

- 3,45 à 4,95m : Début du sondage carotté au carottier de 86mm, ici l'eau de forage est de couleur jaune sombre ; l'échantillon extrait est constitué des morceaux des carottes des sables volcaniques fins très consolidés. Le Taux de Récupération des Carottes (TRC) est 69% et son Rock Designation Quality (RQD) est 28%
- De 4,95 à 5,78m : sondage carottier 86mm. L'échantillon extrait est constitué des morceaux des carottes des sables volcaniques fins très consolidés ; Le taux de récupération de la carotte TCR est de 80% et RQD est de 52%.
- De 5,78 à 6,71 m : Sondage au carottier de 76 mm ; l'échantillon extrait est une roche basaltique massive, le TCR est de 69% et RQD est de 67%
- 6,71 à 7,50m : l'échantillon extrait est une roche basaltique poreuse, le TCR est de 58% et RQD est de 56%

**Essai pressiométrique**

<b>PRESSIION CORRIGE</b>	<b>VOLUME CORRIGE</b>	<b>VOLUME DE FLUAGE</b>
2,19	93,25	33
2,32	150,3	51
2,65	184,35	68
2,94	248,4	85
3,35	293,45	93
3,7	323,5	100
4,15	346,55	106
4,59	389,6	124
4,97	427,65	132
5,84	468,75	154

## Essais au laboratoire

01	<b>PROVENANCE</b>	<b>Mont Goma</b>
02	<b>NATURE DES MATERIAUX</b>	Sable volcanique fin
03	<b>PROFONDEUR (m)</b>	1,20 à 1,50 m
04	<b>TENEUR EN EAU NATURELE (%)</b>	8.5%
05	<b>GRANULOMETRIE</b>	
	<b>DMAX (mm) AFNOR</b>	16 mm
	<b>FINES (%)</b>	8%
06	<b>LIMITE D'ATTERBERG</b>	
	- <b>Limite de liquidité (%)</b>	39,2
	- <b>Limite de plasticité (%)</b>	N/M
07	<b>POIDS VOLUMIQUE HUMIDE (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>1,35g/cm<sup>3</sup></b>
08	Masse volumique apparente de matériaux secs	1,24 g/cm <sup>3</sup>
	Poids Spécifique(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2,50g/cm<sup>3</sup></b>
10	<b>CLASSIFICATION</b>	
	-NRC	<b>Se2c</b>
	-HRB	<b>A-3</b>

 <b>LABORATOIRE NATIONAL DES TRAVAUX PUBLICS ANTENNE DE GOMA</b>		<b>ESSAI DE GONFLEMENT A L'OEDOMETRE (XP P94 090-1)</b>						
<b>Site : Mont Goma</b>		<b>Nature des matériaux : Limon volcanique</b>				<b>Dossier : 001/2024</b>		
		<b>Date d'essai : Du 04/10 au 09/10/2024</b>				<b>Echantillon : 1</b>		
<b>EPROUVETTES N°</b>		1	2	3	4	5	<b>Profondeur : 1.35m</b>	
<b>Diamètre (mm)</b>		80	80	80	80	80		
<b>Hauteur initiale Hi (mm)</b>		20	20	20	20	20	<b>RESULTATS</b>	
<b>Contrainte verticale (Kpa)</b>		10.2	20.4	30.6	40.8	51		
<b>Teneur en eau initiale Wi (%)</b>		28.3	28.3	28.3	28.3	28.3		
<b>Masse volumique sèche γ<sub>d</sub> (KN/m<sup>3</sup>)</b>		13.6	13.6	13.6	13.6	13.6		
<b>CHARGEMENT</b>	<b>Durée de palier</b>	<b>ΔH1</b>	<b>ΔH2</b>	<b>ΔH3</b>	<b>ΔH4</b>	<b>ΔH5</b>		<b>1. Contrainte effective σ<sub>o</sub>'=11,25Kpa</b> <b>2. e<sub>o</sub> = 0,74</b> <b>3. γ<sub>s</sub>=2,36</b> <b>4. e<sub>r</sub> = 0,22</b> <b>5. Indice de compressibilité Cc=0,054</b> <b>6. Module de compressibilité E'=115,9Kpa</b> <b>7. Coefficient de compressibilité m<sub>v</sub>=0,009</b>
	15s	0.11	0.19	0.23	0.29	0.35		
	30s	0.13	0.21	0.25	0.34	0.37		
	1min	0.15	0.23	0.26	0.36	0.39		
	2min	0.16	0.24	0.29	0.38	0.45		
	4min	0.18	0.26	0.32	0.39	0.47		
	8min	0.20	0.27	0.37	0.39	0.49		
	15min	0.20	0.28	0.39	0.43	0.53		
	30min	0.23	0.30	0.42	0.44	0.57		
	1h	0.24	0.31	0.43	0.47	0.59		
	2h	0.27	0.32	0.46	0.48	0.65		
	4h	0.28	0.35	0.48	0.50	0.69		
	8h	0.30	0.39	0.50	0.58	0.73		
	24h	0.33	0.43	0.53	0.64	0.77		
		0.35	0.48	0.56	0.68	0.79		
		0.35	0.52	0.59				
<b>DECHARGEMENT</b>	<b>Durée de palier</b>	<b>ΔH1</b>	<b>ΔH2</b>	<b>ΔH3</b>	<b>ΔH4</b>	<b>ΔH5</b>	<b>Observations :</b> - le sol est compressible - plus la charge augmente ; il ya augmentation de la densité sèche - Plus la charge augmente, le volume de vide diminue considérablement - il s'agit d'un sol molle	
	15s	0.31	0.45	0.56	0.64	0.73		
	30s	0.30	0.41	0.56	0.64	0.73		
	1min	0.28	0.41	0.53	0.63	0.72		
	2min	0.27	0.40	0.53	0.63	0.72		
	4min	0.27	0.40	0.53	0.61	0.71		
	8min	0.26	0.39	0.51	0.61	0.69		
	15min	0.26	0.39	0.51	0.60	0.68		
	30min	0.25	0.39	0.51	0.60	0.68		
	1h	0.25	0.38	0.49	0.60	0.67		
	2h	0.19	0.36	0.47	0.58	0.65		
	4h	0.16	0.35	0.46	0.57	0.64		
	8h	0.16	0.35	0.46	0.57	0.64		
	24h	0.14	0.33	0.44	0.55	0.63		
		0.14	0.30	0.41	0.54	0.61		
		0.14	0.27	0.39	0.51	0.59		

$\gamma_{df}$ (KN/m <sup>3</sup> )	-	13.7	13.8	13.8	13.9	14.0	
$\Delta H/H_f$	%	0.71	1.37	1.99	2.62	3.04	
Wf	%	31.2	31.2	31.2	31.2	31.2	

### Essai de cisaillement direct a la boîte de casagrande

Client	BNETD
Provenance/chantier	Mont Goma
Profondeur	1.35m
Nature	Sable volcanique limoneux
Type essai	
Boite	: 60 x 60
Anneau	:5000N
Vitesse	: 1,000 mm/min

CARACTERISTIQUE DES EPROUVETTES				
		1	2	3
W initiale en %		8,5	8,5	8,5
$\delta d$ initial en g/cm <sup>3</sup>		1,41	1,41	1,41
W finale en%		13	15	18
$\delta d$ final en g/cm <sup>3</sup>		1,43	1,49	1,52
Contrainte Normale (KPa)		100	200	300
Contrainte de rupture (KPa)		13	18	29
Contraintes tangentielles		8	12	29
	Angle frottement interne $\phi$ (°)	24		
	Cohésion ( KPa)	5		

## **Coupe lithologique du sol**

**Annexe 3: Plan de gestion environnementale et sociale**

Mili eux	Composant e affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environne mental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
<b>PHASE D'INSTALLATION DU CHANTIER</b>								
PHYSIQUE	Air	<b>Pollution de l'air due aux émissions de la poussière et Gaz d'échappement des véhicules de transport des matériaux.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Arroser le site destiné au stockage des matériaux pendant la saison sèche et en cas de soulèvement important de poussière,</li> <li>- Arrêter les moteurs des véhicules lorsque qu'ils sont aux arrêts,</li> <li>- Entretien et maintenir en bon état de fonctionnement les véhicules de chantiers en vue d'éviter des émissions exagérées de polluants atmosphériques;</li> </ul>	<b>UNICEF</b>	Comité de suivi Coordination Provincial de l'environnement, Division provinciale de la Santé.	ACE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de la poussière dans le site d'entreposage des matériaux,</li> <li>- Rapport d'entretien des véhicules,</li> <li>- Rapport du chargé de projet,</li> <li>- Présence d'un règlement de chantier, indiquant clairement les mesures à adopter en cas d'arrêt des véhicules et la</li> </ul>	Inclus aux coûts de l'entrepreneur

Milieux	Composante affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environnemental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
			- Limiter la vitesse à 30 km/h des camions lors du transport dans les zones d'agglomérations pendant la saison sèche.				limitation de vitesse des.	
	Sol	<p>- <b>Pollution du sol par les déchets solides et liquides, des eaux usées,</b></p> <p><b>-Erosion hydrique résultant de ruissèlement</b></p>	<p>- Limiter l'espace d'intervention minimum requis par les règles d'usage et les exigences de sécurité et réduire la perte du couvert végétal ;</p> <p>- Eviter de dénuder le sol trop longtemps à l'avance, ne dénuder que les surfaces sur lesquelles on est assuré d'une progression normale et continue des travaux ;</p>	UNICEF	Comité de suivi Coordination Provinciale de l'environnement, Division provinciale de la Santé, Fonds National pour la Nature	ACE	<p>- Volume de sol décapé et traité/Aucun cas de contamination accidentelle relevé,</p> <p>- Règlement intérieur affiché au niveau de la base interdisant les rejets des déchets et produits toxiques sur le sol/aucun cas de déversement enregistré,</p>	Inclus aux coûts de l'entrepreneur

Mili eux	Composant e affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environne mental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Végétaliser les talus des remblais ;</li> <li>- Eviter les déversements accidentels et le rejet des produits toxiques sur le sol, ainsi que des dépôts sauvages des déchets ;</li> <li>- Disposer des produits absorbants permettant de palier les cas de déversements accidentels de produits toxiques sur le sol ;</li> <li>- Mettre en place des bacs de récupération des déchets solides et plastiques (non biodégradable) ;</li> <li>- Canaliser et orienter les eaux de</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Système de gestion des déchets dangereux mis en place et fonctionnant normalement,</li> <li>- Absence des traces des contaminants sur le sol,</li> <li>- Présence d'un bac à ordure installé sur le site d'entreposage des matériels ;</li> <li>- Présence d'une canalisation des eaux de ruissellement.</li> </ul>	

Milieux	Composante affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environnemental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
			ruissellement vers les zones plus stables à l'érosion et au-delà des zones fragiles : déblais, forte pente, terres nues.					
	Eaux	- <b>Pollution des eaux de ruissellement par les déchets solides et liquides ainsi que les produits toxiques (huile de vidange, carburants, graisse et matériels hors usage).</b>	- Construire des installations sanitaires au sein de la base en tenant compte du genre, (une pour les femmes et une pour les hommes). Ces installations doivent être en dimensions suffisantes pour contenir les excréta et les eaux de ménage afin de ne pas contaminer les eaux de surface par ruissellement - Assurer l'approvisionnement en eau potable de la base vie et lutter contre le gaspillage de l'eau.	UNICEF	Comité de suivi, Coordination Provinciale de l'environnement, Division provinciale de la Santé.	ACE	- Présence des installations sanitaires sur le site,  -Existence des bacs de stockage de l'eau potable et des gobelets en nombre suffisant pour les ouvriers,	
Biologie	Flore et Paysage	<b>Destruction de la flore, des végétaux ligneux et perte</b>	- Limiter les défrichements et le déboisement aux zones strictement concernées	UNICEF	CPDG, Comité de suivi	ACE	- Volume de sol décapé et traité/aucun cas de coupe	Inclus aux coûts de l'entrepreneur

Milieux	Composante affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environnemental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
		<p><b>d'habitat faunique, en général</b></p> <p>- <b>Destruction de l'habitat et risque de perte de la biodiversité et de la couverture végétale</b></p>	<p>par les installations du projet;</p> <p>- Interdire aux travailleurs de couper les arbres et d'allumer des feux de brousse ou de laisser les activités de brûlage à proximité ;</p> <p>- Interdire aux travailleurs d'allumer des feux de brousse ou de laisser les activités de brûlage à proximité des arbres ;</p>		<p>Coordination Provincial de l'environnement, Division provinciale de la Santé, FNN.</p>		<p>d'arbres non autorisée enregistrée,</p> <p>- Présence d'un règlement de chantier/ Aucun cas de feu de brousse.</p>	

	Faune et Habitats	<p><b>-Dégradation d'habitats faunique (micro faune) et perturbation de l'écosystème, Perte de la biodiversité et réduction du stock de la macro faune et de l'avifaune.</b></p>	<p>Interdire strictement l'achat, le transport et la vente des produits de chasse au personnel ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibiliser le personnel au problème que le braconnage et peut engendrer sur la faune. En règle générale, la consommation de viande de chasse sera interdite à toute personne affectée au chantier y compris par approvisionnement par des personnes extérieures au chantier ;</li> <li>- Sensibiliser le personnel du chantier et la population riveraine à la réglementation congolaise en la matière notamment sur les espèces totalement protégées (TP) et partiellement protégées (PP).</li> </ul>	UNICEF Comité de suivi, Coordination Provincial de l'environnement, CPDG, FNN.	ACE	<p>- Présence d'un règlement de chantier/ aucun cas de vente ou de détention des produits de chasse enregistré,</p> <p>- Nombre des séances de sensibilisation sur le problème de braconnage et la préservation de l'écosystème.</p>	Inclus aux coûts de l'entrepreneur
--	-------------------	--	--	--	-----	--	------------------------------------

Mili eux	Composant e affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environne mental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
Socio-économique	Santé et sécurité humaine	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Prolifération des IST et du VIH/SIDA</li> <li>-Maladies des mains sales</li> <li>-Accidents de travail et risque de morsure de serpent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mener des campagnes de sensibilisation auprès du personnel de et de la population locale riveraine du projet dans le but de les amener au changement vers un comportement sexuel responsable ;</li> <li>- Mettre à la disposition des travailleurs des préservatifs et des informations sur leur bonne utilisation ;</li> <li>- Mener des actions concertées avec les services de la santé, des hôpitaux, des associations et ONG nationales agissant dans le domaine de la prévention des MST et la promotion de la santé.</li> </ul>	UNICEF	CPDG, Comité de suivi, Coordination Provinciale de l'environnement, Division provinciale de la Santé.	ACE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapports des campagnes de sensibilisation sur le VIH/SIDA,</li> <li>- Présence des préservatifs et rapport de distribution des préservatifs,</li> <li>- Existence d'un protocole d'accord avec une structure de lutte contre le VIH/SIDA,</li> <li>- Existence des bacs à ordures et des installations sanitaires dans le respect du genre,</li> <li>- Nombre des séances de sensibilisation</li> </ul>	Inclus aux coûts de l'entrepren eur

Mili eux	Composant e affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environne mental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en place un plan de gestion des déchets adapté à la taille du chantier ;</li> <li>- Construire et entretenir des installations sanitaires (2) au sein de la base en dimensions suffisantes pour contenir les excréta et les eaux de ménage ;</li> <li>- Sensibiliser les ouvriers en matière d'hygiène, sécurité et santé.</li> <li>- Signer un partenariat avec un centre médical des environs,</li> <li>- Disposer d'une trousse de secours.</li> </ul>				<p>sur l'hygiène et santé,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence d'un accord de partenariat avec une structure sanitaire de la place.</li> <li>- Présence d'une trousse de secours contenant une prière noire.</li> </ul>	
	<b>Emploi et Revenu</b>	<b>Création d'emplois locaux.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Priorisation d'emploi aux jeunes, aux femmes, aux personnes vulnérables et aux populations autochtones des villages proches de la base ;</li> </ul>	UNICEF	CPDG, ONEM, Comité de suivi, Coordination Provincial de l'environnement,	ACE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nombre d'employés locaux embauchés dont les jeunes, femmes, personnes vulnérables et</li> </ul>	Inclus aux coûts de l'entrepreneur

Mili eux	Composant e affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environne mental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Respect du SMIG dans le paiement des employés ;</li> <li>- Large diffusion des offres d'emplois afin d'accorder les mêmes chances à toutes les personnes actives des localités concernées.</li> </ul>		Division provinciale de la Santé, Division Provinciale du Travail.		les populations autochtones ; - Effectivité d'affichage des offres au niveau des bureaux du groupement et de la localité / Toutes les offres sont largement diffusées	
	<b>Commerce et activités génératrices des recettes</b>	<b>Emergence de petits commerces tout autour</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Encadrer et sensibiliser les commerçants en matière d'hygiène, sécurité et santé ;</li> <li>- Faciliter la création d'activités parallèles génératrices de revenus (AGR) au sein de la population.</li> </ul>	UNICEF	CPDG, ONEM, Comité de suivi, Division provinciale de la Santé ; Division Provinciale du Travail.	ACE	Nombre des séances de sensibilisation tenues,  Présence effective d'un planning des travaux/ Planning des travaux respecte a 100%.	Inclus aux coûts de l'entrepreneur

Mili eux	Composant e affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environne mental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
	<b>Transport et circulation routière</b>	<b>Augmenter le risque d'accident</b>	Limitation à 30 Km /h de la vitesse des camions en charge de transport des matériaux.	UNICEF	Comité de suivi Division provinciale de la Santé.	ACE	Présence effective d'un planning des travaux/ Planning des travaux respecte a 100%.  Existence des panneaux de signalisation	Inclus aux coûts de l'entrepren eur
	<b>Développe ment du genre</b>	<b>Amélioration de conditions vie de la femme, des personnes vulnérables et des peuples autochtones (pygmées, etc.)</b>	Maintenir le bon niveau de service d'approvisionnement en eau potable en toute saison	UNICEF	CPDG, Comité de suivi, Coordination Provinciale de l'environnement, Division provinciale de la Santé.	ACE	Effectivité du respect des clauses du cahier de charge par le promoteur/100% des mesures appliquées	Inclus aux coûts de l'entrepren eur
<b>PHASE DE CONSTRUCTION</b>								
<b>Travaux de construction des ouvrages hydrauliques</b>								
<b>Phy sique</b>	<b>Sol</b>	<b>Pollution du sol les déchets</b>		UNICEF	CPDG Comité de suivi,	ACE	- Volume de sol décapé et	Inclure aux coûts de

Milieux	Composante affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environnemental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
		<p><b>solides et liquides, des eaux usées et produits de mélange,</b></p> <p><b>- Erosion hydrique résultant de ruissèlement,</b></p> <p><b>Modification de la structure du sol,</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eviter de dénuder le sol trop longtemps à l'avance, ne dénuder que les surfaces sur lesquelles on est assuré d'une progression normale et continue des travaux. --</li> <li>Végétaliser les talus des remblais,</li> <li>- Eviter les déversements accidentels et le rejet des produits toxiques sur le sol, ainsi que des dépôts sauvages des déchets ;</li> <li>- Disposer des produits absorbants permettant de palier les cas de déversements accidentels de produits toxiques sur le sol.</li> <li>- Mettre en place des bacs de récupération des déchets solides et plastiques (non biodégradable)</li> <li>- Canaliser et orienter les eaux de ruissellement</li> </ul>		<p>Coordination Provinciale de l'environnement</p> <p>Division provinciale de la santé,</p> <p>FNN</p>		<p>traité/Aucun cas de contamination accidentelle relevé,</p> <p>- Règlement intérieur affiché au niveau de la base interdisant les rejets des déchets et produits toxiques sur le sol/aucun cas de déversement enregistré,</p> <p>- Présence effective des talus végétalisés/ 100% des mesures appliquées</p> <p>- Système de gestion des</p>	l'entrepreneur

Milieux	Composante affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environnemental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
			vers les zones plus stables à l'érosion et au-delà des zones fragiles : déblais, forte pente, terres nues ; - Assurer la collecte régulière et le traitement approprié des déchets solides et liquides du chantier.				déchets dangereux mis en place et fonctionnant normalement,  - Absence des traces des contaminants sur le sol,  - Présence d'un bac à ordures installé sur le site d'entreposage des matériels,  - Présence d'une canalisation des eaux de ruissellement.	
	<b>Eaux</b>	- Pollution des eaux par les déchets solides et liquides ainsi que les produits	- Limiter les chutes de matière ou d'objet (pièces métalliques, etc.) dans l'eau lors des travaux de captage ainsi que toute	UNICEF	CPDG Comité de suivi, Coordination Provinciale de l'environnement	ACE	- Existence des bacs de stockage de l'eau potable et des gobelets en	Inclus aux coûts de l'entrepreneur

Milieux	Composante affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environnemental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
		<p>toxiques issus des matériaux utilisés ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Risque d'engorgement des eaux, modification du drainage,</li> <li>- Perturbation des écosystèmes aquatiques.</li> </ul>	<p>sorte de déversement de déchets dans les eaux de la source;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Laisser 10% des eaux de la source pour le besoin de l'écosystème ;</li> <li>- Eviter tout déversement à travers la collecte régulière et le traitement approprié des déchets solides et liquides du chantier.</li> </ul>		<p>Division provinciale de la santé, FNN</p>		<p>nombre suffisant pour les ouvriers,</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Présence des installations sanitaires sur le site,</li> <li>- Réalisation effective des différentes mesures prévues en cas de contamination,</li> <li>- Ouvrages de drainage et canalisation correctement entretenus /absence de ravinement</li> </ul>	
	<b>Paysage</b>	<p>Modification visuelle du paysage</p>	<p>Mettre en place des bacs de récupération des déchets solides et plastiques (non biodégradable)</p>	UNICEF		ACE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence des bacs à déchets pour la récupération des matières ou</li> </ul>	<p>Inclure aux coûts de l'entrepreneur</p>

Mili eux	Composant e affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environne mental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Remettre en état les aires utilisées, à travers entre autres le comblement des principales excavations avec matériaux de découverte ou autres matériaux de comblement (déchets végétaux issus des coupes) ;</li> <li>- reboiser le site dans le cadre de lutte contre l'érosion ;</li> <li>- Limiter l'espace d'intervention minimum requis par les règles d'usage et les exigences de sécurité et réduire la perte du couvert végétal.</li> </ul>				<p>objets polluants ;</p> <p>- Les mesures de reboisement sont mises en place dans le cadre de lutte contre l'érosion :</p> <p>Aucune présence des déchets n'est visible après le chantier.</p>	
<b>Biologique</b>	Flore, Faune et Habitat	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Destruction de la flore, perte d'habitat faunique, destruction de la microflore.</li> <li>- Destruction de l'habitat et de la couverture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Interdire aux travailleurs la coupe non autorisée d'arbres autours de la source;</li> <li>- Limiter le déboisement au strict minimum nécessaire sur toute la traversée de la canalisation</li> </ul>	UNICEF	Comité de suivi ; Coordination Provinciale de l'environnement ; ICCN ; FFN	ACE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence et vulgarisation du règlement de chantier,</li> <li>- Aucun cas de coupe sans autorisation n'est enregistré,</li> </ul>	Flore, Faune et Habitat

Mili eux	Composant e affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environne mental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
		végétale, modification du paysage.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en place des mesures de reboisement;</li> <li>- Veiller à travailler tout en évitant e la limite du possible le bruit,</li> <li>- Remettre en état les fosses et sites.</li> </ul>				<ul style="list-style-type: none"> <li>- Les mesures de reboisement sont mises en place dans le cadre de lutte contre l'érosion.</li> </ul>	
<b>Socio-économique</b>	Sante et sécurité humaine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation des vecteurs de Maladies,</li> <li>- Accidents de travail et risque de morsure de serpent</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mettre en place un plan de gestion des déchets adapté à la taille du chantier ;</li> <li>- Construire et entretenir des installations sanitaires au sein des sites.</li> <li>- Mettre à la disposition des ouvriers des EPI (gants, caches nez, bottes et gilets) ;</li> <li>- Sensibiliser les ouvriers en matière d'hygiène, sécurité et santé.</li> <li>- Disposer de la trousse médicale mobile contenant une pierre noire et un stock de médicaments et</li> </ul>	UNICEF	ONG ;, Coordination Provinciale de l'environnement Division provinciale de la santé,	ACE	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existence des bacs à ordures et des installations sanitaires dans le respect du genre,</li> <li>- Nombre des séances de sensibilisation sur l'hygiène et santé,</li> <li>- Existence d'un accord de partenariat avec une structure</li> </ul>	Inclure aux coûts de l'entrepren eur

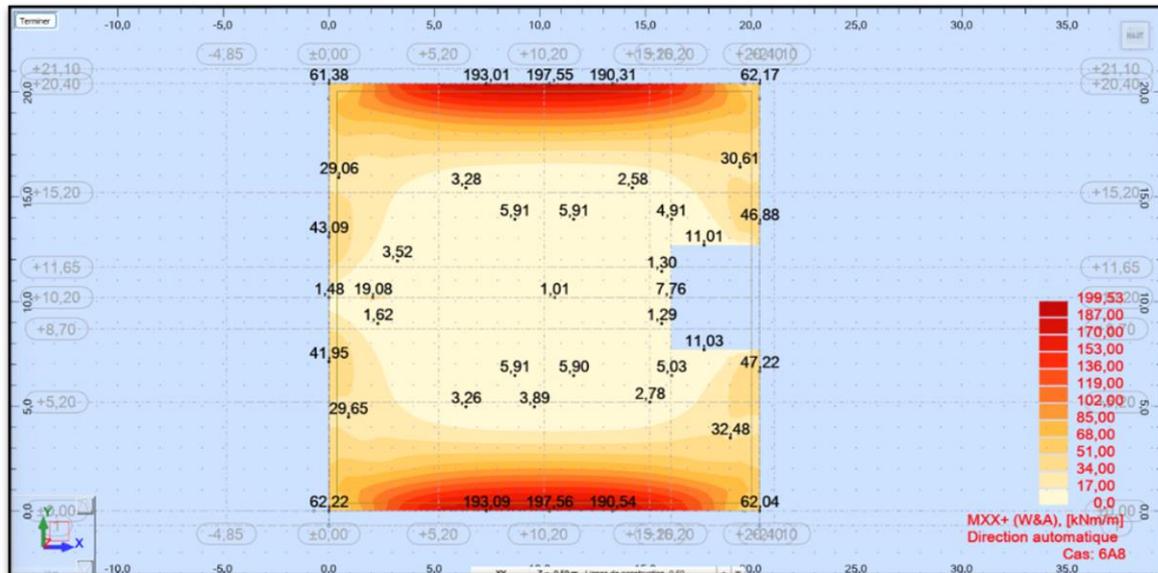
Mili eux	Composant e affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environne mental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
			d'équipements médicaux pour assurer les premiers secours ; - Etre en contact avec l'équipe du centre de santé le plus proche en cas d'accident ;				sanitaire de la place.  - Présence d'une trousse de secours contenant une prière noire.	
	Emploi et Revenu	Création d'emplois locaux.	- Priorisation d'emploi aux jeunes, aux femmes, aux personnes vulnérables et aux populations autochtones des villages proches de la base ; - Respect du SMIG dans le paiement des employés ; - Large diffusion des offres d'emplois afin d'accorder les mêmes chances à toutes les personnes actives des localités concernées.	UNICEF	ONEM Comité de suivi, DPS, Inspection Provinciale du Travail.	ACE	- Nombre d'employés locaux embauchés dont les jeunes, femmes, personnes vulnérables et les populations autochtones ; - Effectivité d'affichage des offres au niveau des bureaux du groupement et de la localité / Toutes les offres	Inclure aux coûts de l'entrepreneur

Milieux	Composante affectée	Impacts potentiels	Mesures d'atténuation et compensation	Responsabilité			Indicateur de suivi	Coût de mise en œuvre du PGES
				Mise en œuvre du PGES	Suivi environnemental	Suivi de la mise en œuvre du PGES		
							sont largement diffusées	

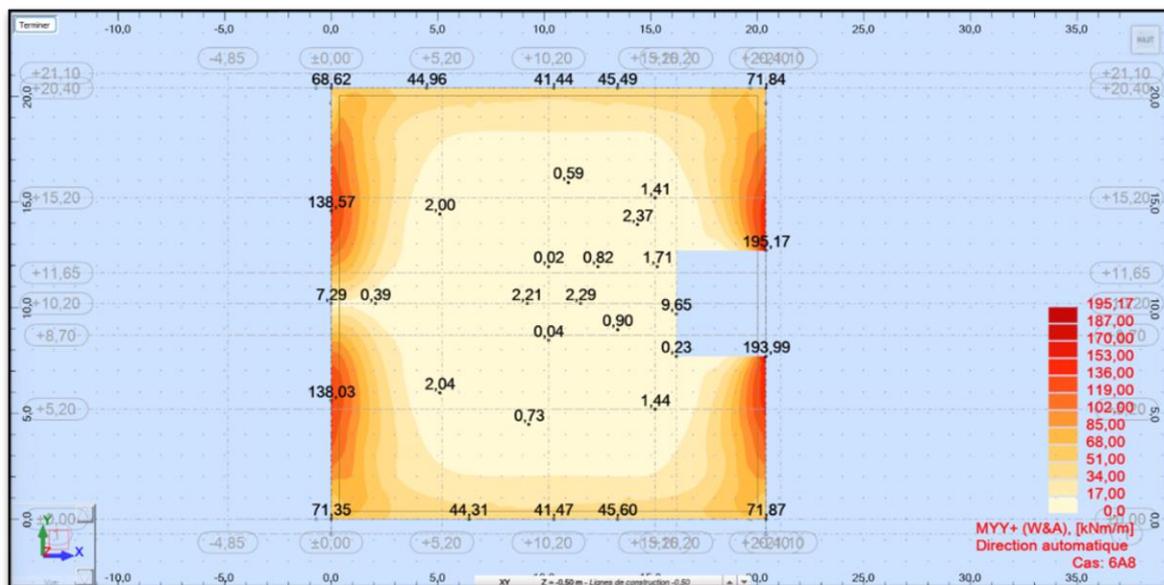
## Annexe 4: Cartographies des efforts internes et sections d'aciers

### Cartographie des moments sur le radier à l'ELU

Suivant xx

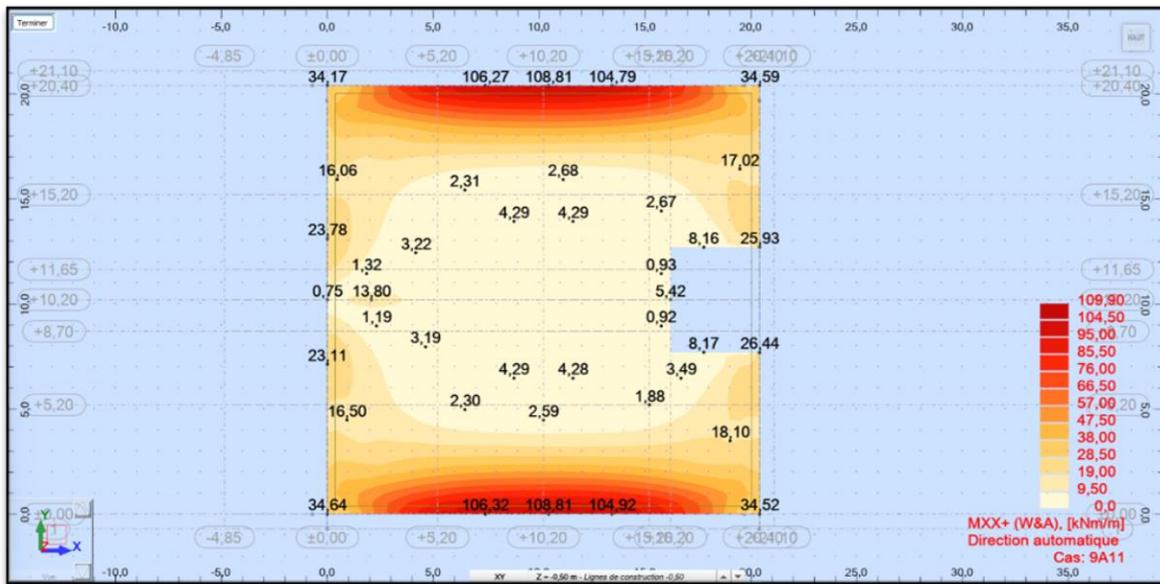


Suivant yy

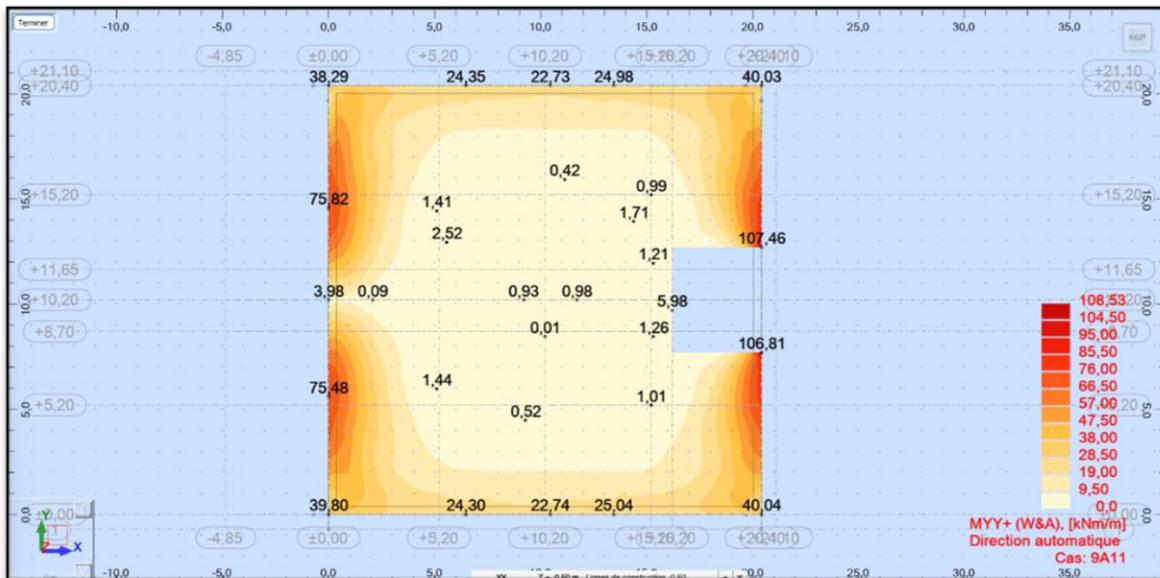


## Cartographie des moments sur le radier à l'ELS

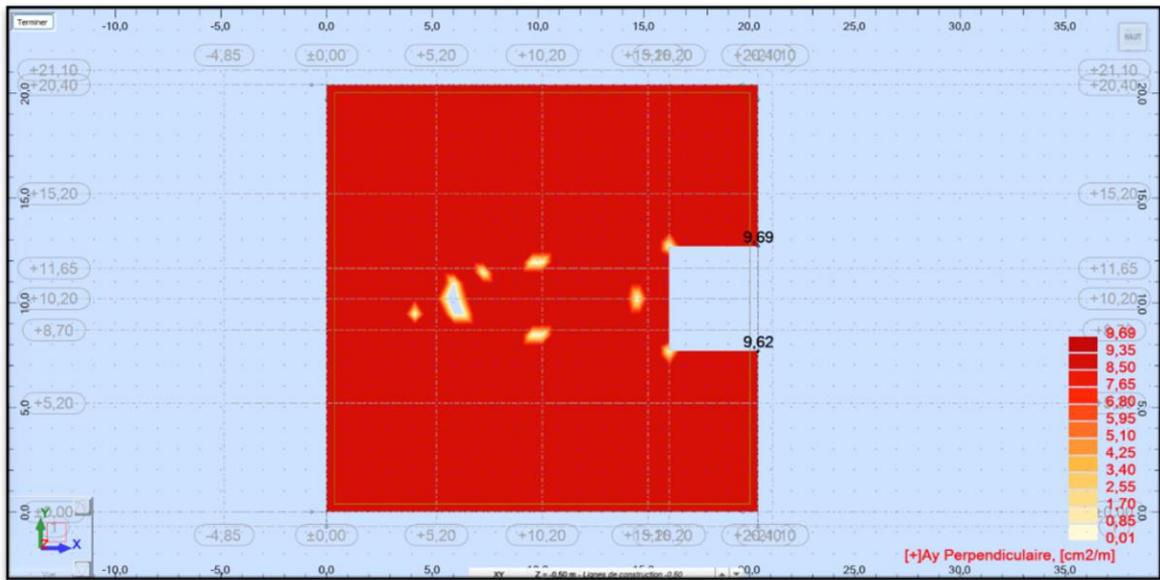
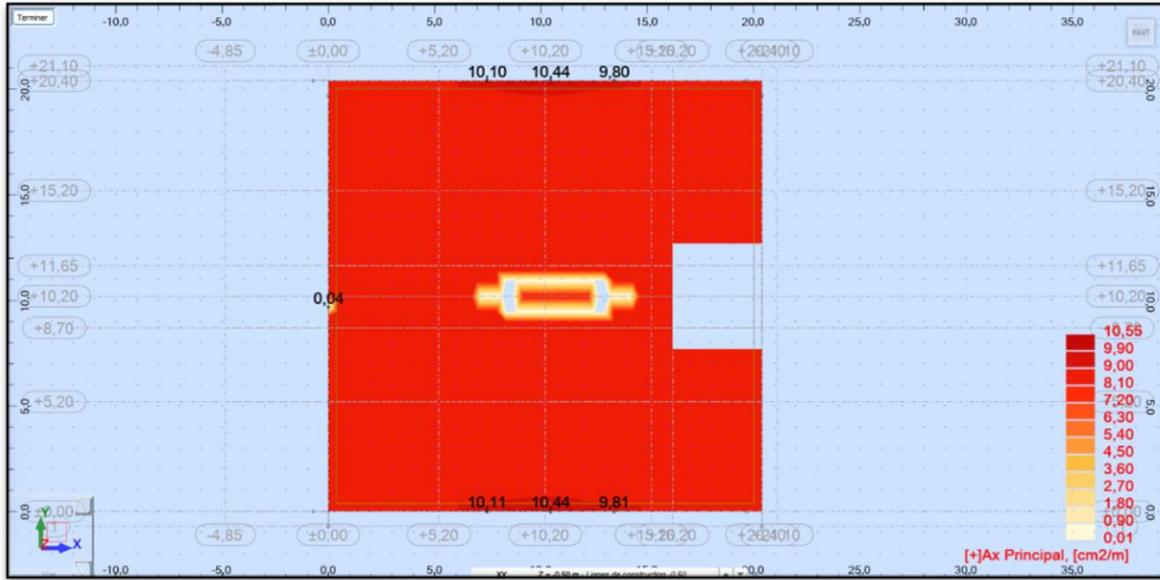
Suivant xx



Suivant yy

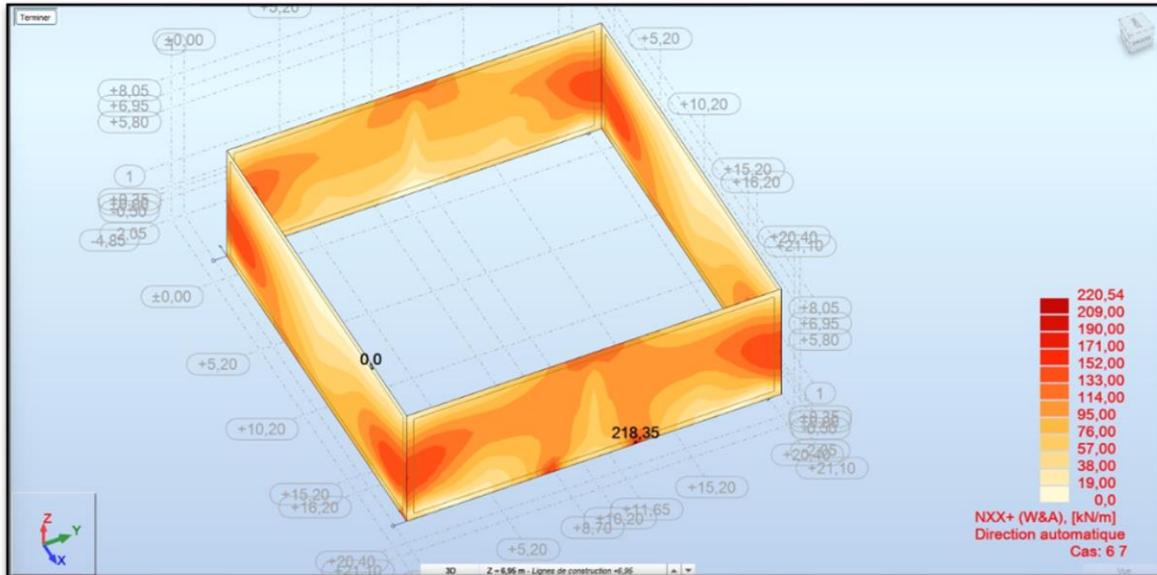


## Cartographie des sections d'acier sur le radier

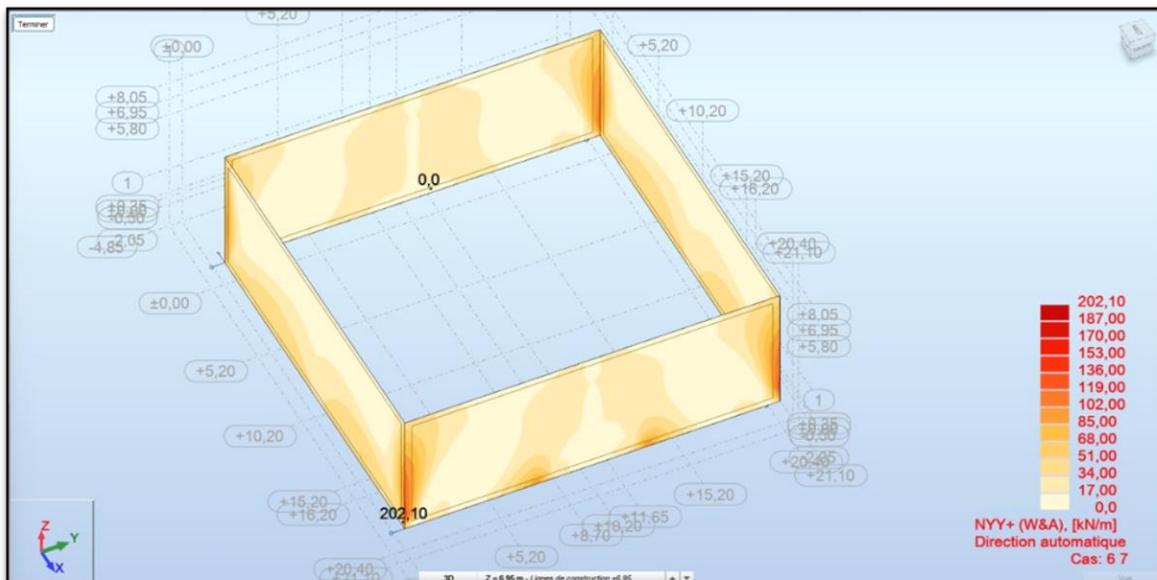


## Cartographie de l'effort de traction sur les parois périphériques à l'ELU

Suivant xx

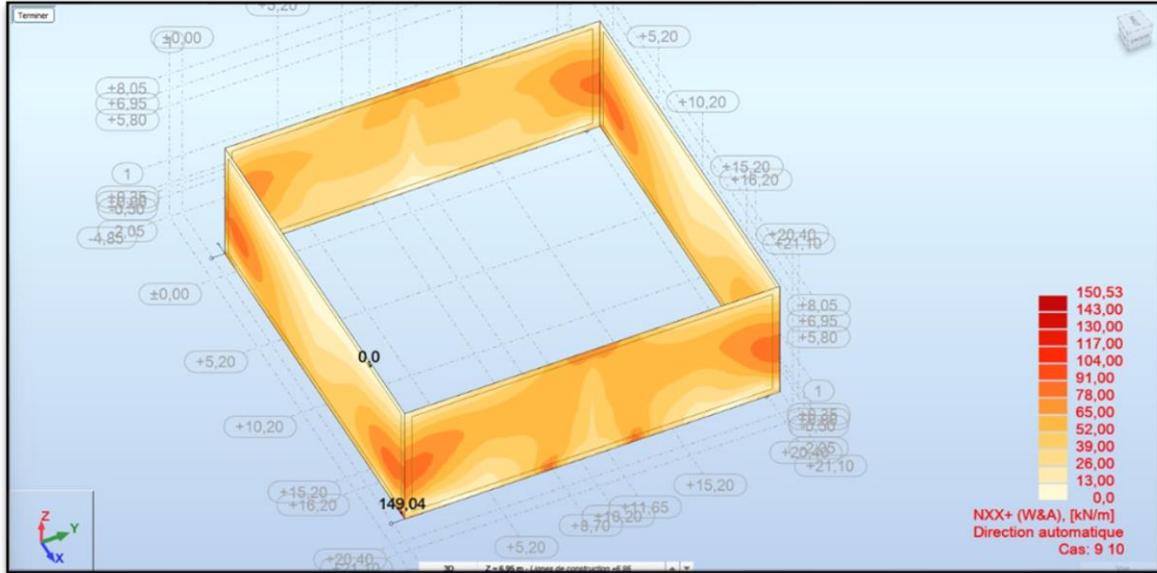


Suivant yy

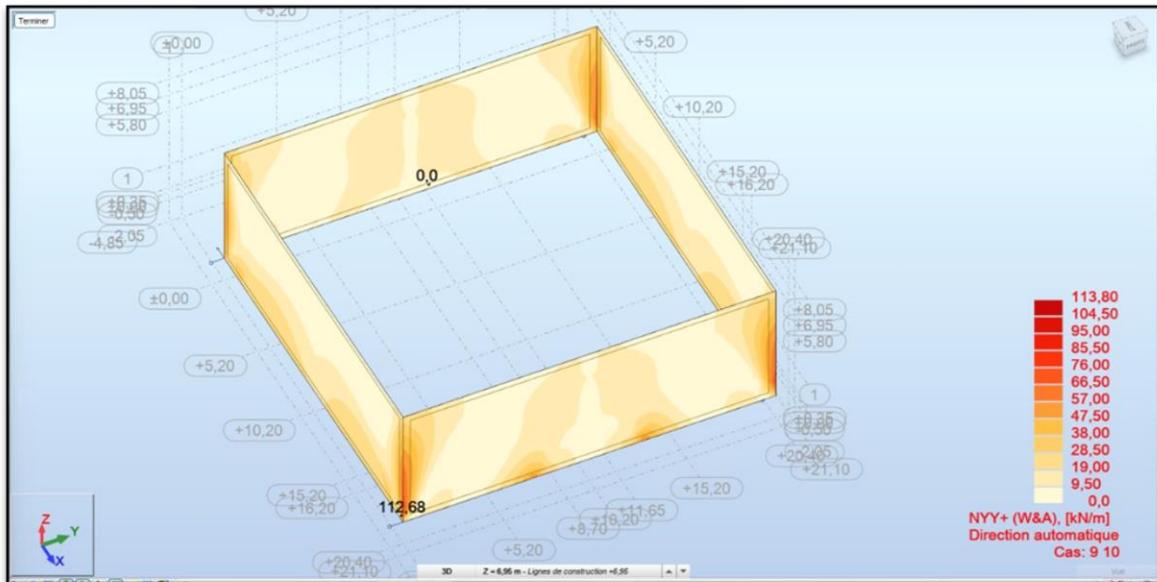


## Cartographie de l'effort de traction sur les parois périphériques à l'ELS

Suivant xx

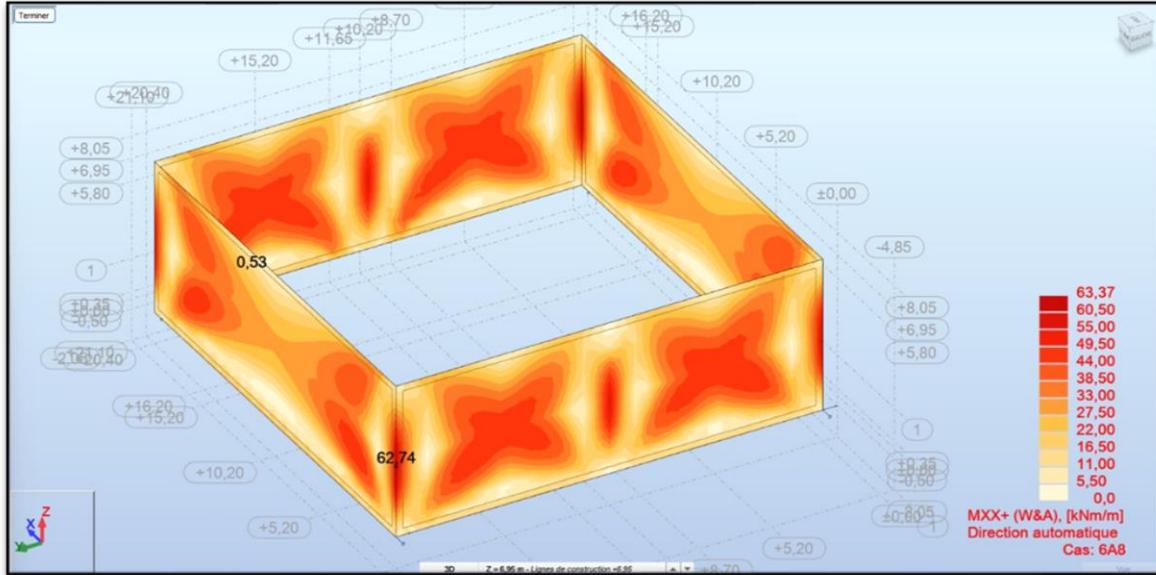


Suivant yy

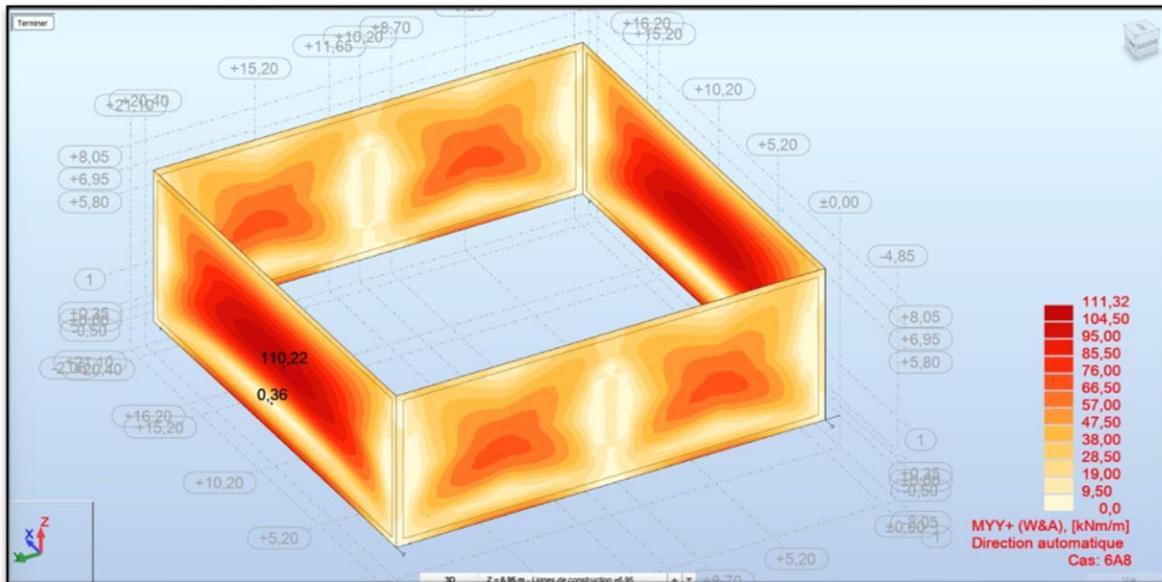


## Cartographie des moments sur les parois périphériques à l'ELU

Suivant xx

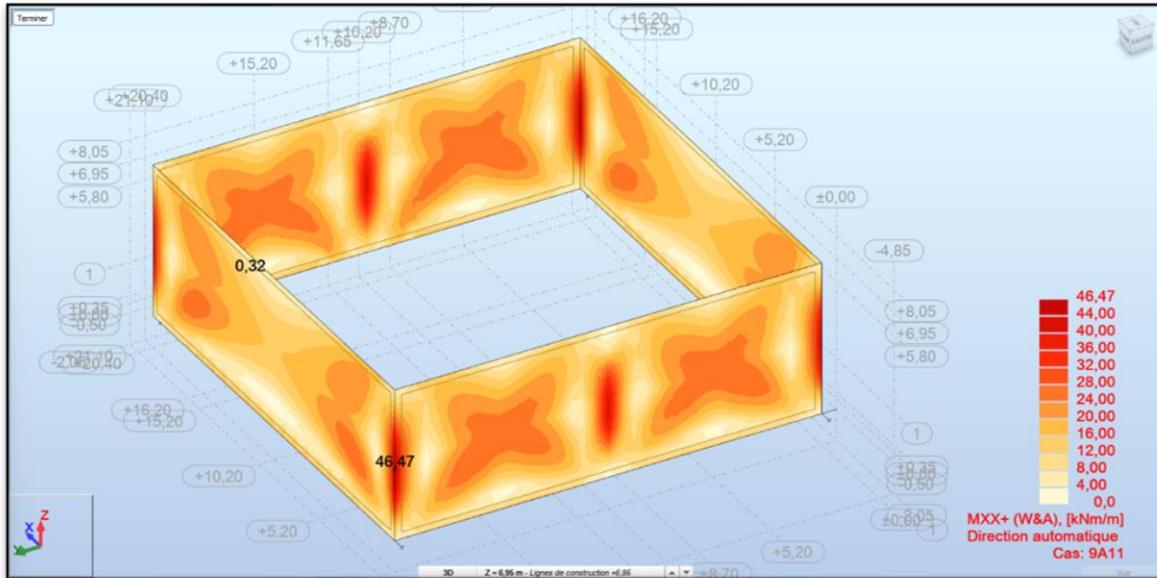


Suivant yy

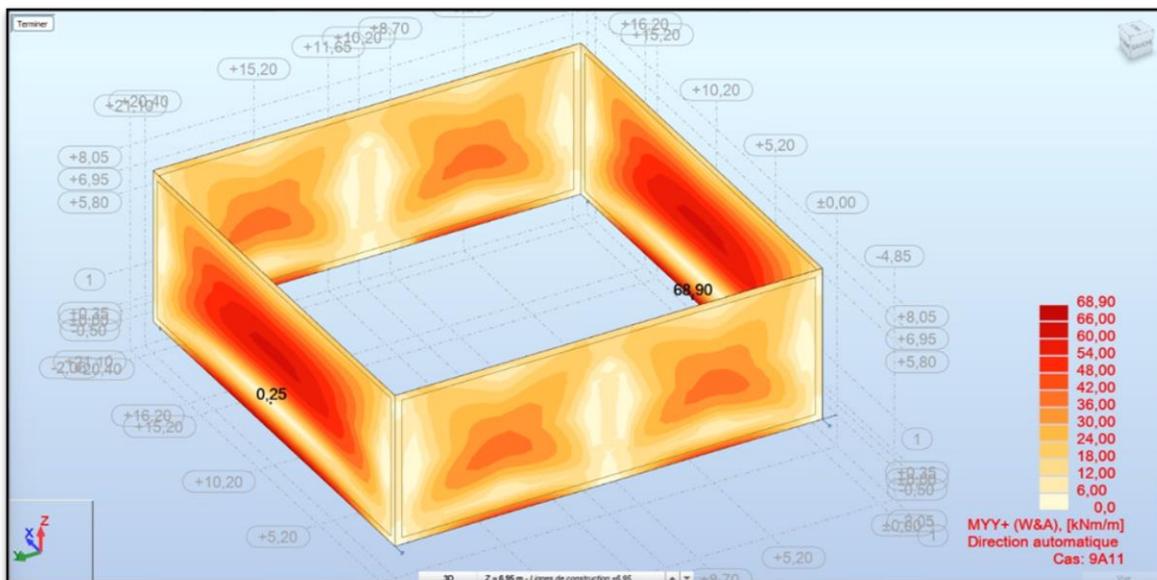


## Cartographie des moments sur les parois périphériques à l'ELS

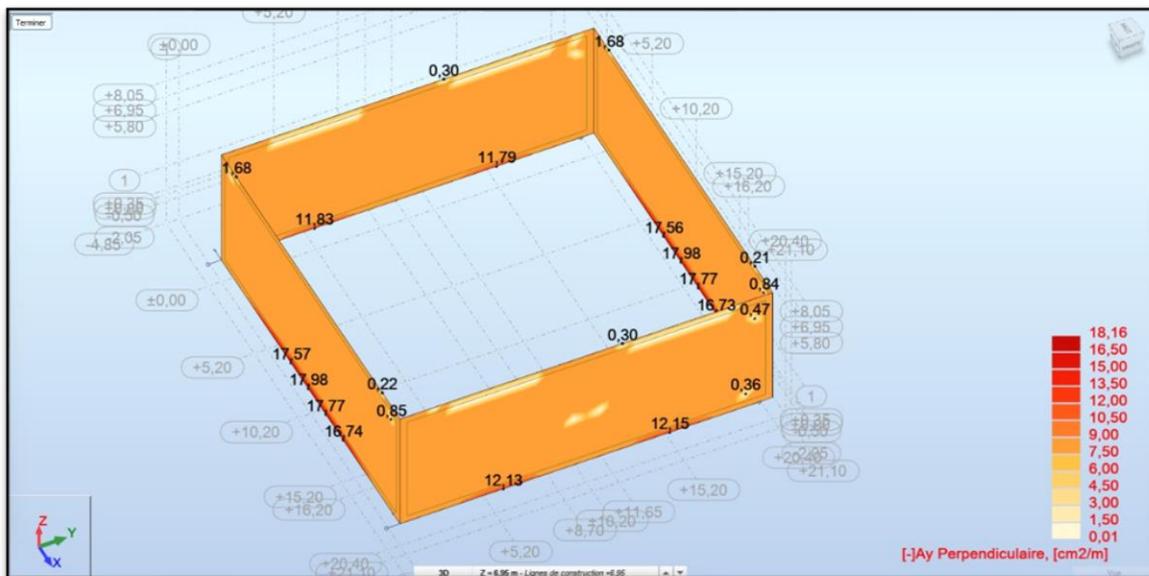
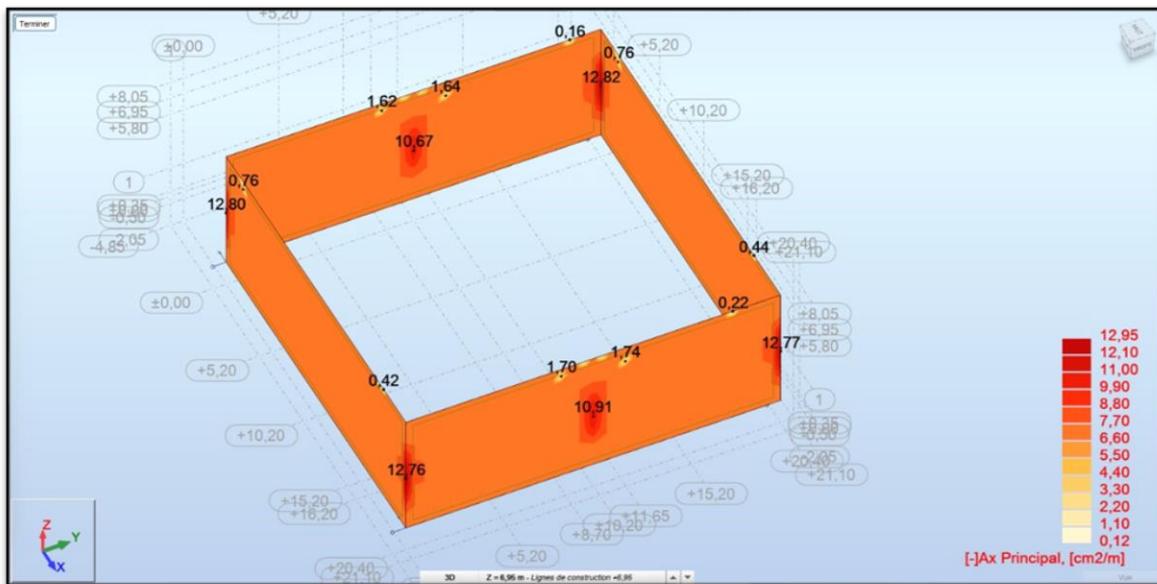
Suivant xx



Suivant yy

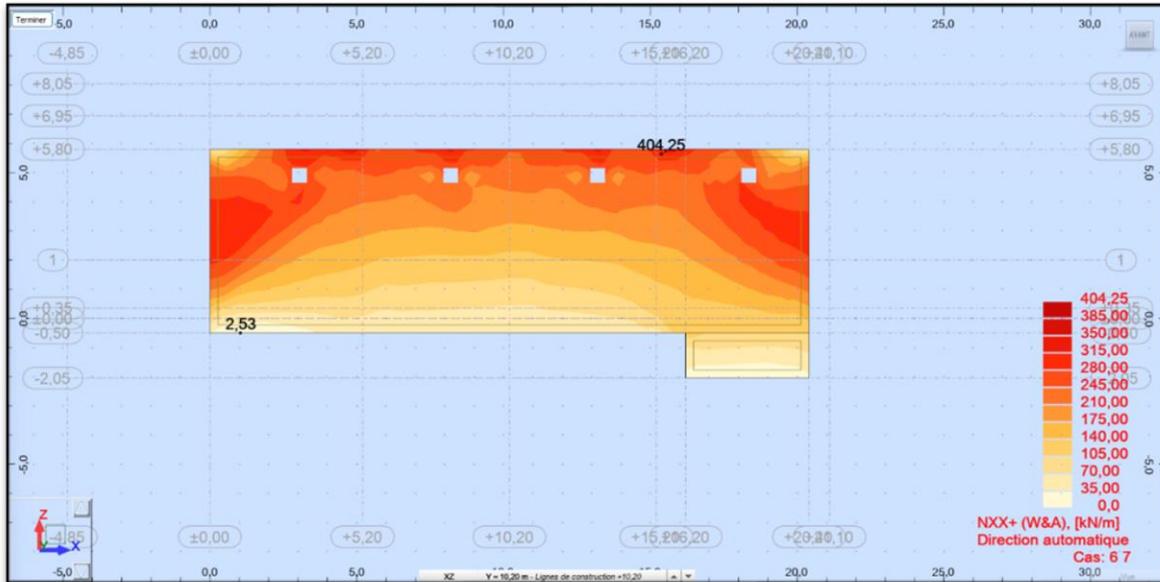


## Cartographie des sections d'aciers sur les parois périphériques

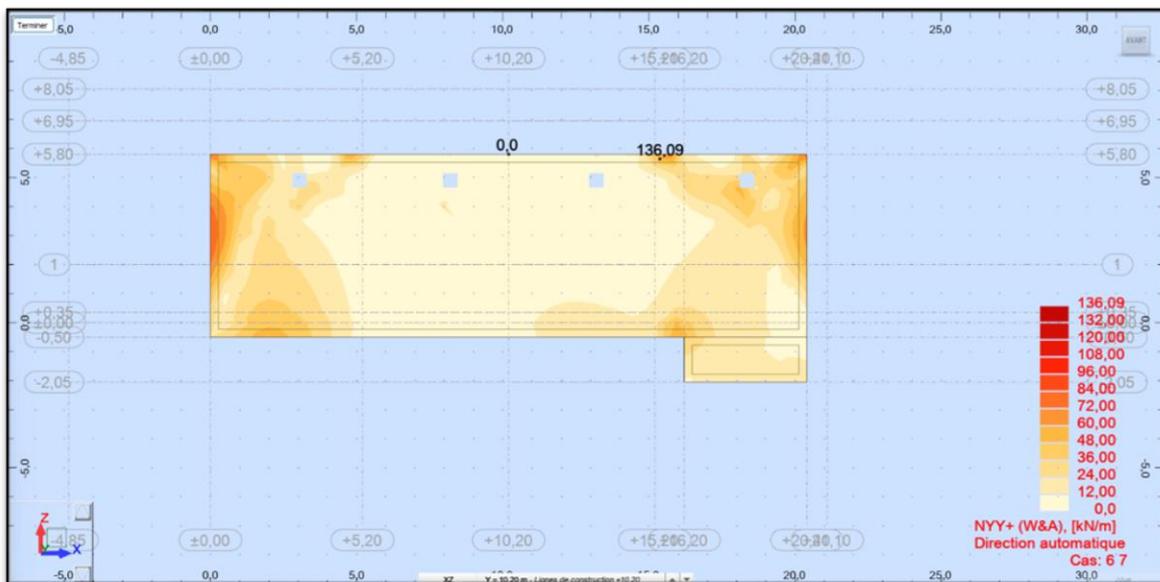


## Cartographie de l'effort de traction sur la paroi intermédiaire à l'ELU

Suivant xx

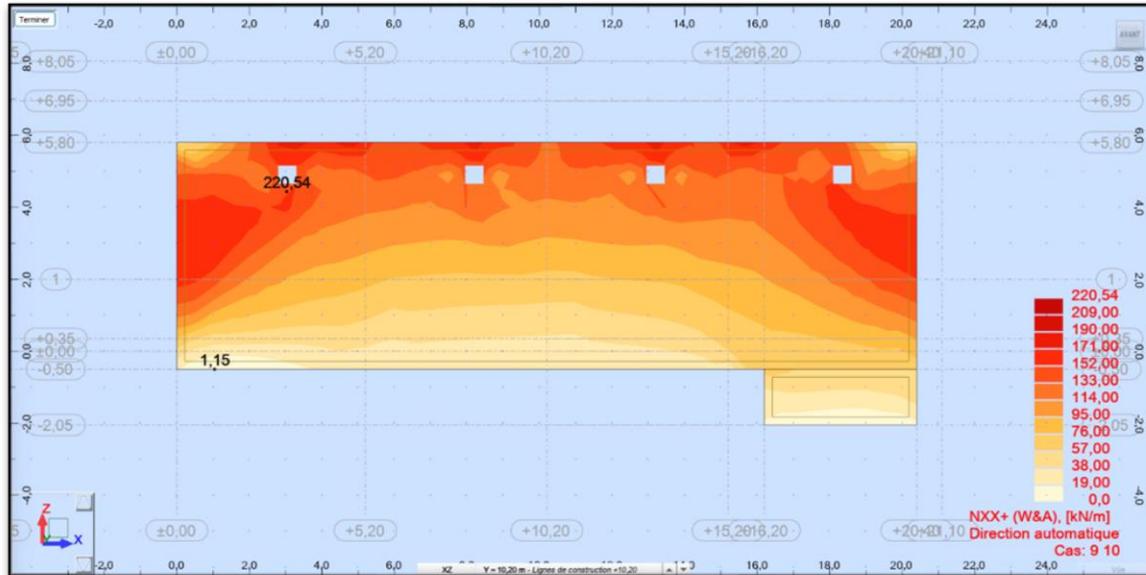


Suivant yy

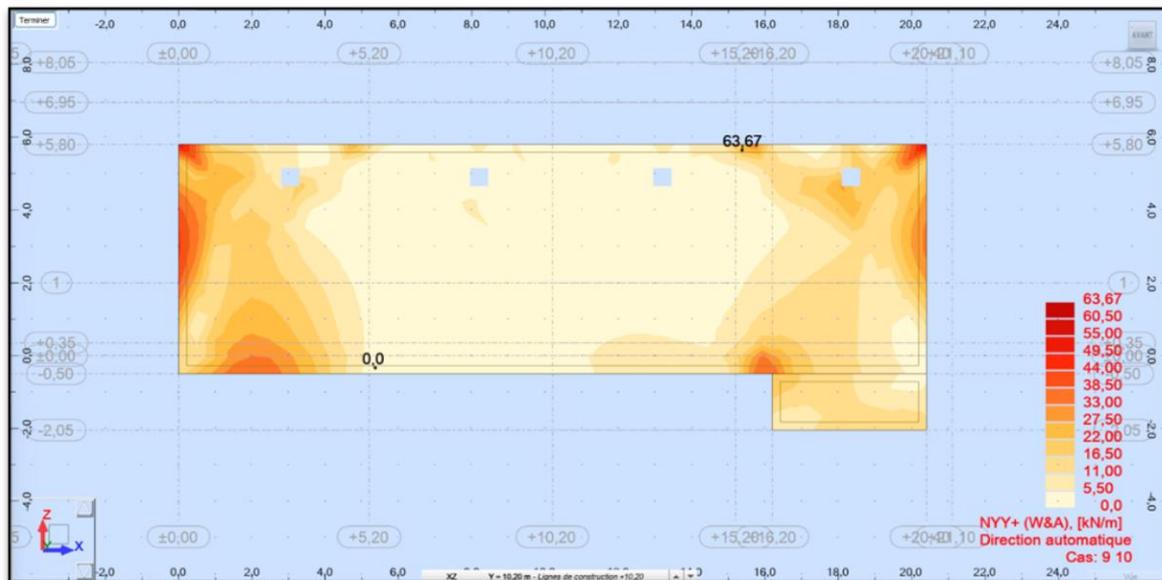


## Cartographie de l'effort de traction sur la paroi intermédiaire à l'ELS

Suivant xx

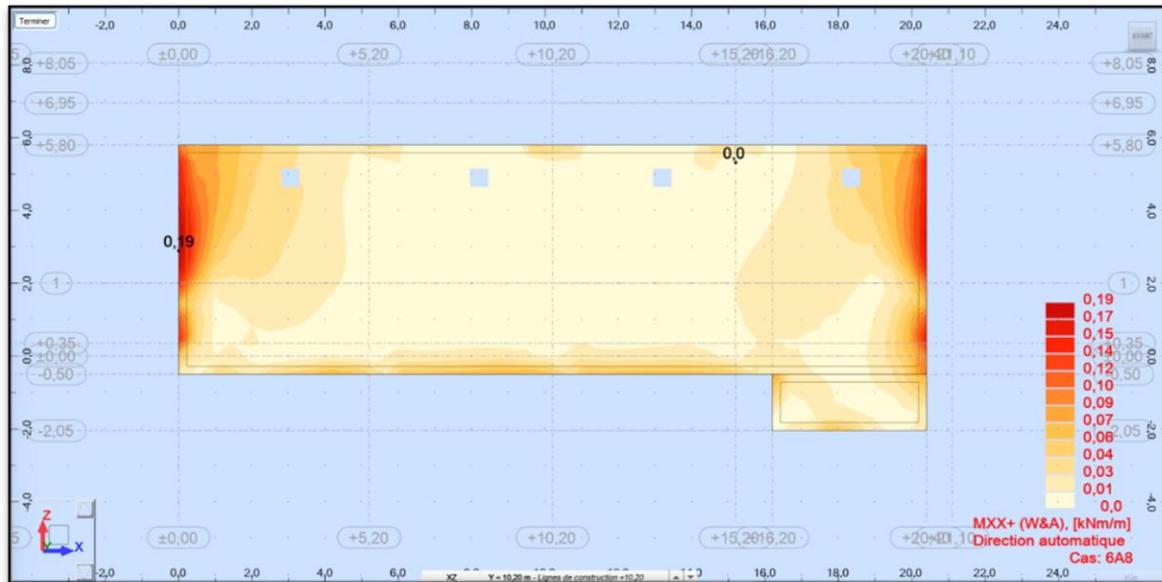


Suivant yy

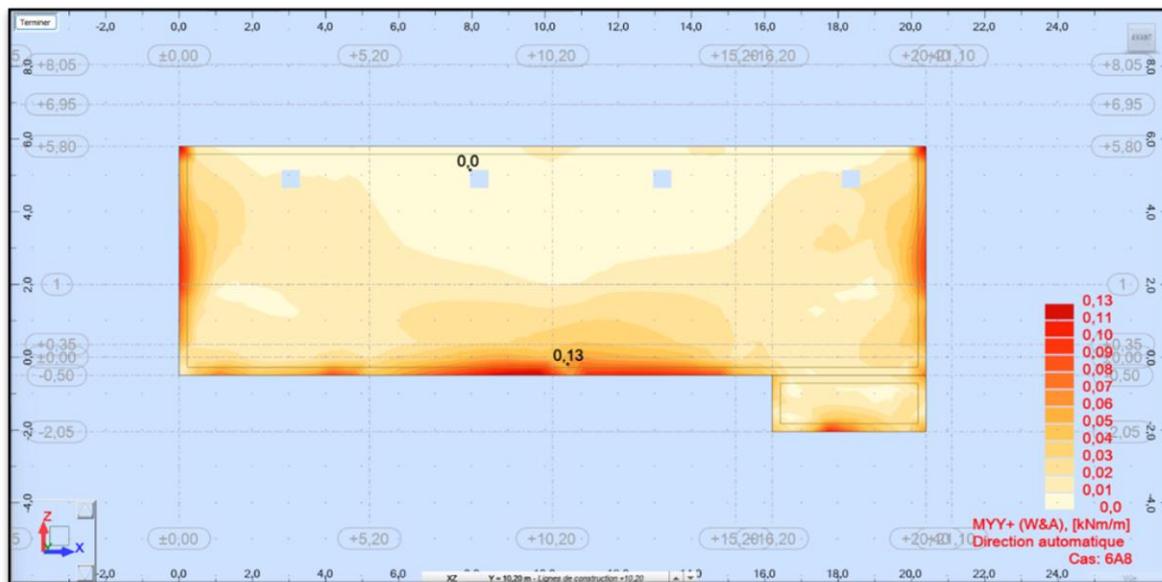


## Cartographie des moments sur les parois périphériques à l'ELU

Suivant xx

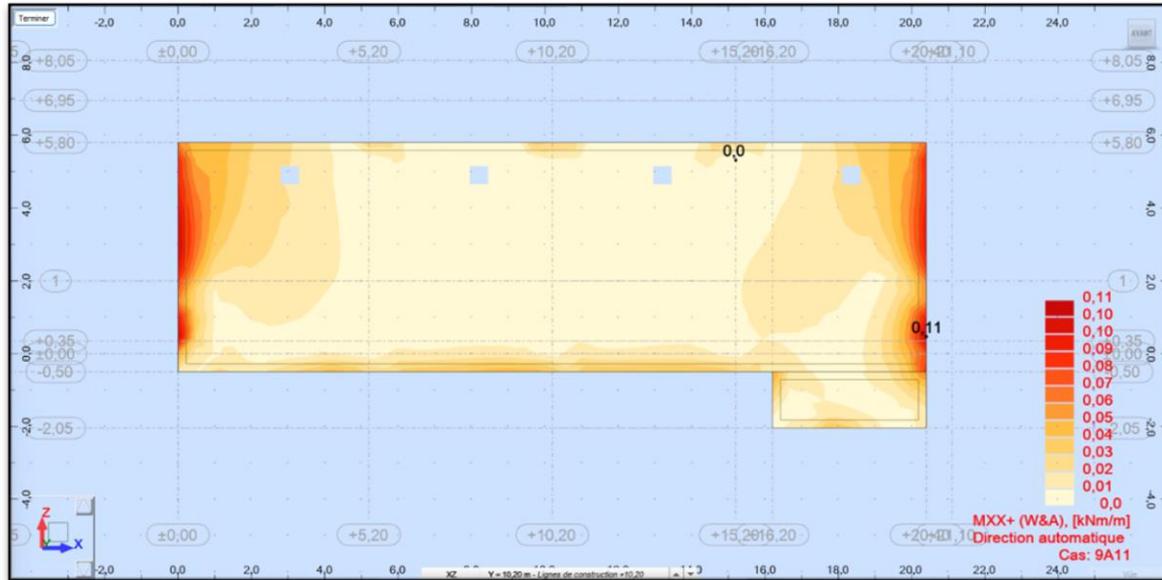


Suivant yy

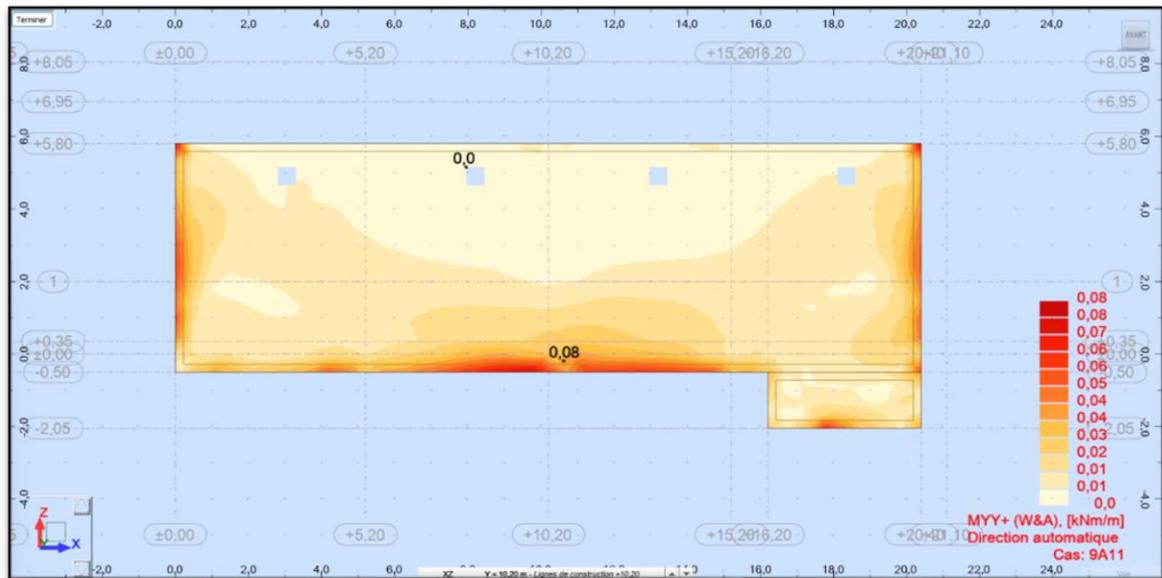


## Cartographie des moments sur les parois périphériques à l'ELS

Suivant xx

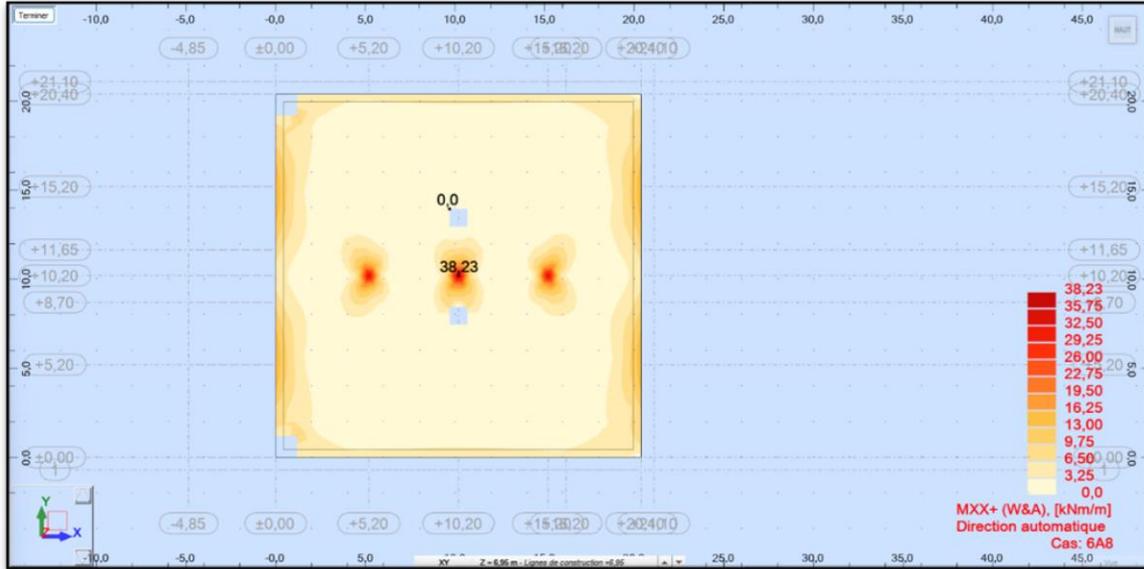


Suivant yy

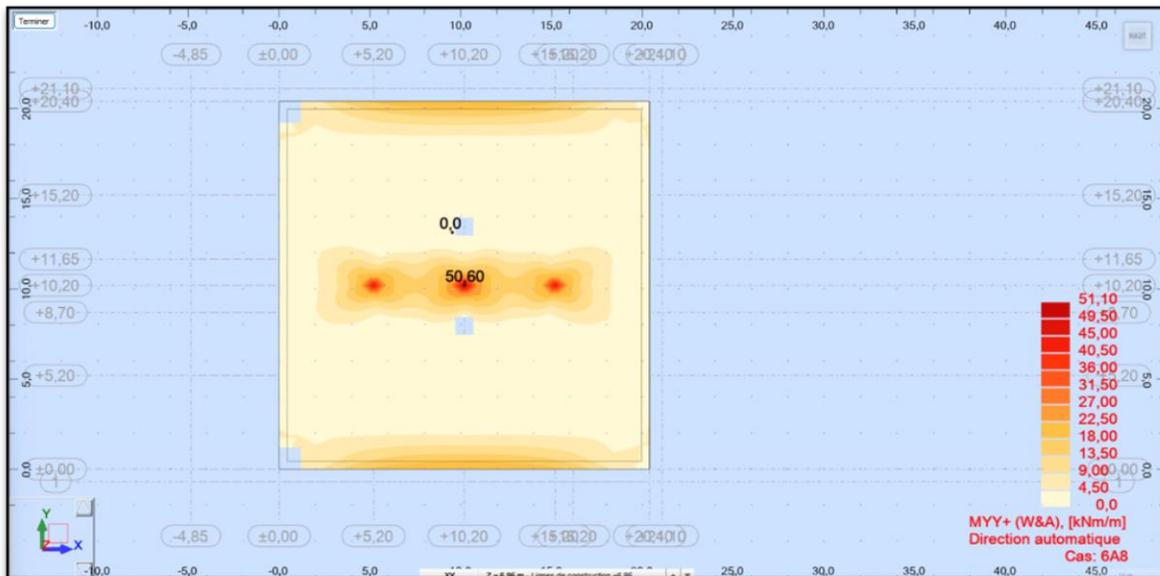


## Cartographie des moments sur la dalle de couverture à l'ELU

Suivant xx

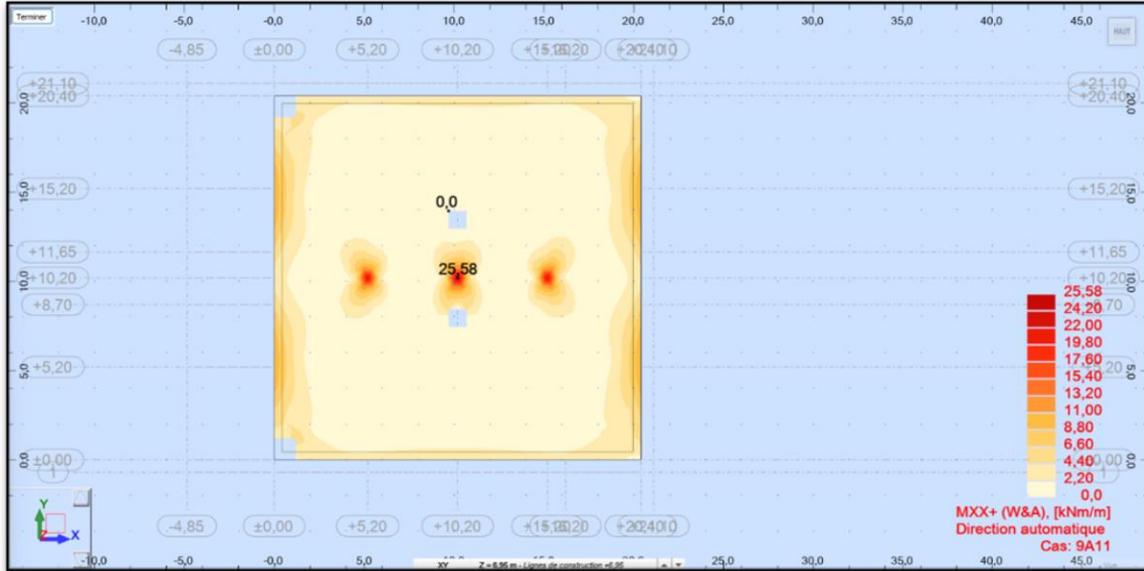


Suivant yy

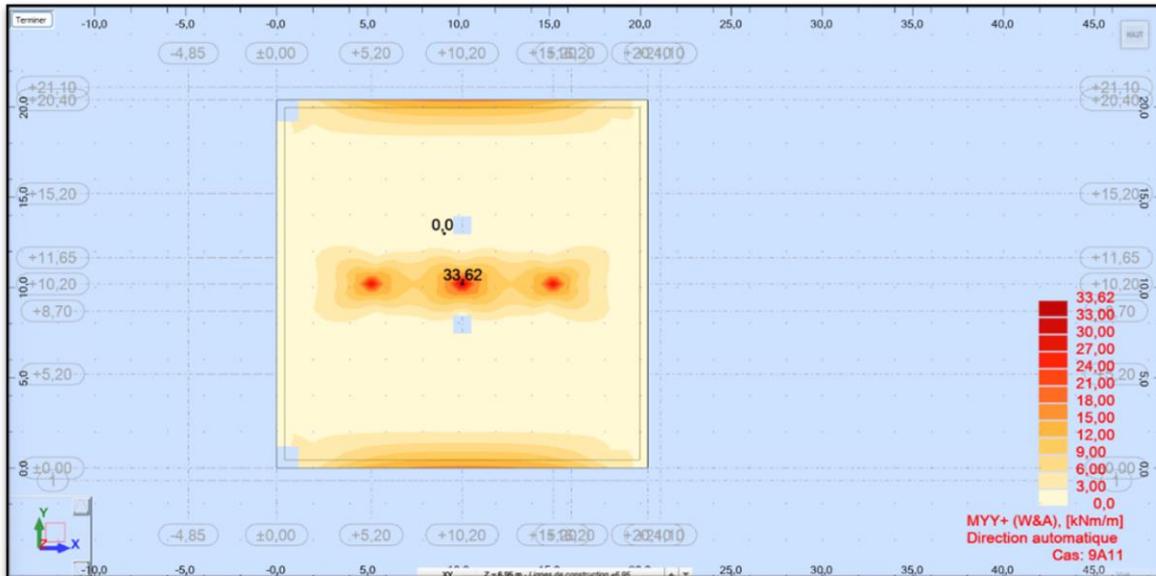


## Cartographie des moments sur la dalle de couverture à l'ELS

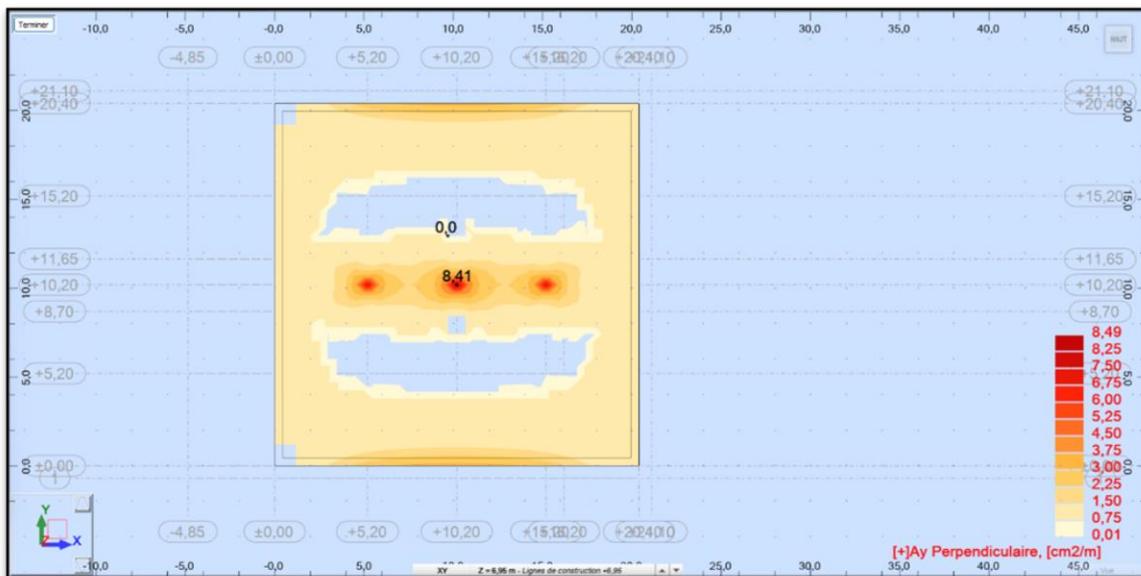
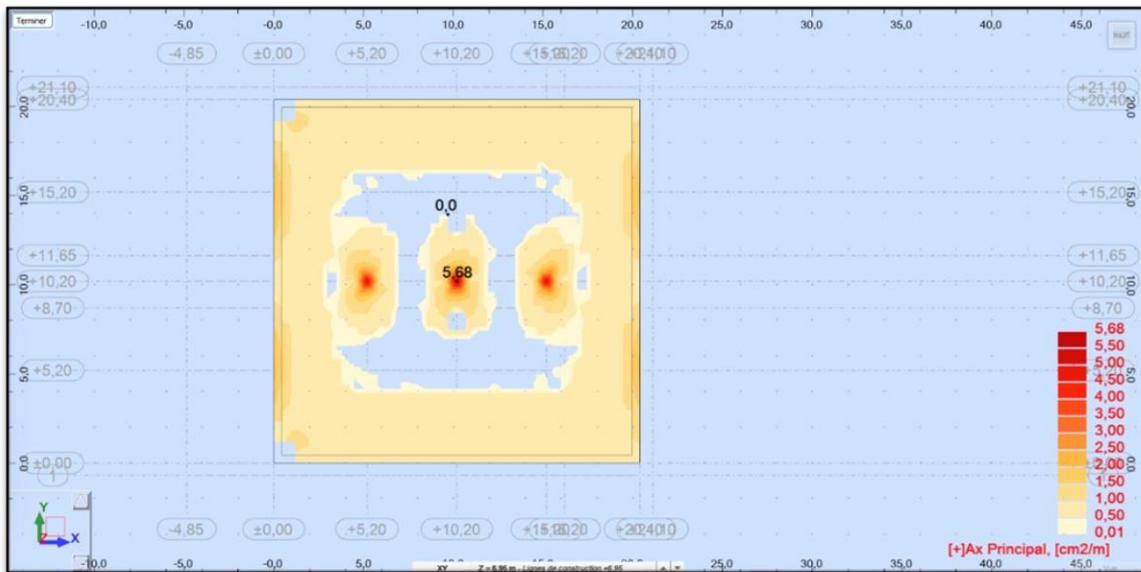
Suivant xx



Suivant yy

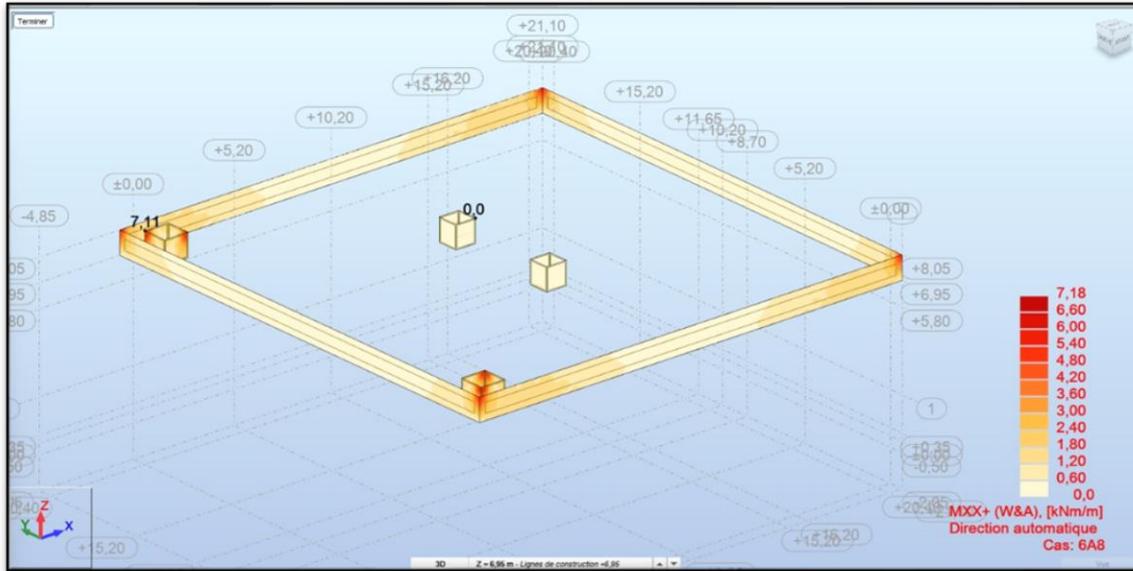


## Cartographie des sections d'aciers sur la dalle de couverture

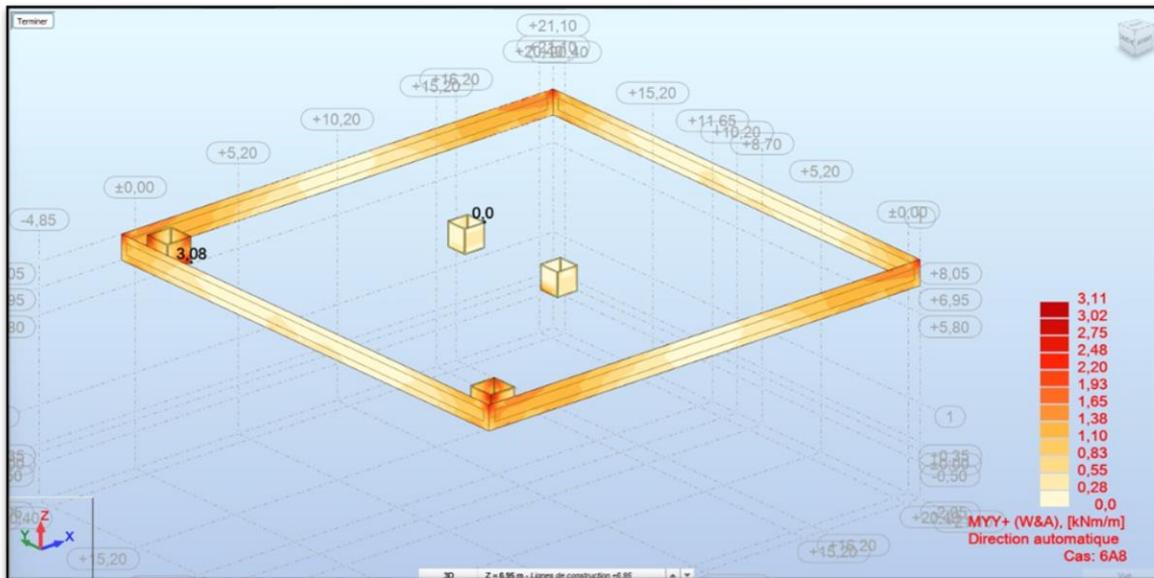


## Cartographie des moments sur les éléments secondaires à l'ELU

Suivant xx

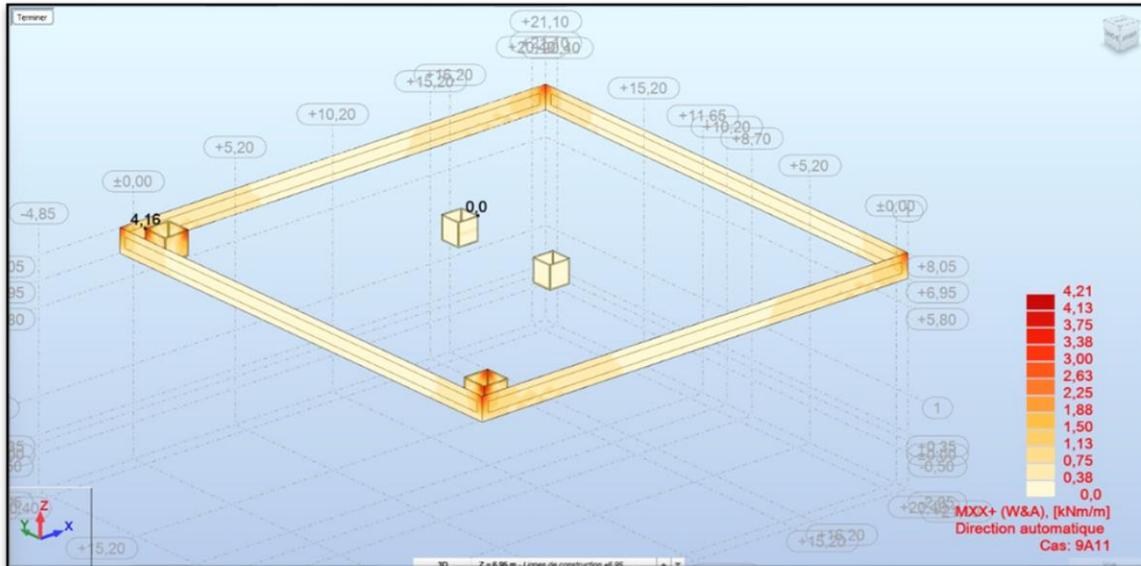


Suivant yy

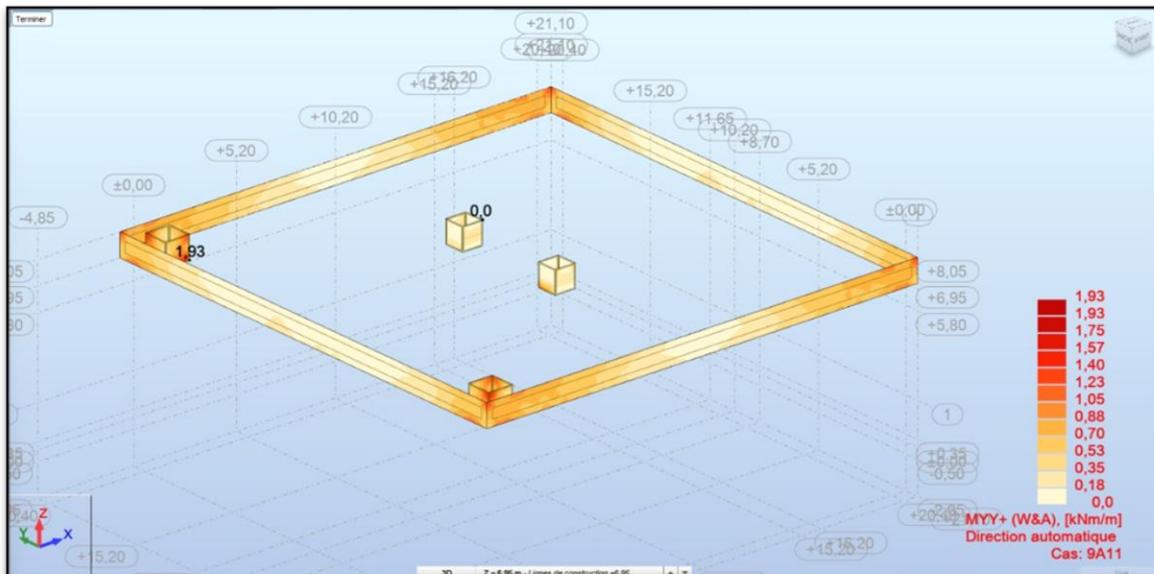


## Cartographie des moments sur les éléments secondaires à l'ELS

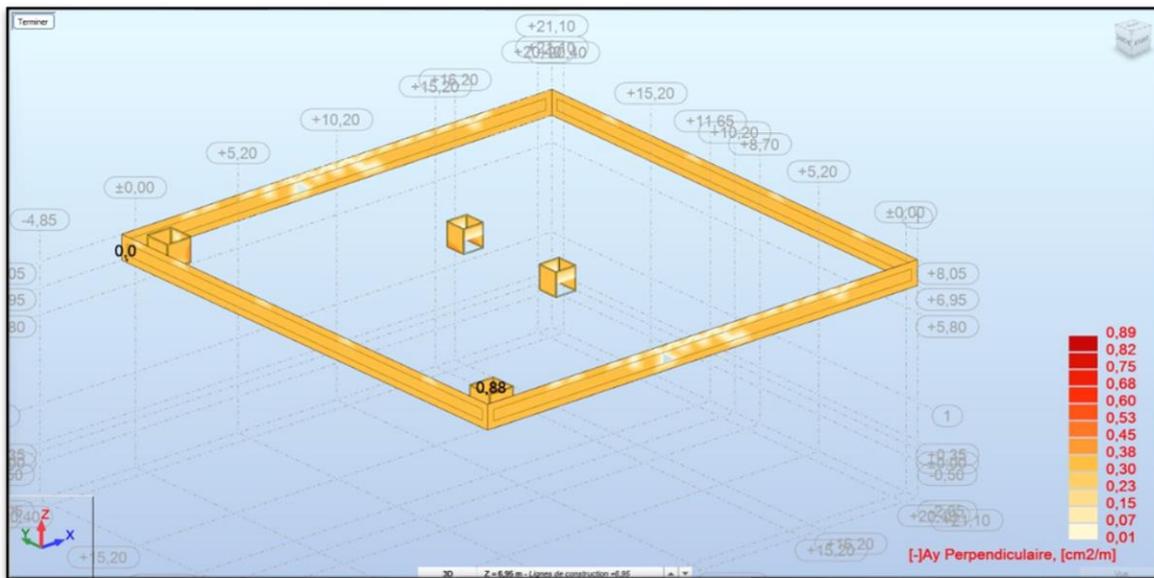
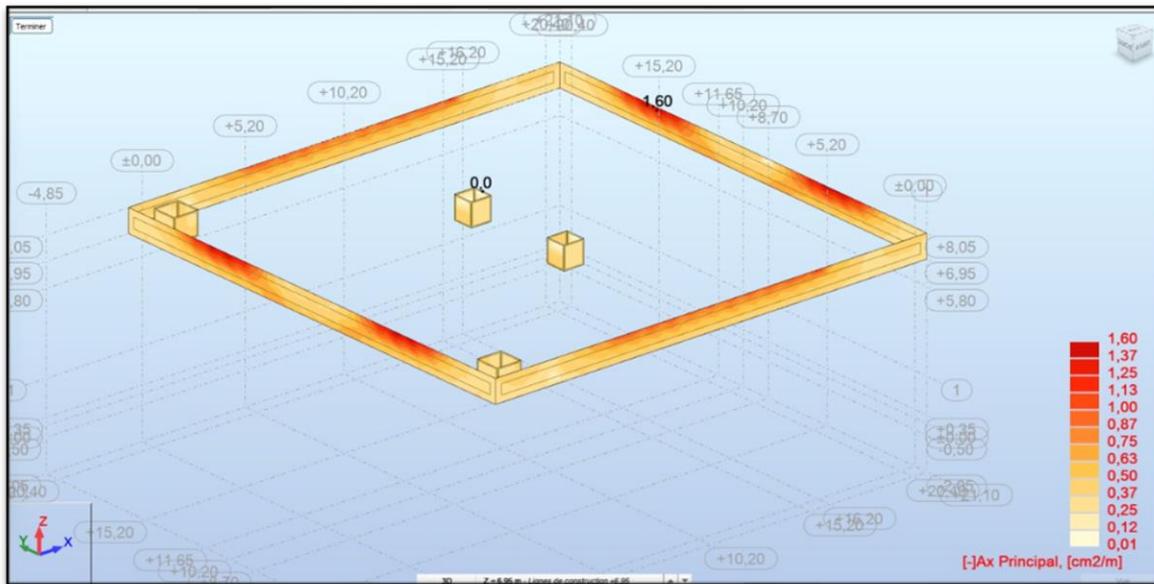
Suivant xx



Suivant yy



## Cartographie des sections d'aciers sur les éléments secondaires



**Annexe 5: Estimation des coûts de travaux**

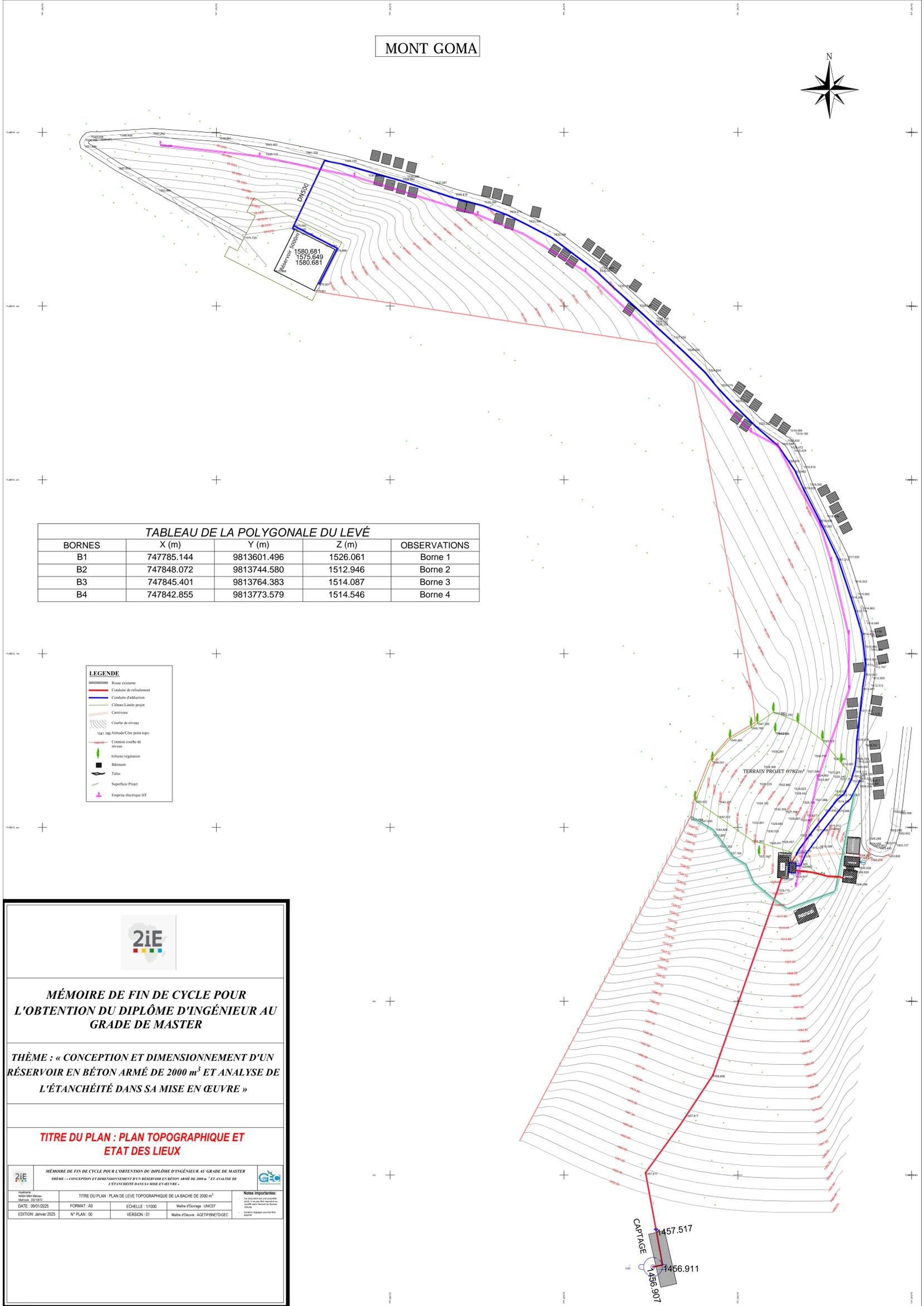
<b><u>RESERVOIR D'EAU DE 2000 m<sup>3</sup> SOUS FORME RECTANGULAIRE A DEUX COMPARTIMENTS SUR LE MONT GOMA</u></b>					
<b>DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF</b>					
N°	Désignation des ouvrages	U	Qté	Prix Unit. (en FCFA)	Prix Total (en FCFA)
<b>0. INSTALLATION DU CHANTIER</b>					
0.1	Amené du matériel	FF	1	5 000 000	5 000 000
0.2	Élaboration des plans d'exécution	FF	1	5 000 000	5 000 000
0.3	Repli du matériel	FF	1	5 000 000	5 000 000
	<b>TOTAL 1 : AMENAGEMENT DE LA PLATE FORME ET TERRASSEMENT</b>				<b>15 000 000</b>
<b>1. AMENAGEMENT DE LA PLATE FORME ET TERRASSEMENT</b>					
1.1	Décapage, nivellement, implantation et piquetage	m <sup>2</sup>	729	6 000	4 374 000
1.2	Déblai important au engin pour l'aménagement de la plateforme sur 1500 m <sup>2</sup> . La stabilisation des talus fait partie de ce prix	m <sup>3</sup>	17 850	6 000	107 100 000
1.3	Mise en dépôt du déblai	m <sup>3</sup>	23 205	3 000	69 615 000
1.4	Implantation des ouvrages	FF	1	250 000	250 000
1.5	Excavation des fouilles	m <sup>3</sup>	1 452	8 000	11 616 000
1.6	Remblai sans apport	m <sup>3</sup>	2000	9 000	18 000 000
	<b>TOTAL 1 : AMENAGEMENT DE LA PLATE FORME ET TERRASSEMENT</b>				<b>210 955 000</b>
<b>2. BETONS ARMES</b>					
2.1	Béton de propreté dosé à 150 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	49,80	85 000	4 233 000
2.2	Béton armé B30 étanche y compris adjuvants pour radier dosé à 400 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	302,85	450 000	136 281 600

<b><u>RESERVOIR D'EAU DE 2000 m<sup>3</sup> SOUS FORME RECTANGULAIRE A DEUX COMPARTIMENTS SUR LE MONT GOMA</u></b>					
<b>DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF</b>					
<b>N°</b>	<b>Désignation des ouvrages</b>	<b>U</b>	<b>Qté</b>	<b>Prix Unit. (en FCFA)</b>	<b>Prix Total (en FCFA)</b>
2.3	Béton armé B30 étanche y compris adjuvants pour poteaux dosé à 400 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	5,10	450 000	2 295 000
2.4	Béton armé B30 étanche y compris adjuvants pour voiles dosé à 400 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	343,97	450 000	154 786 500
2.6	Béton armé B30 étanche y compris adjuvants pour dalle dosé à 400 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	145,20	450 000	65 340 000
2.7	Béton armé B30 pour acrotère dosé à 400 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	15,00	450 000	6 750 000
2.8	Béton armé B30 pour trappe dosé à 400 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	3,21	450 000	1 444 500
	<b>TOTAL 2-BETONS ARMES</b>				<b>369 686 100</b>
<b>3</b>	<b>ETANCHEITE</b>				
3.1	Bitume sur extérieure voile	m <sup>2</sup>	782,08	20 000	15 641 600
3.2	Étanchéité sur dalle de toiture	m <sup>2</sup>	484,00	35 000	16 940 000
3.3	Revêtements d'étanchéité : Un enduit imperméabilisant sera appliqué sur la surface interne du réservoir	m <sup>2</sup>	1 216,00	35 000	42 560 000
3.4	Film polyane pour étanchement de l'ouvrage	m <sup>2</sup>	484,00	10 000	4 840 000
	<b>TOTAL 3 - ETANCHEITE</b>				<b>79 981 600</b>
<b>4</b>	<b>MENUISERIE METALLIQUE</b>				
4.1	Châssis métallique pour trappe de visite et aérations (Nbre:2)	u	8	45 000	360 000
4.2	Échelle en inox	u	2	150 000	300 000
4.3	GCM : Garde-corps métallique	u		12 000	0
	<b>TOTAL 4 - MENUISERIE METALLIQUE</b>				<b>660 000</b>
<b>5</b>	<b>PEINTURE</b>				
5.1	Peinture alimentaire sur sols et voiles (intérieur)	m <sup>2</sup>	1 658,68	20 000	33 173 600

<b><u>RESERVOIR D'EAU DE 2000 m<sup>3</sup> SOUS FORME RECTANGULAIRE A DEUX COMPARTIMENTS SUR LE MONT GOMA</u></b>					
<b>DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF</b>					
<b>N°</b>	<b>Désignation des ouvrages</b>	<b>U</b>	<b>Qté</b>	<b>Prix Unit. (en FCFA)</b>	<b>Prix Total (en FCFA)</b>
5.2	Peinture glycérophtalique sur menuiserie métallique	m <sup>2</sup>	2,92	4 200	12 264
	<b>TOTAL 5 - PEINTURE</b>				<b>33 185 864</b>
<b>6</b>	<b>INFRASTRUCTURES D'ACCOMPAGNEMENT</b>				
6.1	Aménagement d'une route d'accès au site en terre. Cette route est existante, mais il faut l'élargir. Il s'agit d'une route de 6 m de large et 100 m de long ;	FF	1	1 200 000	1 200 000
6.2	La clôture de protection du site de 300 m de long couvrant une superficie de 3390 m <sup>2</sup>	FF	1	38 250 000	38 250 000
6.3	Les pièces de raccordement hydraulique pour l'alimentation, nettoyage et la distribution à monter sur le réservoir	FF	1	25 000 000	25 000 000
6.4	Les regards de visite	FF	1	5 000 000	5 000 000
	<b>TOTAL 6 - INFRASTRUCTURES D'ACCOMPAGNEMENT</b>				<b>69 450 000</b>
<b>7</b>	<b>MISE EN ŒUVRE DU PGES</b>				
7.1	Mise en place des dispositions vis à vis des avoisinants pour limiter le risque d'accident liée au travaux (Manoeuvre d'engin, éboulement, glissement de terrain...,ect)	FF	1	10 000 000	10 000 000
7.2	Mise en œuvre du plan de gestion Environnementale et Sociale	FF	1	12 000 000	12 000 000
	<b>TOTAL 7 - MISE EN ŒUVRE DU PGES</b>				<b>22 000 000</b>
	<b>TOTAL GENERAL</b>				<b>800 918 564</b>

**Annexe 6: Plan d'exécution**

# MONT GOMA



**TABLEAU DE LA POLYGONALE DU LEVÉ**

BORNES	X (m)	Y (m)	Z (m)	OBSERVATIONS
B1	747785.144	9813601.496	1526.061	Borne 1
B2	747848.072	9813744.580	1512.946	Borne 2
B3	747845.401	9813764.383	1514.087	Borne 3
B4	747842.855	9813773.579	1514.546	Borne 4

**LEGENDE**

- Route existante
- Conduite de réajustement
- Conduite d'adduction
- Clôture Limite projet
- Carrière
- Courbe de niveau
- 15m Altitude/Clé point topo
- Clôture courbe de niveau
- Arbres/vegetation
- Bâtiment
- Talus
- Superficie Projet
- Emprise électrique HT



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**

**TITRE DU PLAN : PLAN TOPOGRAPHIQUE ET ETAT DES LIEUX**

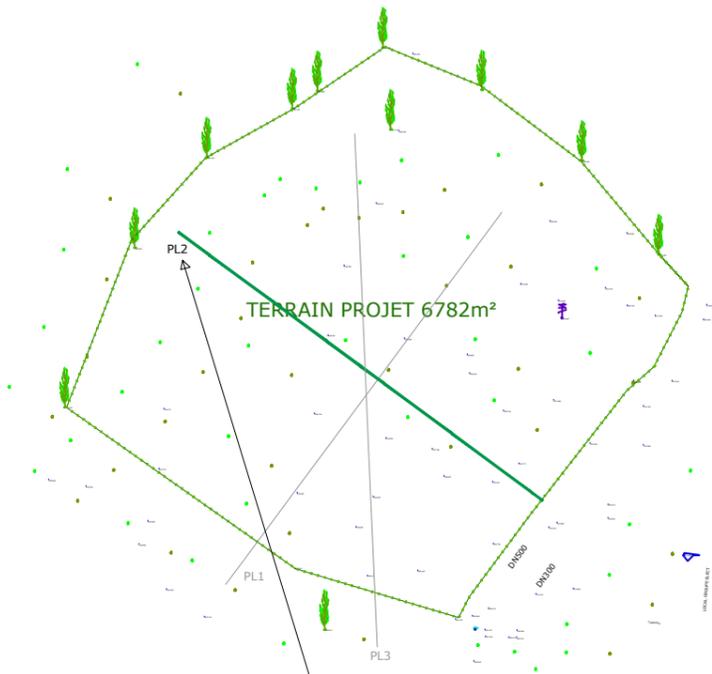
<p><b>MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER</b>  <small>THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »</small></p>			
<p><b>TITRE DU PLAN : PLAN DE LEVE TOPOGRAPHIQUE DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup></b></p>			
<p>DATE : 09/01/2025</p>	<p>FORMAT : A0</p>	<p>ECHELLE : 1/1000</p>	<p>Maître d'ouvrage : UNICEF</p>
<p>EDITION : Janvier 2025</p>	<p>N° PLAN : 00</p>	<p>VERSION : 01</p>	<p>Maître d'œuvre : AGETP@NETDZEC</p>

**Notes importantes:**

- 1. Ce document est une propriété intellectuelle de l'Agence de Développement Rural (ADR) et ne doit pas être réutilisé sans autorisation écrite de l'ADR.
- 2. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de l'ADR est formellement interdite.

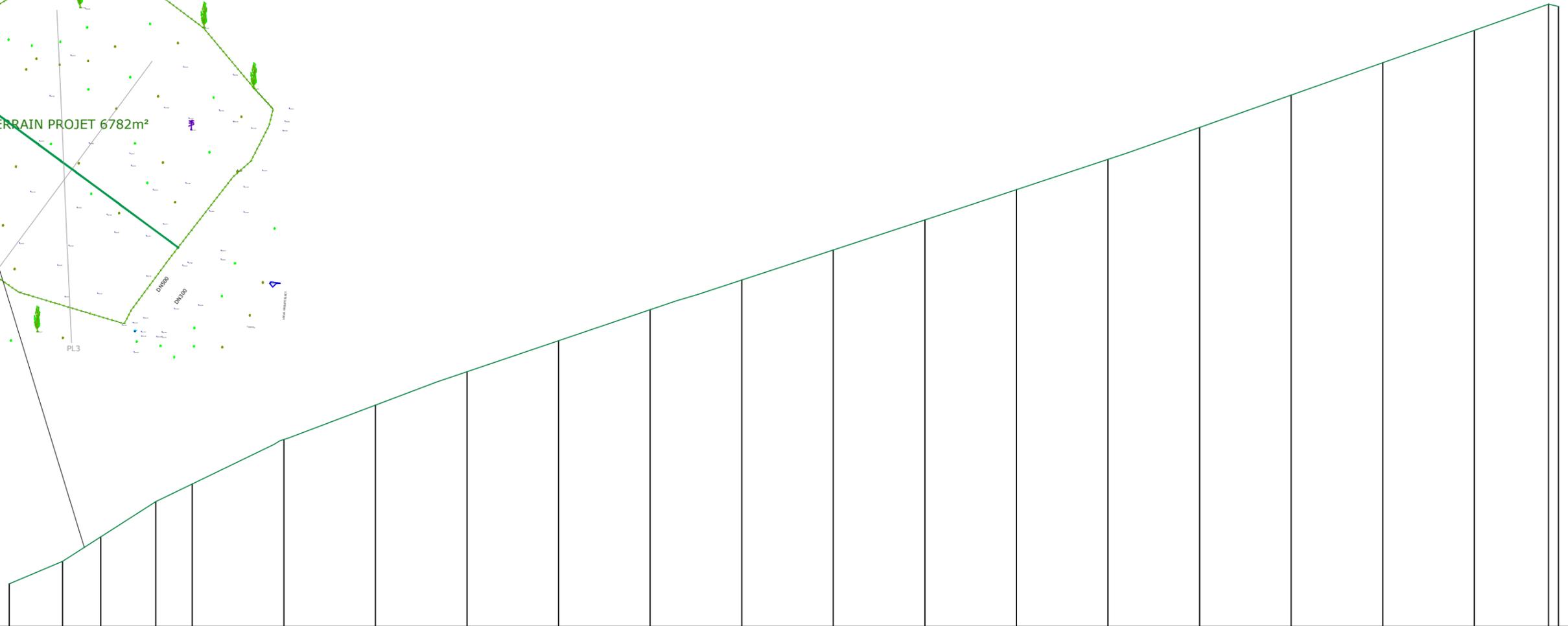
CARTAGE  
 1457.517  
 1456.911  
 1456.907

Axe : PL2 -Topo Goma 3



**Légende**

— Altitudes TN



Echelle X : 1/250  
 Echelle Z : 1/250  
 Plan Comp : 1515.00

Numéro de tabulation	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17			
Terrain	1517.33	1518.57	1519.90	1521.83	1522.79	1525.21	1527.09	1528.90	1530.60	1532.29	1533.92	1535.56	1537.20	1538.85	1540.50	1542.24	1544.01	1545.77	1547.54	1548.84
Distances partielles		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.59	
Distances cumulées	0.00	2.92	8.00	14.44	15.26	23.32	36.40	37.64	50.83	61.13	84.05	84.59								
Pentes et rampes		L = 6.04 P = 64.09%	L = 7.15 P = 48.34%	L = 8.63 P = 37.88%	L = 13.80 P = 33.78%	L = 13.88 P = 32.81%	L = 10.84 P = 33.07%	L = 24.31 P = 35.29%												

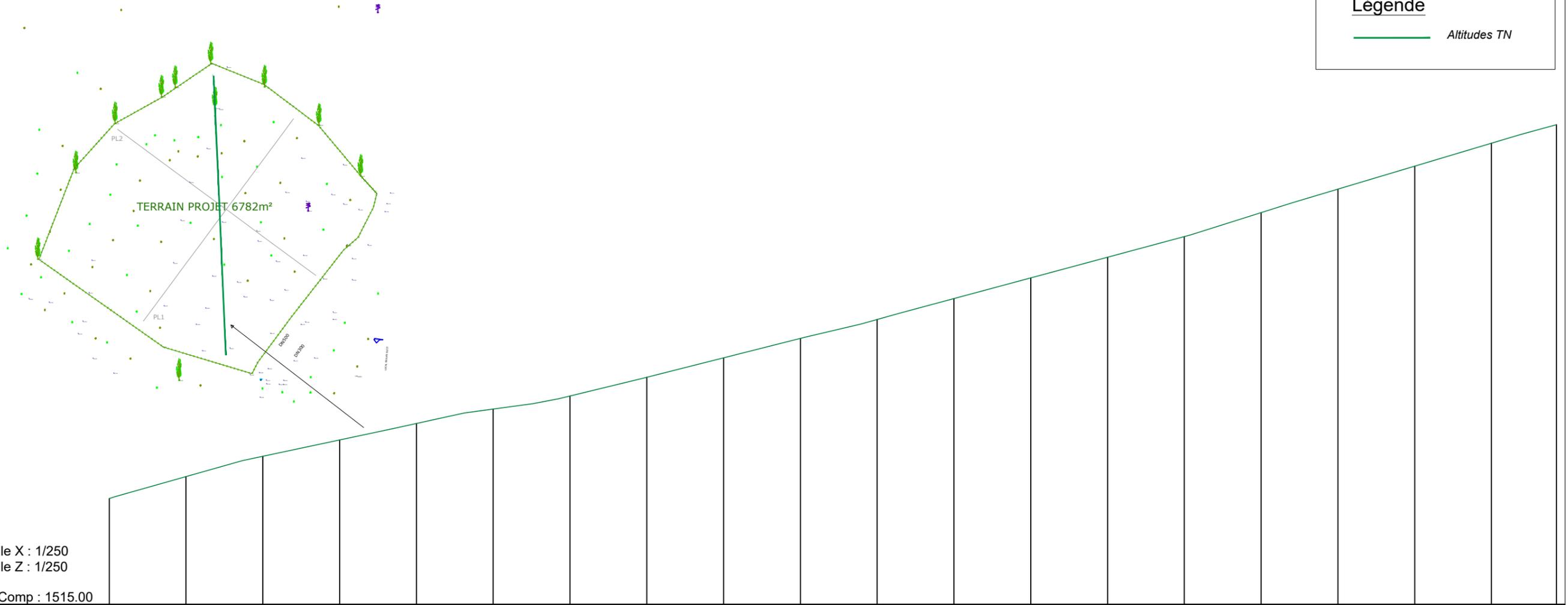
Profil en Long : PL1		N° PLAN	3
		ECHELLE	1/250
DATE :	NOVEMBRE 2024	PAGE	1/1

Mensura Genius

Axe : PL3

**Légende**

— Altitudes TN

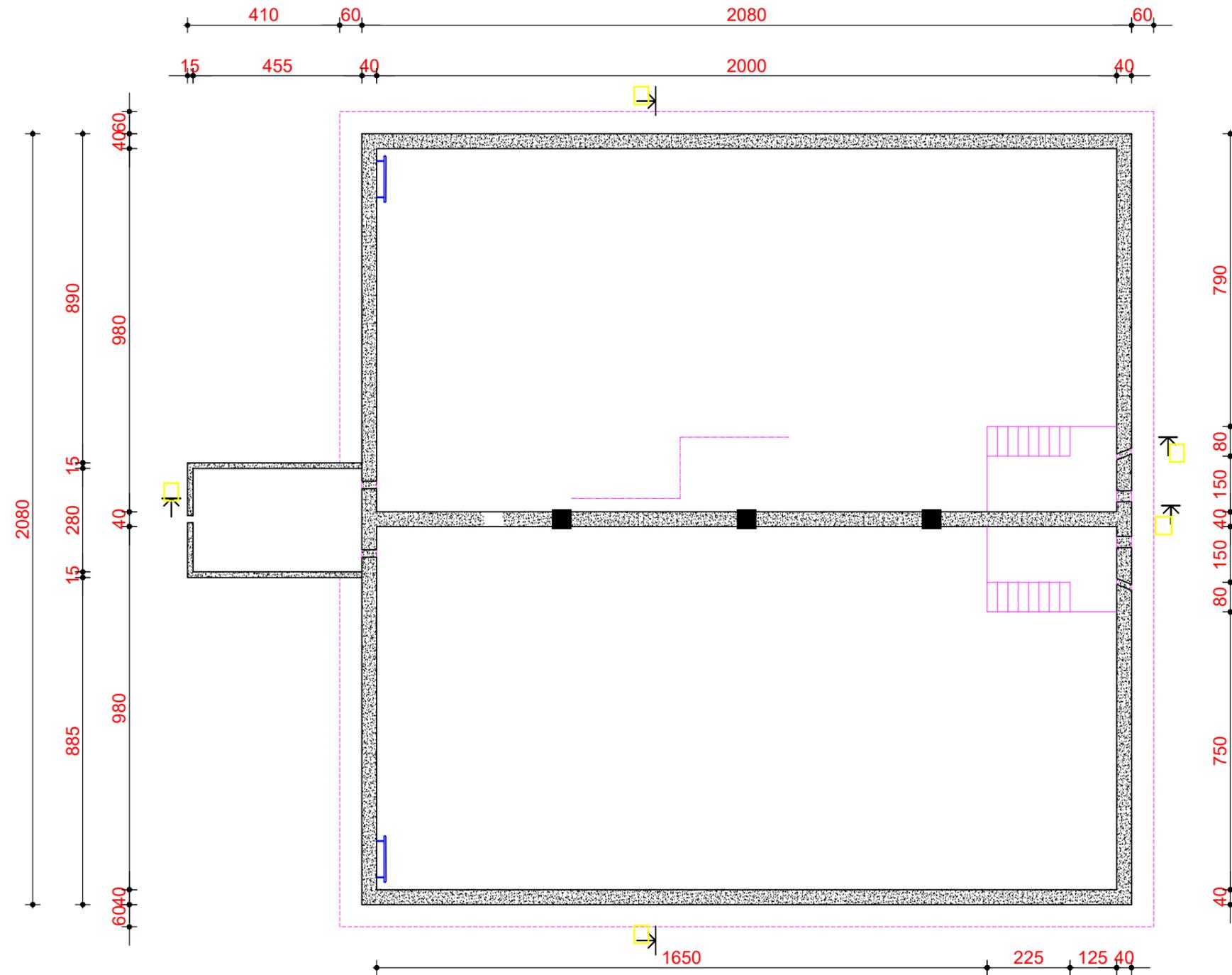


Echelle X : 1/250  
Echelle Z : 1/250

Plan Comp : 1515.00

Numéro de tabulation	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5	P 6	P 7	P 8	P 9	P 10	P 11	P 12	P 13	P 14	P 15	P 16	P 17	P 18	P 19	P 20
Terrain	1521.88	1523.31	1524.63	1525.69	1526.76	1527.70	1528.55	1529.77	1531.03	1532.29	1533.53	1534.89	1536.23	1537.58	1538.92	1540.48	1542.01	1543.50	1545.00	1546.21
Distances partielles		5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	4.22
Distances cumulées	0.00 0.37		8.68		18.53	23.12	27.59	29.25	34.78	45.26	48.94	51.48		70.43	77.06				91.85	94.22
Pentes et rampes	L = 8.64 P = 28.29%	L = 10.07 P = 21.24%	L = 4.69 P = 21.84%	L = 4.51 P = 24.28%	L = 5.69 P = 25.28%	L = 10.81 P = 31.52%	L = 3.78 P = 26.90%	L = 19.62 P = 29.89%	L = 6.95 P = 21.84%	L = 15.43 P = 24.28%										

Profil en Long : PL3		N° PLAN	3
		ECHELLE	1/250
DATE :	NOVEMBRE 2024	PAGE	1/1



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

**TITRE DU PLAN : VUE EN PLAN DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>**

**Notes importantes:**

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

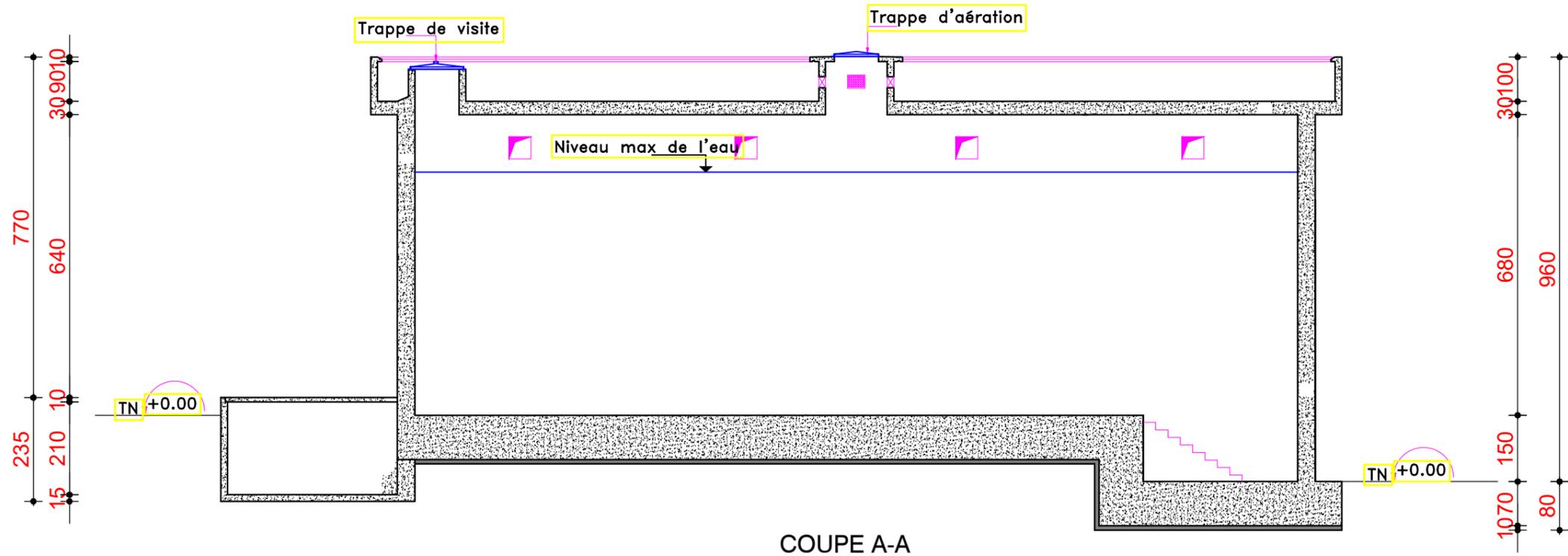
Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

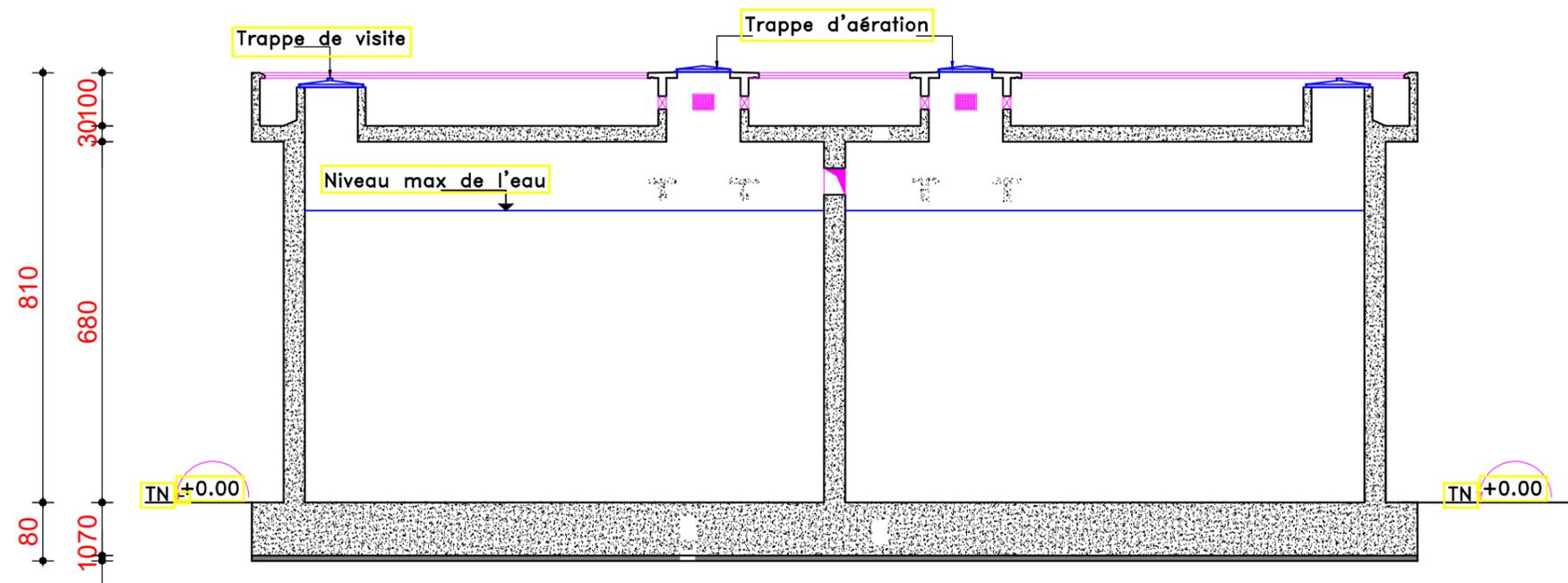
N° PLAN : 01

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC



COUPE A-A



COUPE B-B

**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

**TITRE DU PLAN : COUPE A-A ET B-B DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>**

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

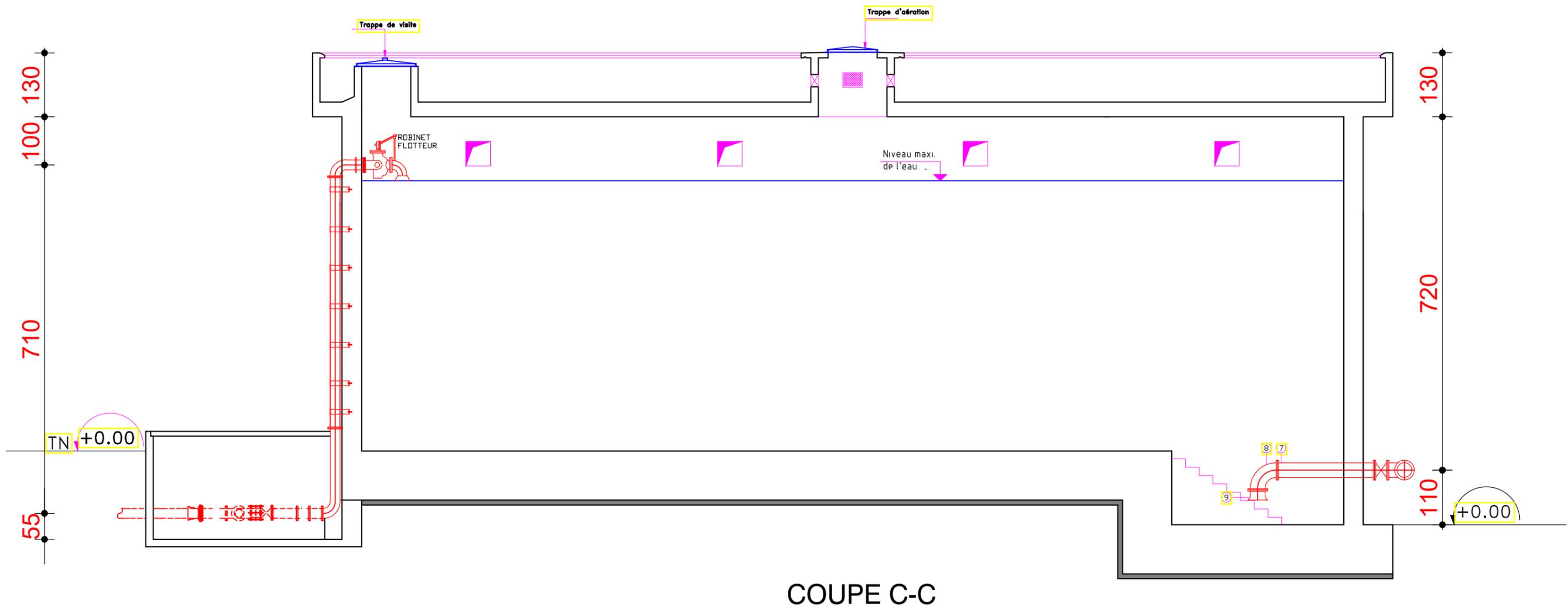
N° PLAN : 02

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC

**Notes importantes:**

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

**TITRE DU PLAN : COUPE C-C DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>**

**Notes importantes:**

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

Maître d'Ouvrage : UNICEF

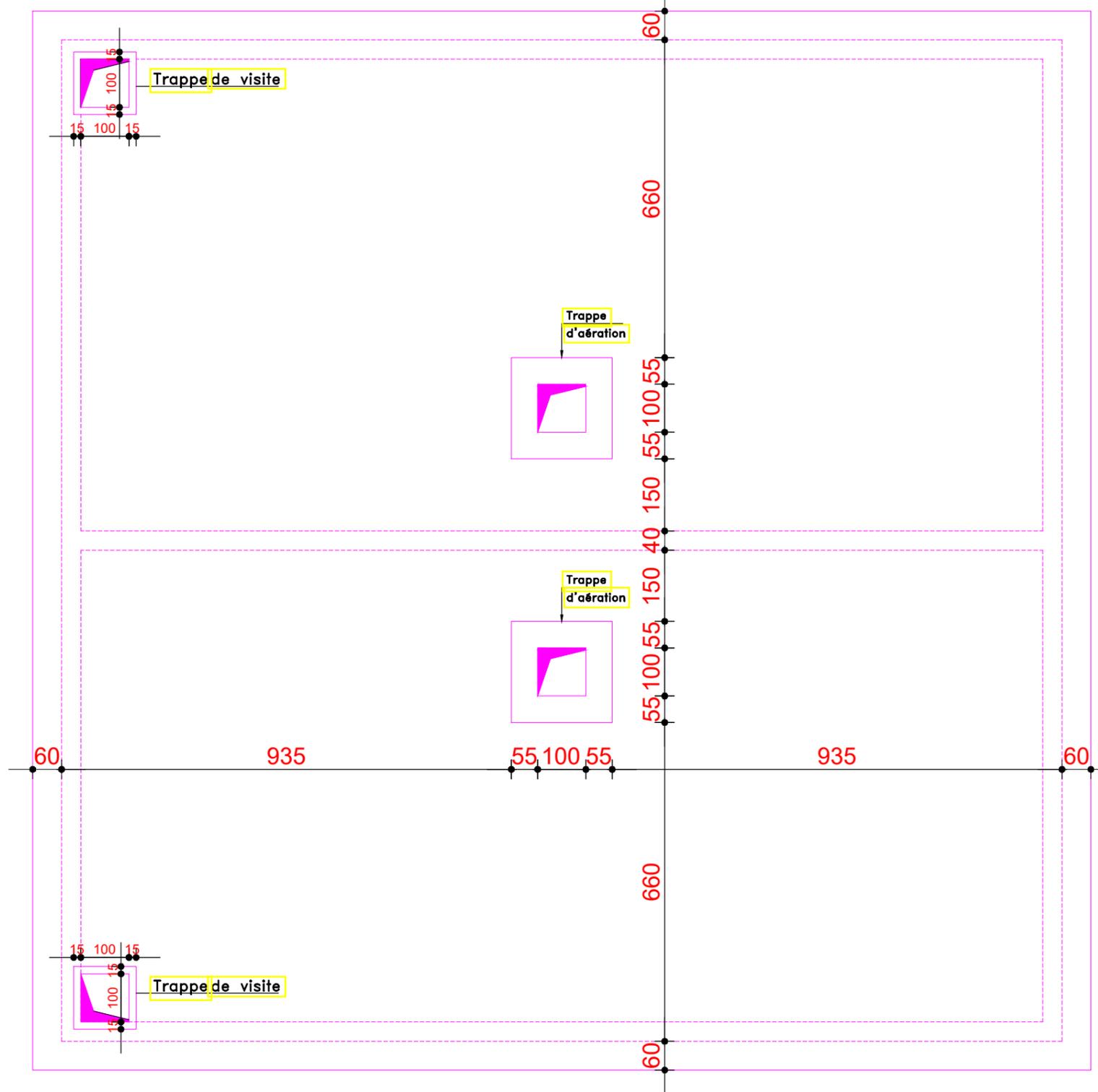
EDITION: Janvier 2025

N° PLAN : 03

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

**TITRE DU PLAN : PLAN TOITURE TERRASSE DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>**

**Notes importantes:**

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

N° PLAN : 04

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC

Trappe  
d'aération

## FACADE PRINCIPALE



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

**TITRE DU PLAN : FACADE PRINCIPALE DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>**

### Notes importantes:

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

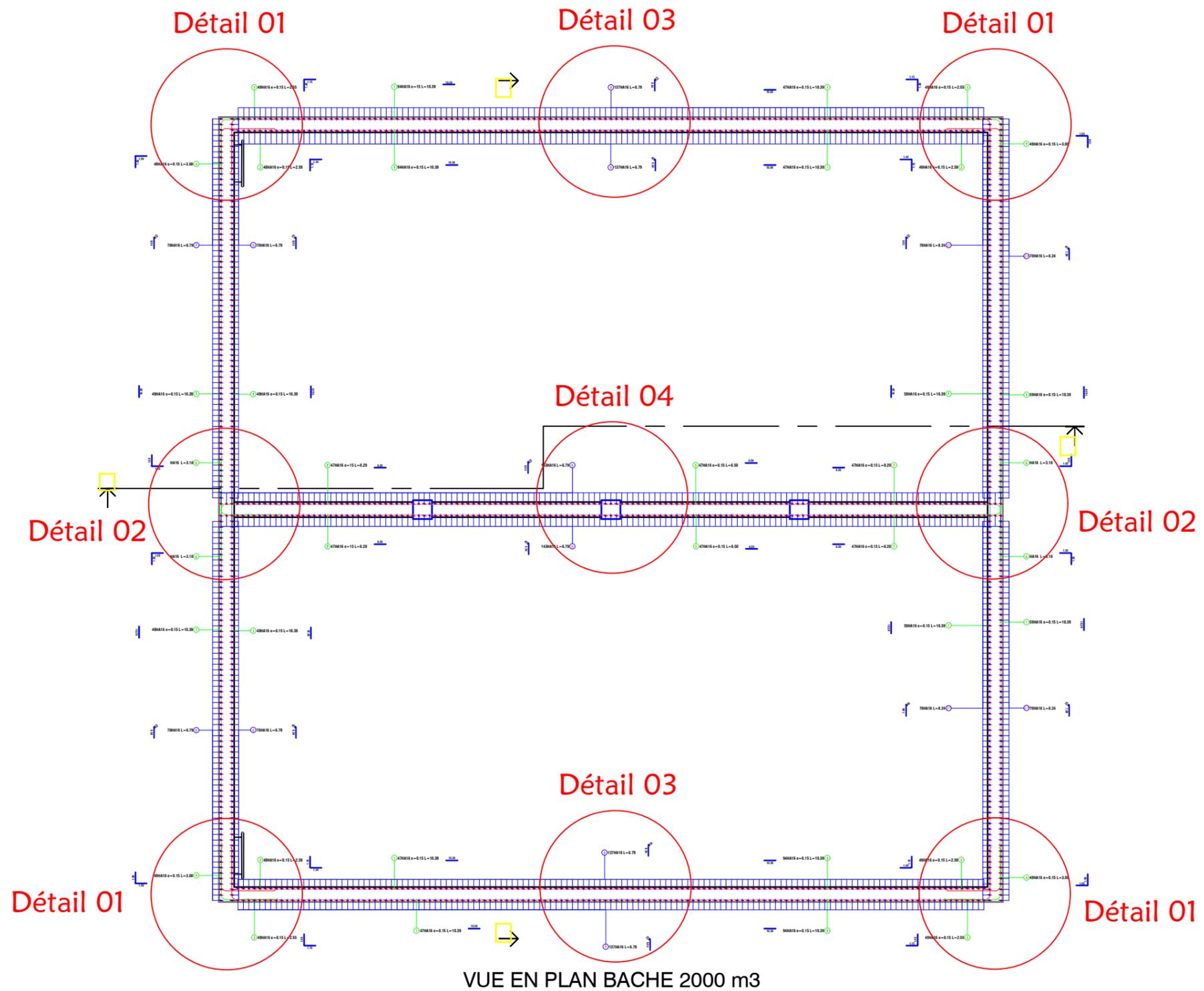
Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

N° PLAN : 05

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**  
**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

TITRE DU PLAN : PLAN DE FERRAILLAGE EN VUE PLAN DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>

**Notes importantes:**

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

Maître d'Ouvrage : UNICEF

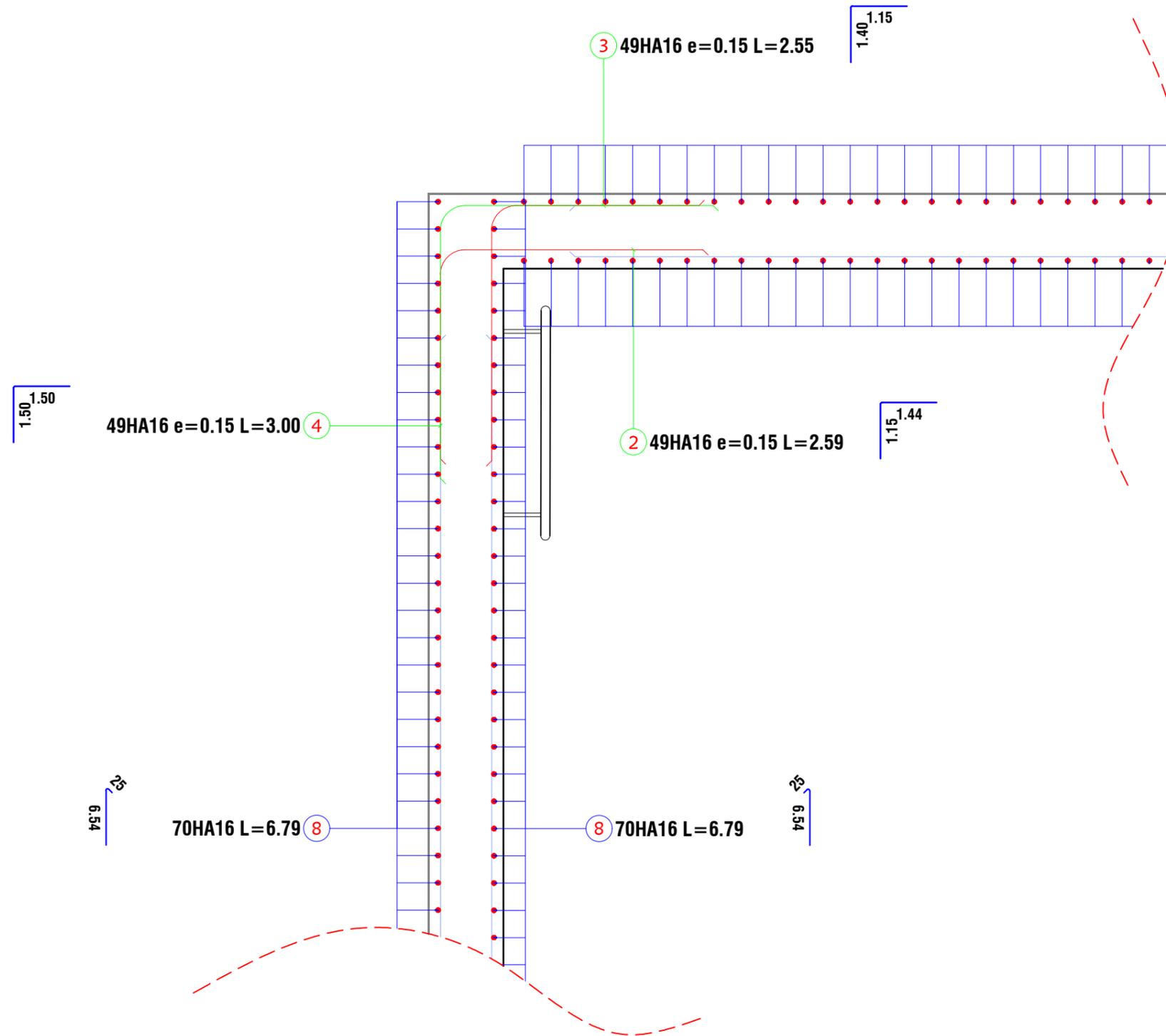
EDITION: Janvier 2025

N° PLAN : 06

VERSION : 01

Maître d'Oeuvre : AGETIP/BNETD/GEC

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**  
**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

TITRE DU PLAN : PLAN DE FERRAILLAGE EN VUE PLAN DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>/ DETAIL 01

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

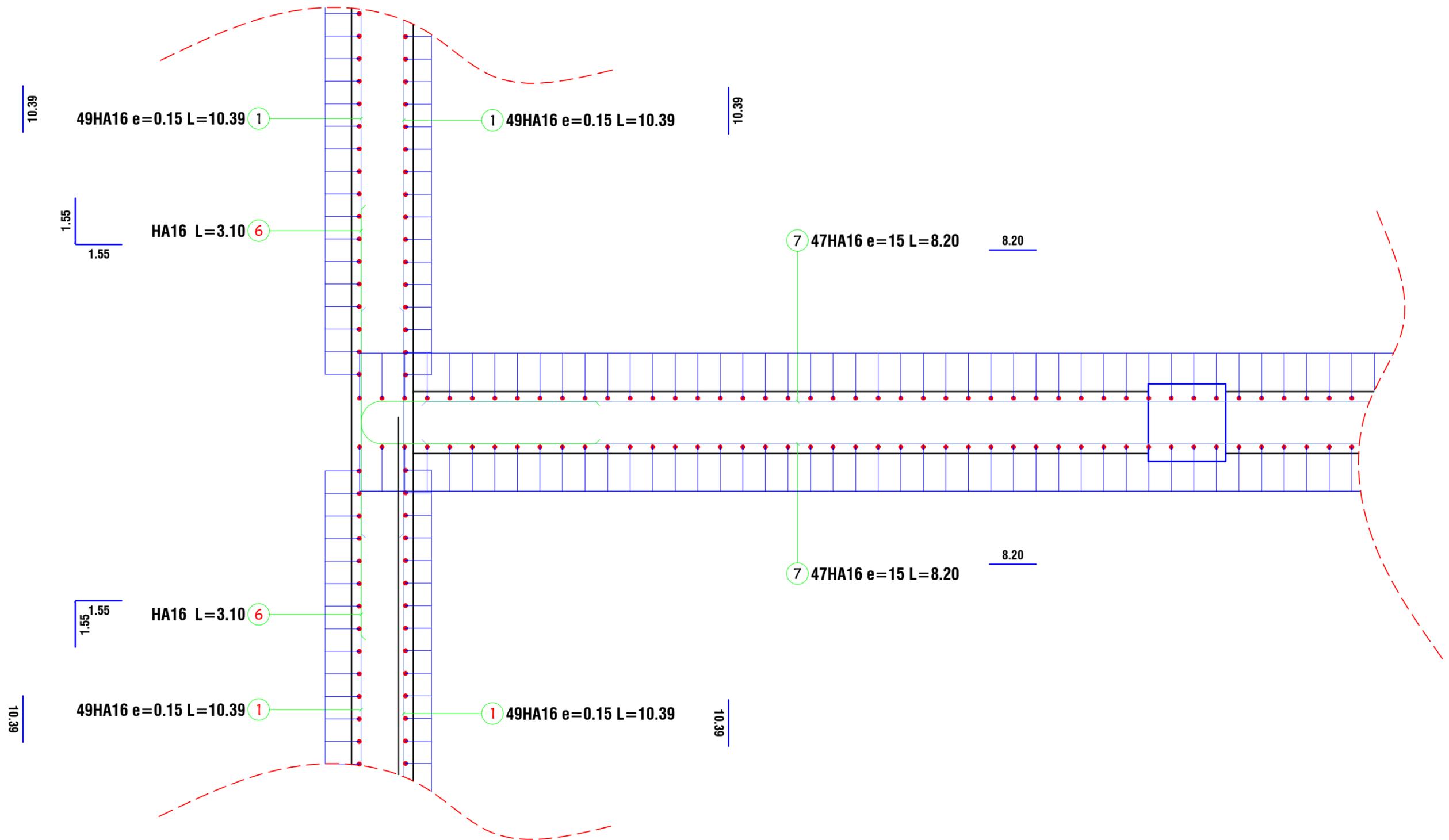
N° PLAN : 06.1

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC

**Notes importantes:**

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**  
**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

TITRE DU PLAN : PLAN DE FERRAILLAGE EN VUE PLAN DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>/ DETAIL 02

**Notes importantes:**

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

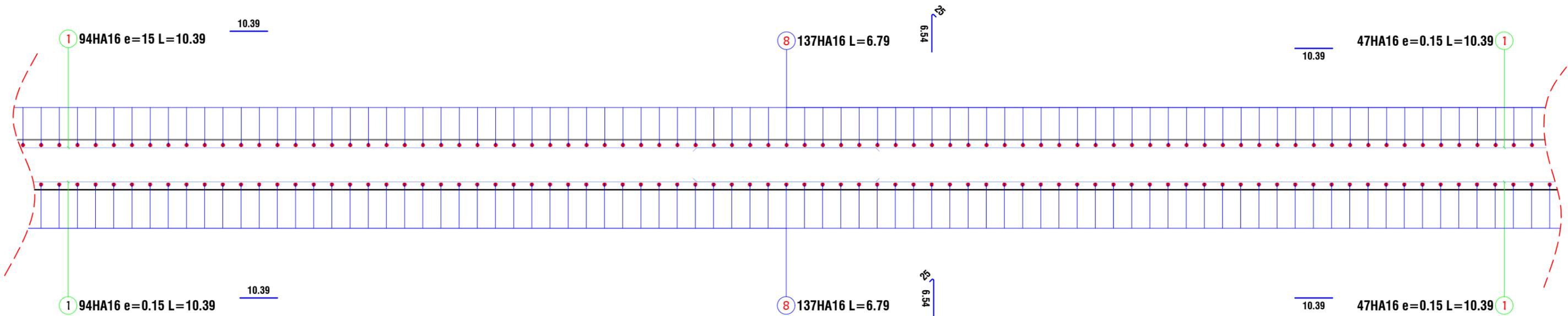
Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

N° PLAN : 06.2

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**  
**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

TITRE DU PLAN : PLAN DE FERRAILLAGE EN VUE PLAN DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>/ DETAIL 03

**Notes importantes:**

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

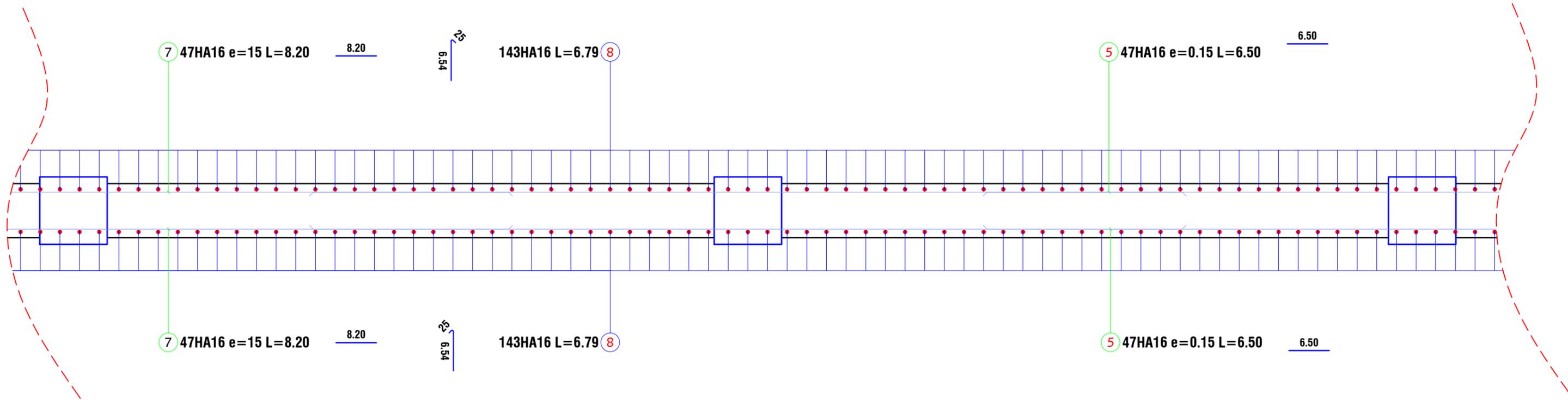
Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

N° PLAN : 06.3

VERSION : 01

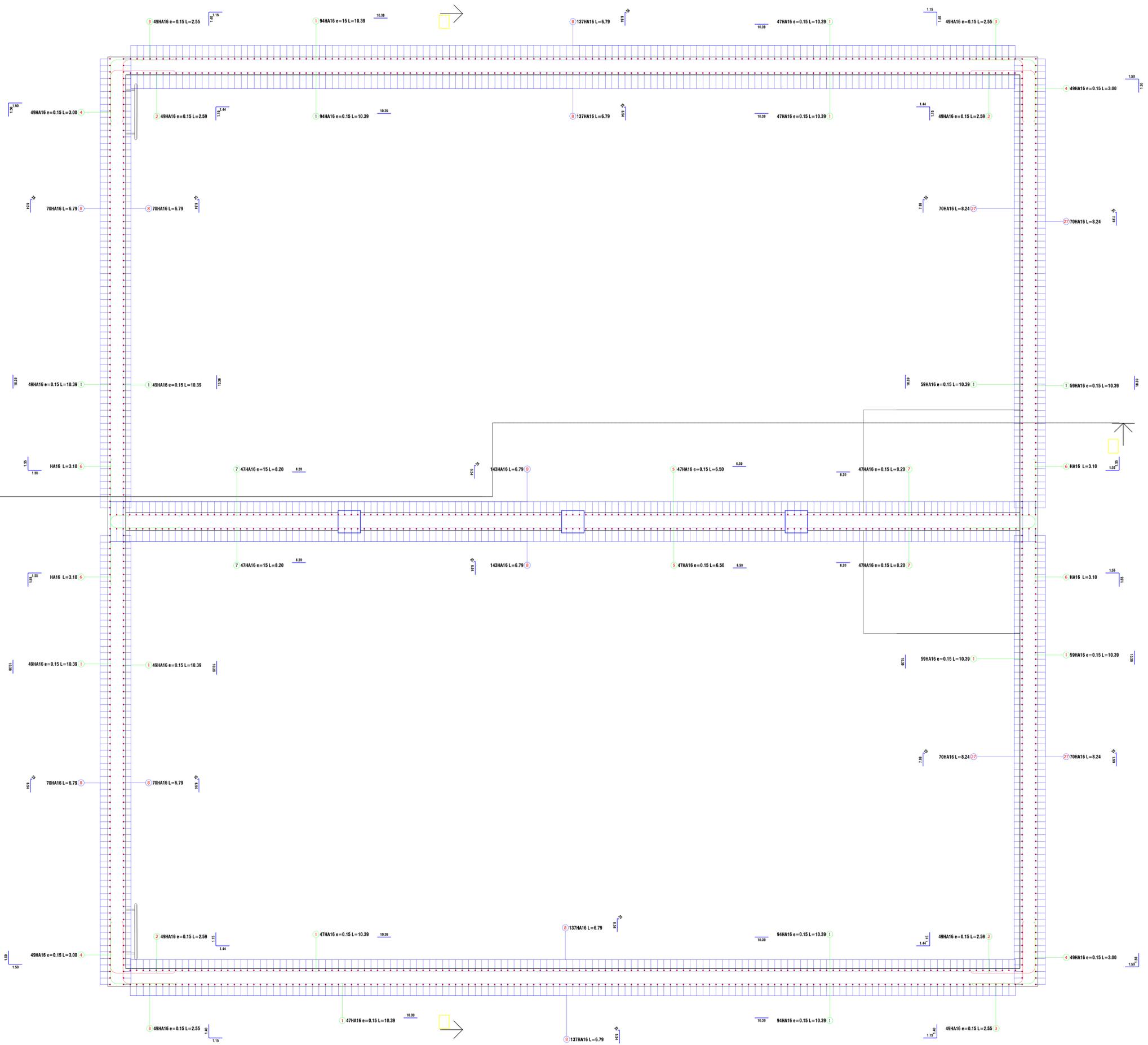
Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**  
**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante : MABA MBA Mélissa Matricule : 20210672	TITRE DU PLAN : PLAN DE FERRAILLAGE EN VUE PLAN DE LA BACHE DE 2000 m <sup>3</sup> / DETAIL 04			<b>Notes importantes:</b> - Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude - Certains réglages pourraient être apportés
DATE : 09/01/2025	FORMAT : A3	ECHELLE : 1/50	Maître d'Ouvrage : UNICEF	
EDITION: Janvier 2025	N° PLAN : 06.4	VERSION : 01	Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC	



VUE EN PLAN BACHE 2000 m<sup>3</sup>



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

TITRE DU PLAN : PLAN DE FERRAILLAGE  
EN VUE PLAN DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>

**Notes importantes:**

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A0

ECHELLE : 1/1

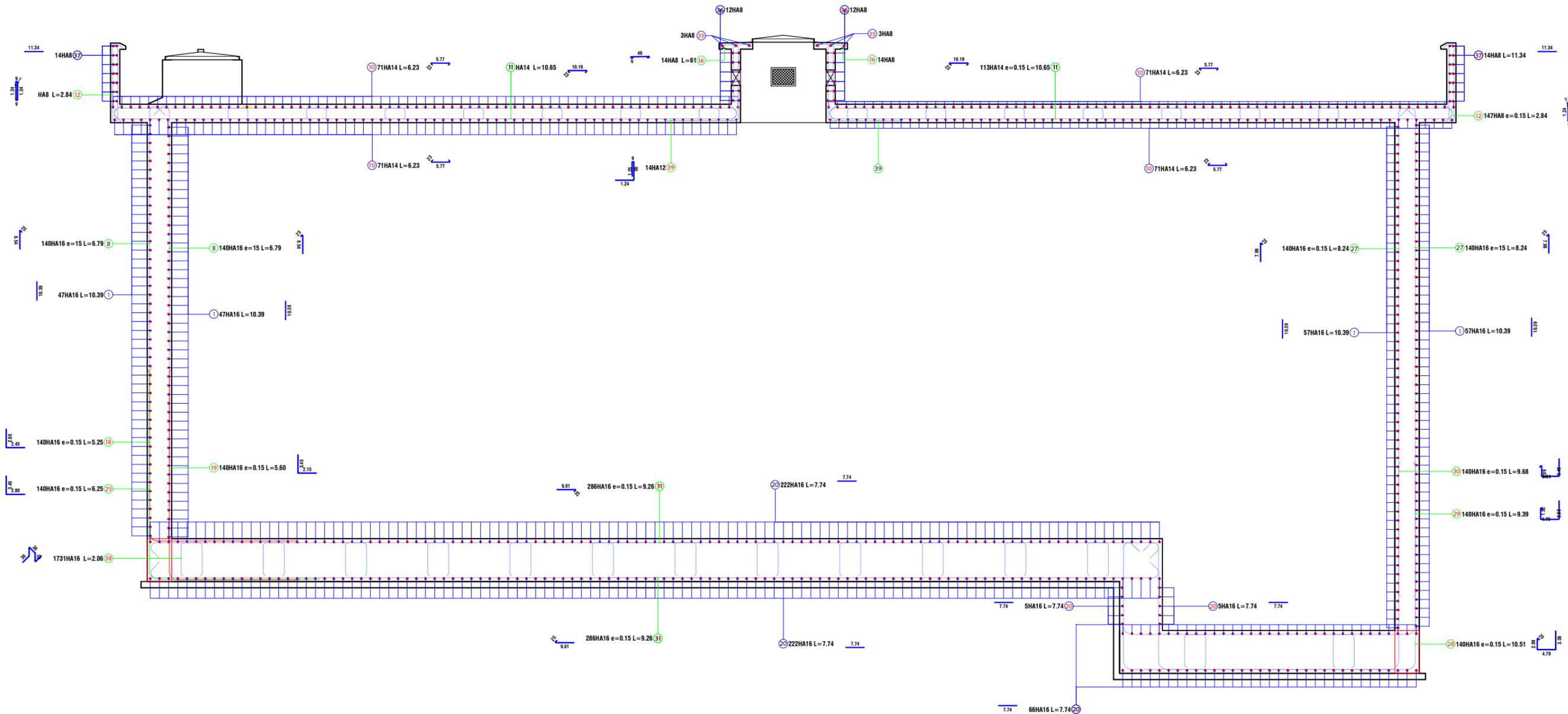
Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

N° PLAN : 06

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC



**COUPE A-A**

**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

**TITRE DU PLAN : PLAN DE FERRAILLAGE COUPE A-A DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>**

**Notes importantes:**

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

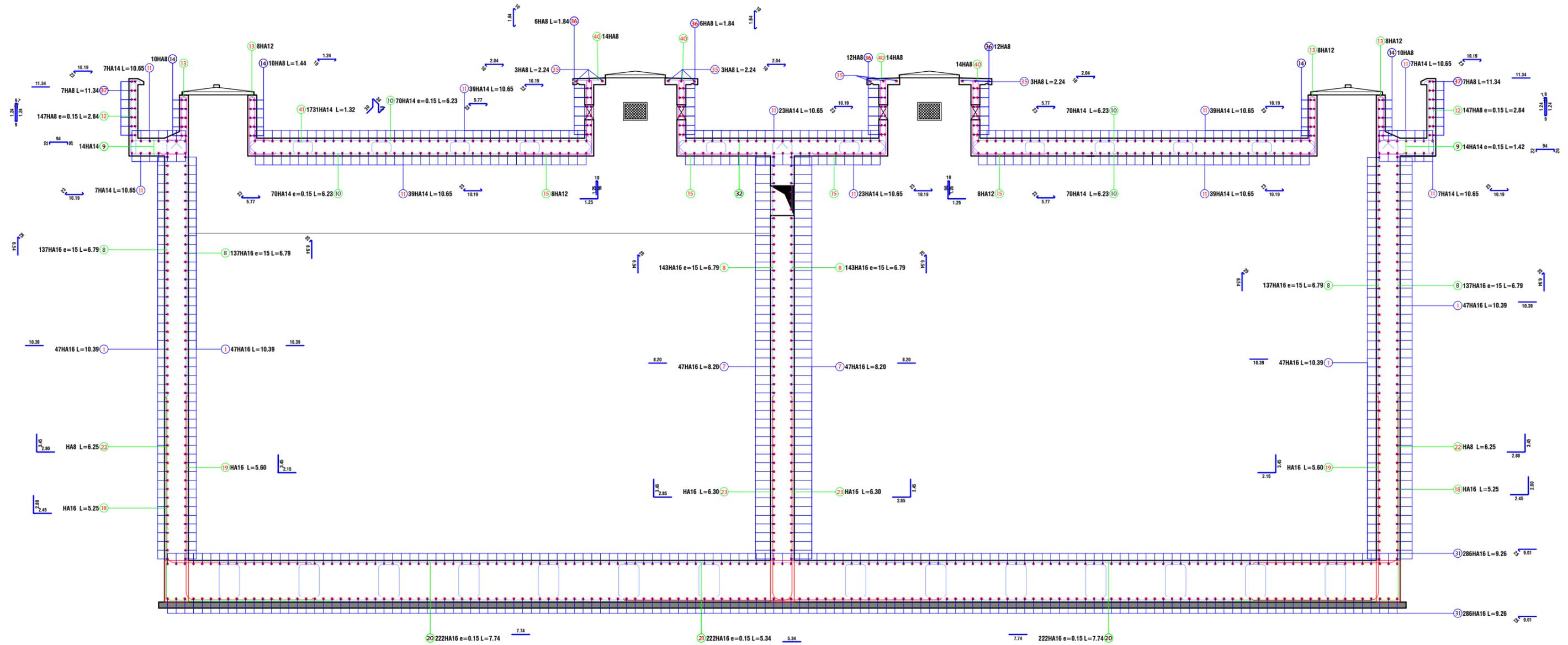
Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

N° PLAN : 07

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC



**COUPE B-B**



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

**TITRE DU PLAN : PLAN DE FERRAILLAGE COUPE B-B DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>**

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

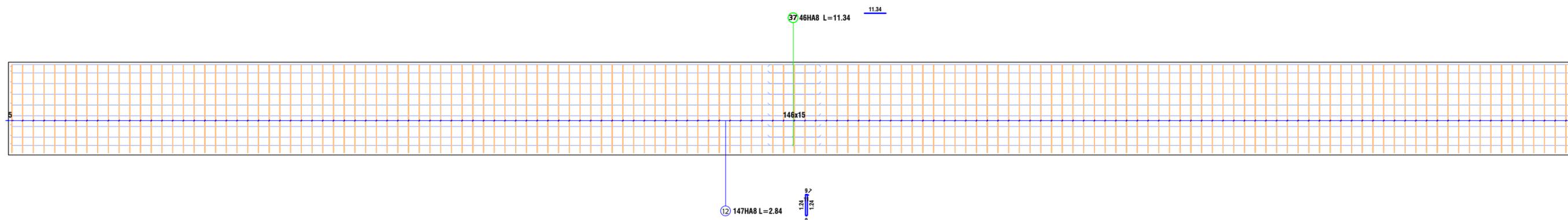
N° PLAN : 08

VERSION : 01

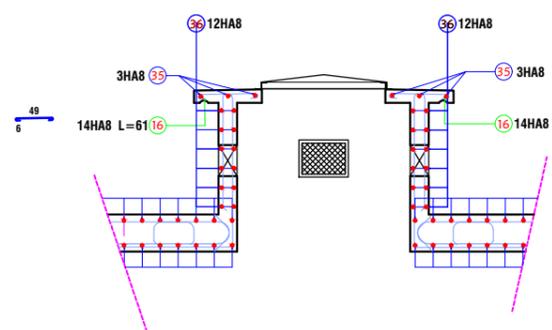
Maître d'Oeuvre : AGETIP/BNETD/GEC

**Notes importantes:**

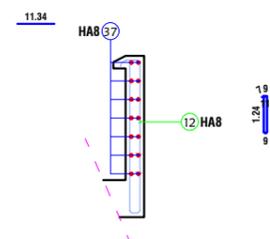
- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés



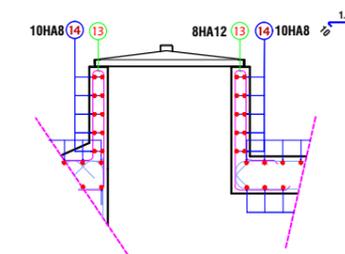
## COUPE LONGITUDINALE DE L'ACROTERE



DETAIL TRAPPE D'AERATION



DETAIL ACROTERE



DETAIL TRAPPE DE VISITE



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

TITRE DU PLAN : PLAN DE FERRAILLAGE ELEMENTS SECONDAIRES DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

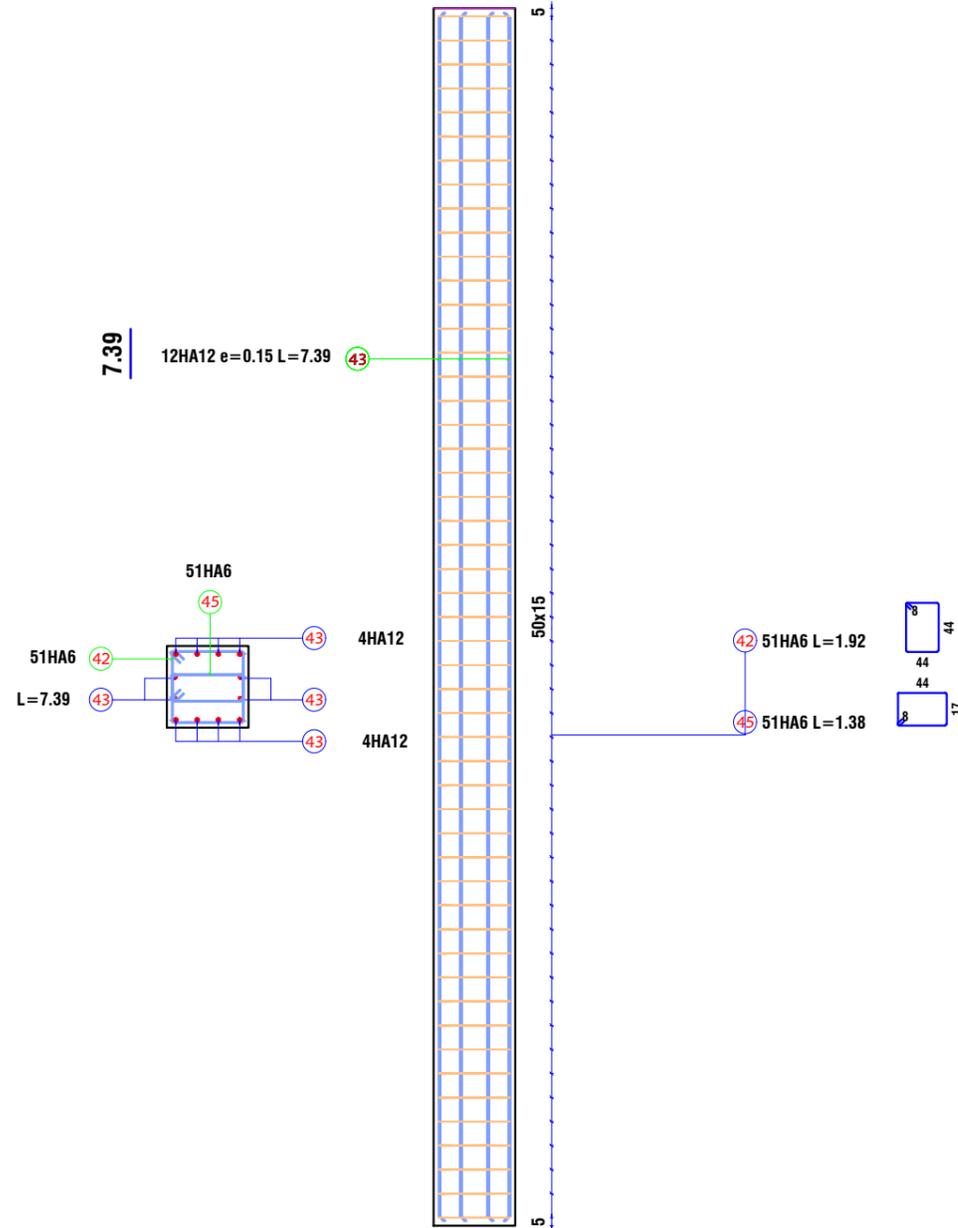
N° PLAN : 09

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC

### Notes importantes:

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés



**Nomenclature des aciers des poteaux**

Pos.	Nuance d'acier	Diamètre	Nombre			Espacement (m)	Longueur (m)	Longueur totale (m)	Schéma	Longueur totale par nuance d'acier et diam. de la barre (m)	
			dans un élément	d'éléments	total					HA 500	
										HA 6	HA 12
<b>42</b>	HA 500	6	51	3	153	0,15	1,92	293,76		293,76	
<b>43</b>	HA 500	12	12	3	36	0,13	7,39	266,04			266,04
<b>45</b>	HA 500	6	51	3	153	0,15	1,38	211,14		211,14	
<b>Longueur par diamètres (m)</b>										<b>504,90</b>	<b>266,04</b>
<b>Masse unitaire de la barre (kg/m)</b>										<b>0,22</b>	<b>0,89</b>
<b>Poids total par diamètres (kg)</b>										<b>112,09</b>	<b>236,24</b>
<b>Masse totale par nuance d'acier (kg)</b>										<b>348,33</b>	
<b>Total (kg)</b>										<b>348,33</b>	



**MÉMOIRE DE FIN DE CYCLE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR AU GRADE DE MASTER**

**THÈME : « CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT D'UN RÉSERVOIR EN BÉTON ARMÉ DE 2000 m<sup>3</sup> ET ANALYSE DE L'ÉTANCHÉITÉ DANS SA MISE EN ŒUVRE »**



Impétrante :  
MABA MBA Mélissa  
Matricule : 20210672

**TITRE DU PLAN : COUPE C-C DE LA BACHE DE 2000 m<sup>3</sup>**

**Notes importantes:**

- Ce document est une propriété privée, il ne peut être reproduit ou modifié sans l'accord du Bureau d'étude
- Certains réglages pourraient être apportés

DATE : 09/01/2025

FORMAT : A3

ECHELLE : 1/50

Maître d'Ouvrage : UNICEF

EDITION: Janvier 2025

N° PLAN : 010

VERSION : 01

Maître d'Ouvre : AGETIP/BNETD/GEC