THEME : ETUDE DU RENFORCEMENT DE LA PROTECTION ANTI-BELIER DE L'USINE DE TRAITEMENT DE KEUR MOMAR SARR (LOUGA)

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2IE AVEC GRADE DE **MASTER**
SPECIALITE INFRASTRUCTURES ET RESEAUX HYDRAULIQUES

Présenté et soutenu publiquement le Mardi 02 juillet 2019 par :

Cheikh Ahmed Tidiane Cherif FAYE (2013 1225)

Encadrant 2iE : Dr Angelbert Chabi BIAOU, Enseignant-chercheur en hydraulique à 2ie

Maître de stage : M. Jean Lazare COLY, Chef de projet à la SONES

Structure (s) d'accueil du stage : Société National des Eaux du Sénégal (SONES)

Jury d'évaluation du stage :

Président : **Dr Lawani MOUNIROU, Enseignant-chercheur en hydraulique à 2ie**

Membres et correcteurs :

M. Moussa OUEDRAGO, Enseignant à 2ie
M. Roland YONABA, Enseignant à 2ie

Promotion [2018/2019]

DEDICACES

Alhamdoullilahi Rabil Halamine

Louange à Allah Soubhanahou Wa TahAlllah qui nous a permis d'arriver jusqu'ici et nous a assisté. Que sa grandeur soit exaltée et que la paix accompagne éternellement son serviteur et messager, le Prophète Mohamed (PSL).

Je dédie ce travail à :

- A mon père Mouhamed FAYE qui a toujours été pour moi un magnifique modèle de labeur, de persévérance et de droiture.
- A ma mère chérie Feue Aita Ndiaye DIOUF pour m'avoir donné la vie. De toute ta vie tu n'as cessé de prier pour la réussite de tes enfants, malheureusement, tu ne gouteras pas aux fruits de ton dur labeur. Mais sache que nous ne t'oublierons jamais maman, **Repose en paix.**
- A mes tuteurs, Aminata MBADJI et Oumar NDIAYE, qui m'ont facilité mon intégration au Burkina Faso et m'apportent leur soutien à tout moment ;
- Mes frères et sœurs et toute ma famille
- Toutes les personnes qui ont participé à ma formation depuis mon plus jeune âge jusqu'à nos jours.

CITATIONS

''L'histoire du développement de la physique nous montre qu'une théorie serait bien présomptueuse en se flattant d'être définitive, nous ne voyons guère les théories s'élever que pour crouler mais, en s'écroulant, une théorie qui a été construite avec le désir sincère de parvenir au vrai ne disparait jamais complètement ; parmi ses débris se trouvent toujours des matériaux propres à entrer dans la composition de quelques autres systèmes plus parfaits et plus durables'' Pierre Duhem (chimiste physicien)

REMERCIEMENTS

La rédaction de ce mémoire de fin d'études n'aurait été possible sans la participation de certaines personnes. Qu'elles trouvent ici l'expression de mes plus sincères et chaleureux remerciements par leurs enseignements, leurs soutiens et leurs conseils.

Mes remerciements vont droit à :

- Mon directeur de Mémoire, Mr Angelbert BIAOU, Enseignant à l'institut international de l'eau et l'environnement 2ie
- Mon maître de stage, Mr Jean Lazare COLY, chef de projet à la SONES
- Monsieur Thierno Bocar DIEYE, chef de Projet à la SDE
- Monsieur Ibrahima DIOP, chargé de projet à la SONES
- Monsieur Yoro DAISY, chargé de projet à la SONES
- Monsieur Malick FAYE, chargé de projet à la SONES
- Monsieur Moussa Diagne FAYE, Enseignant à 2ie
- Madame Marie Thérèse MBENGUE, Enseignante à 2ie
- Tout le personnel de la SONES, particulièrement celui de la direction des Travaux, pour leur accueil chaleureux, leur disponibilité ;
- Merci à tous mes enseignants qui ont su faire de moi, ce que je suis aujourd'hui.
- Et enfin la communauté sénégalaise de 2ie, vous avez été ma famille d'adoption, vous tant que vous êtes.

RESUME

La production de l'eau pour la région de Dakar constitue 70% de la production nationale dans le périmètre affermé. Cependant des difficultés dans la distribution de l'eau sont notées ces dernières années suite à un manque de maîtrise des phénomènes de coups de bélier dans le réseau. Conscients du problème, les autorités sénégalaises ont mis en place le projet de renforcement de la protection anti-bélier de l'usine de Keur Momar Sarr.

L'objectif de cette présente étude est de vérifier les études techniques de l'APD du projet. La vérification a porté essentiellement sur la capacité du réservoir d'air, le dimensionnement des ouvrages de génie Civil pour la pose et sur le raccordement des ballons avec le réseau de transfert.

Â partir des différentes approches et études sur le terrain, il ressort qu'un volume de 300m^3 d'air est suffisant pour la protection, en remplacement des trois ballons de 50 m3 de type air-eau existant dans le réseau. Le choix est porté sur des ballons horizontaux d'air à vessie. Les changements apportés sur le raccordement et le génie civil du projet, font passer le cout du projet de 1 **454 641 922 FCFA** à **1 539 271 337 FCFA**.

MOTS- CLE

1 – COUPS DE BELIER

2 – KEUR MOMAR SARR

3 – PERIMETRE AFFERME

4 – PRODUCTION D'EAU

5 – PROTECTION ANTI BELIER

ABSTRACT

Water supply for Dakar region constitutes 70% of the national water supply in the water-connected area. Nevertheless, some difficulties in water distribution can be noticed over the past few years due to lack of control over the water hammer phenomena in the water system. Being aware of this issue, the Senegalese authorities have set up the project to reinforce the anti-water hammer protection in the water plant located in Keur Momar Sarr.

The purpose of this study is to check the technical studies about the Detailed Project Report of the anti-water hammer reinforcing protection project to implement. The inspection is mainly focused on the capacity of the air tank, on dimensionning of the civil engineering works concerning the laying and the connection to the water transfer system.

Various approaches and studies in the works implementing field show an air capacity of 300m3 which is sufficient for the protection, substituting three 50 m3 tanks in air-water type existing in the water system. And air tanks in horizontal bladder form are chosen. Changes made on the connection and the project's civil engineering cause the cost of the project to increase from **1,454,641,922 XOF** to **1,539,271,337 XOF**.

KEY WORDS

1 – Anti water hammer protection

2 – Connected area

3 – Keur Momar Sarr

4 – water hammer

5 – water supply

LISTE DES ABREVIATIONS

AEP : Adduction en Eau Potable

AFD : Agence Française pour le Développement

ALG : Adduction du Lac de Guiers

APD : Avant-Projet Détaillé

APS : Avant-Projet Sommaire

B.D.P.U: Bordereau Des Prix Unitaires

DCE : Dossier de Consultation des Entreprises (Dossier d'appel d'offres)

DTX : Direction des Travaux

ELU : Etat Limite Ultime

ELS : Etat Limite de Service

FTP : Fissuration Très Préjudiciable

HMT : Hauteur Manométrique Totale

KMS : Keur Momar Sarr

ONAS : Office National de l'Assainissement du Sénégal

PEPAM : Programme d'Eau Potable et d'Assainissement pour le millénaire

PN : Pression Normale

SDE : Sénégalaise Des Eaux

SENELEC : Société Nationale de l'Electricité

SGI : Studio Galli ingéniera

SONEES : Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal

SONES : Société Nationale des Eaux du Sénégal

VU: Volume Utile

WGS: Word Geogodetic System

SOMMAIRE

THEME : ETUDE DU RENFORCEMENT DE LA PROTECTION ANTI-BELIER DE L'USINE DE TRAITEMENT DE KEUR MOMAR SARR (LOUGA) ..... *i*

Dédicaces ..... **ii**

CITATIONS ..... **iii**

Remerciements ..... **iv**

Résumé ..... **v**

liste des abréviations ..... **vii**

Sommaire **1**

LISTE DES TABLEAUX **3**

LISTE DES FIGURES **4**

I. Introduction *5*

II. Présentation de la structure d'accueil et de la zone du projet *6*

A. Présentation de la structure d'accueil **6**

B. Présentation de la zone du projet **9**

1. Localisation de la zone d'étude 9
2. Description de l'environnement de la zone 10

III. Présentation du projet *12*

1. Contexte 12
2. Objectifs 12
3. Résumé de l'AEP de la région de Dakar 13
4. Diagnostic et l'Etat de lieux du système anti bélier 15

IV. Matériels et Méthodes *19*

A. Approche méthodologique **19**

1. Revue documentaire : 19
2. Diagnostic des ballons anti bélier actuels : 19
3. Analyse critique de l'étude de base 20
4. Phase d'acquisition, traitement et contrôle des données 20

5. Phase de visite de terrain et validation des données 20
6. Etude hydraulique de la protection anti bélier : 20
7. Etude Génie civil des ouvrages de la protection 21

B. Matériels utilisés : 21

1. Le prédimensionnement de la protection anti Bélier : 21
2. La célérité : 22
3. Calcul des pertes de Charges : 22
4. Fonctionnement des pompes : 23
5. Analyse de l'écoulement transitoire : 23
6. Hypothèse d'étude génie Civil du projet : 23

V. RESULTATS ET DISCUSSION 26

A. Audit technique de l'état Actuel DU RESEAU : 26

1. Analyse de la production : 26
2. Analyse de la consommation- production 27
3. La modélisation du réseau : 28

B. Étude de la protection Anti- bélier : 32

1. La valeur du coup de bélier : 32
2. La protection des conduites de refoulement : 33
3. Dimensionnement du réservoir d'air : 35
4. Détermination du diamètre du diaphragme : 35
5. Technologie du réseau de connexion : 36

C. ETUDE DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL 38

1. DIMENSIONNEMENT DES SUPPORTS ET RADIERS DES BALLONS 38
2. LES REGARDS : 42
3. LES MASSIFS DE BUTEE 47

D. L'étude financière du projet : 48

E. Etude impact environnemental du projet : 49

1. Les impacts positifs du projet : 49
2. Les impacts négatifs du projet : 49

VI. Conclusion et Recommandations : 52

VII. Bibliographie 53

VIII. ANNEXES : 54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Hypothèses de calcul du dimensionnement de Génie Civil 24
Tableau 2: Capacité de production de l'usine de KMS de 2013 à 2018 26
Tableau 3:Capacité de production de l'usine de Ngnith 26
Tableau 4:Determination des valeurs de surpression sur le réseau 32
Tableau 5: Les différents types de Protection anti-bélier 33
Tableau 6:Détermination du volume nécessaire et la Pression de regonflage 35
Tableau 7:Détermination du diamètre du diaphragme 36
Tableau 8: Dimensionnement de la ventouse 37
Tableau 9:Dimensionnement des conduites de vidange 38
Tableau 10:Dimensionnement des supports des ballons 40
Tableau 11:Dimensionnement du Radier du supports des ballons 41
Tableau 12: Dispositifs constructifs des armatures 43
Tableau 13: Résultats du dimensionnement des parois des regards 45
Tableau 14:Dimensionnement des fonds des regards 45
Tableau 15:Synthèse du dimensionnement des regards 47
Tableau 16:Résultats dimensionnement des massifs de butée 48

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme de la Société National des Eaux du Sénégal 7
Figure 2: Situation de la zone d'étude 9
Figure 3:Le réseau de transfert de Louga à Thiès. 14
Figure 4: Raccordement des anciens ballons, ... 15
Figure 5: Représentation graphique de l'ALG2 29
Figure 6: Ossature du réseau de Transfert du lac de Guiers jusqu'aux réservoirs de Thiès 30
Figure 7: Simulation sur epanet pour vérification des pressions 31
Figure 8: Organigramme de dimensionnement du poteau 39

I. INTRODUCTION

L'eau est une ressource indispensable à la vie et est à nos jours la ressource la plus utilisée au monde. Cependant l'eau douce reste toujours difficile à mobiliser dans les pays en développement, c'est pourquoi à l'instar de la communauté internationale, le Sénégal s'est engagé à atteindre les objectifs du millénaire pour le développement. Cheville ouvrière de l'hydraulique Urbaine, la SONES a réalisé une vingtaine de forages, des usines de traitement, des ouvrages de stockage et des extensions de réseau dans différentes zones du pays. Malgré tous ces efforts, des difficultés dans la distribution de l'eau sont ressenties par les populations dakaroises ces dernières années. Il est clair que la croissance galopante de la population de la région de Dakar et une politique volontariste des branchements sociaux subventionnés par l'état y ont beaucoup contribués. Â cela s'ajoutent les problèmes au niveau du réseau de transfert suite aux coups de bélier. En effet il est bien connu que dans une conduite transitant un fluide sous pression, si on modifie localement les conditions d'écoulement, on introduit dans le fluide une perturbation portant sur les paramètres de cet écoulement. Dans la pratique, l'apparition de ce phénomène peut avoir des conséquences fâcheuses et engendrer de sérieux dommages matériels tels que la rupture de canalisation, des désordres dans les installations de pompages. L'usine de traitement de Keur Momar SARR (KMS) qui assure plus de 40% de la production d'eau de la région de Dakar a subi en 2013, une cassure de la pièce en forme de Y reliant la conduite de refoulement de l'adduction de Lac de Guiers (ALG 2) et ses trois ballons anti bélier. Pour faire face à cette situation, les autorités Sénégalaises ont mis en place un programme de sécurisation des ouvrages du système d'alimentation en eau potable, sur un financement de 6,5 milliards par AFD pour changer les pompes de refoulement de l'usine de Ngnith, améliorer la qualité de l'alimentation de l'usine de KMS, multiplier les secours sur les ouvrages névralgiques du réseau de transfert. C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet du renforcement de la protection anti-bélier de l'usine de traitement de KMS.

L'étude de ce projet vise à faire l'état des lieux et une vérification de l'étude de base de la protection anti-bélier, à concevoir un système de la protection avec les nouveaux paramètres, définir le coût de réalisation des travaux et proposer une politique efficace de gestion du réseau pour une sécurisation durable des ouvrages du réseau de transfert et de l'alimentation en eau potable de DAKAR.

II. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE DU PROJET

A. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

En 1995, en vue de rechercher des solutions au déficit en eau de la région de Dakar et au manque d'équilibre du secteur de l'hydraulique urbaine et de l'assainissement, une réforme institutionnelle a été mise en œuvre. Elle s'est traduite par l'éclatement de l'ex Société Nationale d'exploitation des Eaux du Sénégal (SO.N.E.E. S) en trois (03) entités :

- La Sénégalaise Des Eaux (S.D.E) est chargée de l'exploitation des installations, du renouvellement du matériel d'exploitation du réseau de distribution d'eau potable ;
- L'Office National de l'Assainissement du Sénégal (ONAS) est chargée du développement et de l'exploitation des infrastructures et équipements du secteur de l'assainissement collectif et autonome des eaux usées et excrétas et du drainage des eaux pluviales ;
- La Société Nationale des Eaux du Sénégal (SO.N.E. S) au capital de 29 427 930 000 FCFA, structure d'accueil pour ce stage de fin d'études a pour mission :
    - La gestion du patrimoine du périmètre affermé,
    - La programmation des investissements,
    - La recherche de financements,
    - La maitrise d'ouvrage des travaux de renouvellement et d'extension de l'infrastructure,
    - La sensibilisation du public et le contrôle de la qualité de l'exploitation.

Les organes statutaires de la SO.N.E.S. sont : l'Assemblée Générale, le Conseil d'Administration et le Comité Directeur. Ci-après l'organigramme en vigueur de la SO.N.E.S. actualisé en juillet 2017. Ci-après la présentation de l'organigramme de l'entreprise :

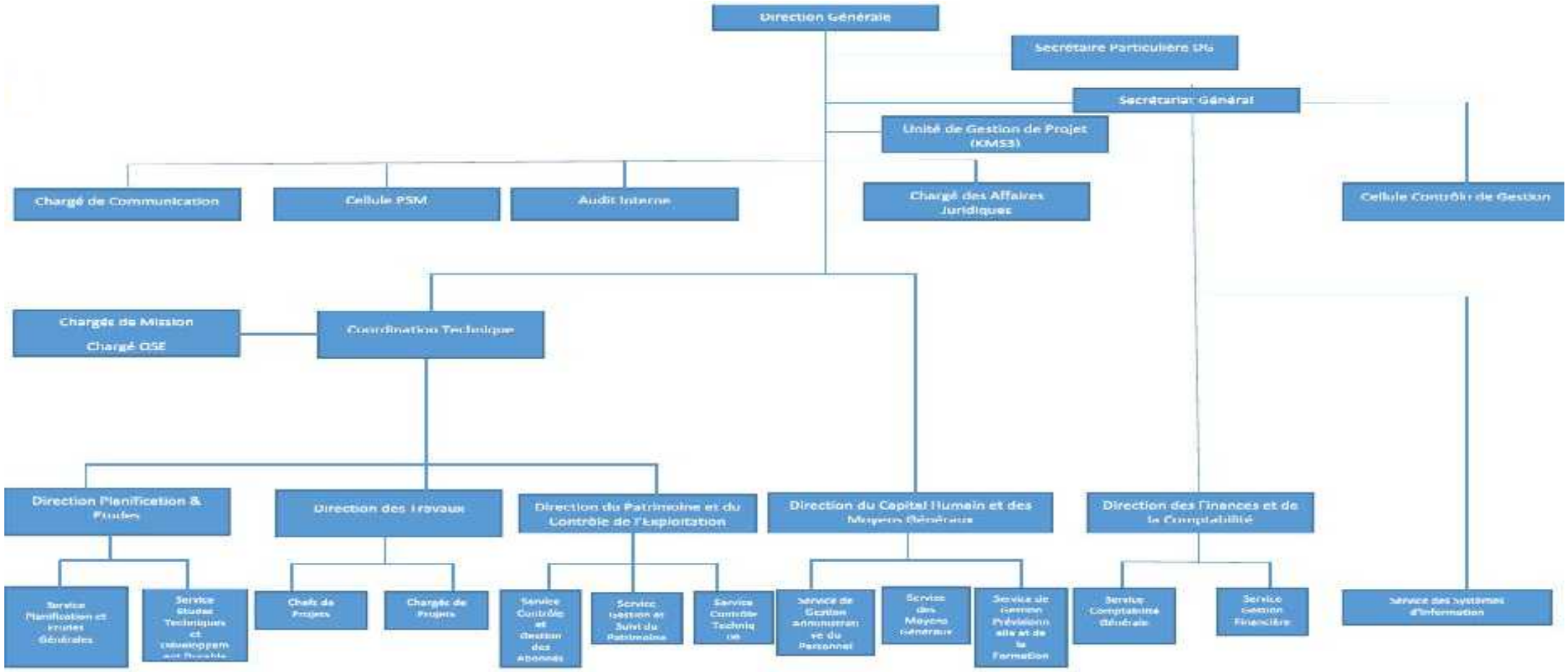


Figure 1: Organigramme de la Société National des Eaux du Sénégal

Source : Direction des Ressources Humaines de la SO.N.E.S

La SONES est composée de six (06) directions dont la direction des travaux (DTX) où s'est déroulé le stage. La DTX est chargé entre autres de :

- Créer une base de données socio-économique dans le secteur de l'hydraulique urbaine,
- Etablir les programmes d'investissements avec la direction financière sur la base d'études menées,
- Etablir et mettre à jour les schémas directeurs de l'hydraulique urbaine de l'ensemble des centres du périmètre concédé,
- Réaliser les études de faisabilité, d'avant-projet Sommaire (A.P.S), d'avant- Projet Détaillé (A.P.D) et des projets de renouvellement ou d'extension de l'infrastructure,
- Examiner et approuver les programmes de renouvellement des canalisations et des branchements proposés par le fermier du service de l'eau potable (S.D.E) et financés par lui-même ou la SONES,
- Assurer la maitrise d'œuvre de tous les projets de renouvellement ou d'extension de l'infrastructure hydraulique dans le périmètre concédé,
- Elaborer des dossiers de consultation des Entreprises (DCE),
- Assister la passation des marchés,
- Notifier les ordres de service pour l'extension des travaux,
- Assurer le contrôle de l'exécution des travaux,
- Elaborer les fiches synoptiques des projets de travaux, les plans de décaissement et les rapports d'avancement

B. PRESENTATION DE LA ZONE DU PROJET

1. Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude de ce présent projet se limite aux deux usines de traitement (KMS et Ngnith) jusqu'aux réservoirs de Thiès, mais principalement à l'usine de KEUR MOMAR SARR.

L'usine de traitement de Keur MOMAR SARR est située au Nord-ouest de la région de Louga. Cette dernière se situe au Nord-Ouest du pays et est à 203 km de Dakar. Keur Momar Sarr se trouve au bord du lac de Guiers à 15°55'24,44''nord, 15°57'46,81''ouest. Elle est limitée au Nord par la communauté rurale de Ross béthio, au Sud par celle de Nger Malal, à l'Est par celle de Syer et à l'Ouest par celle de Sakal. La figure ci-après montre la location de zone d'étude.

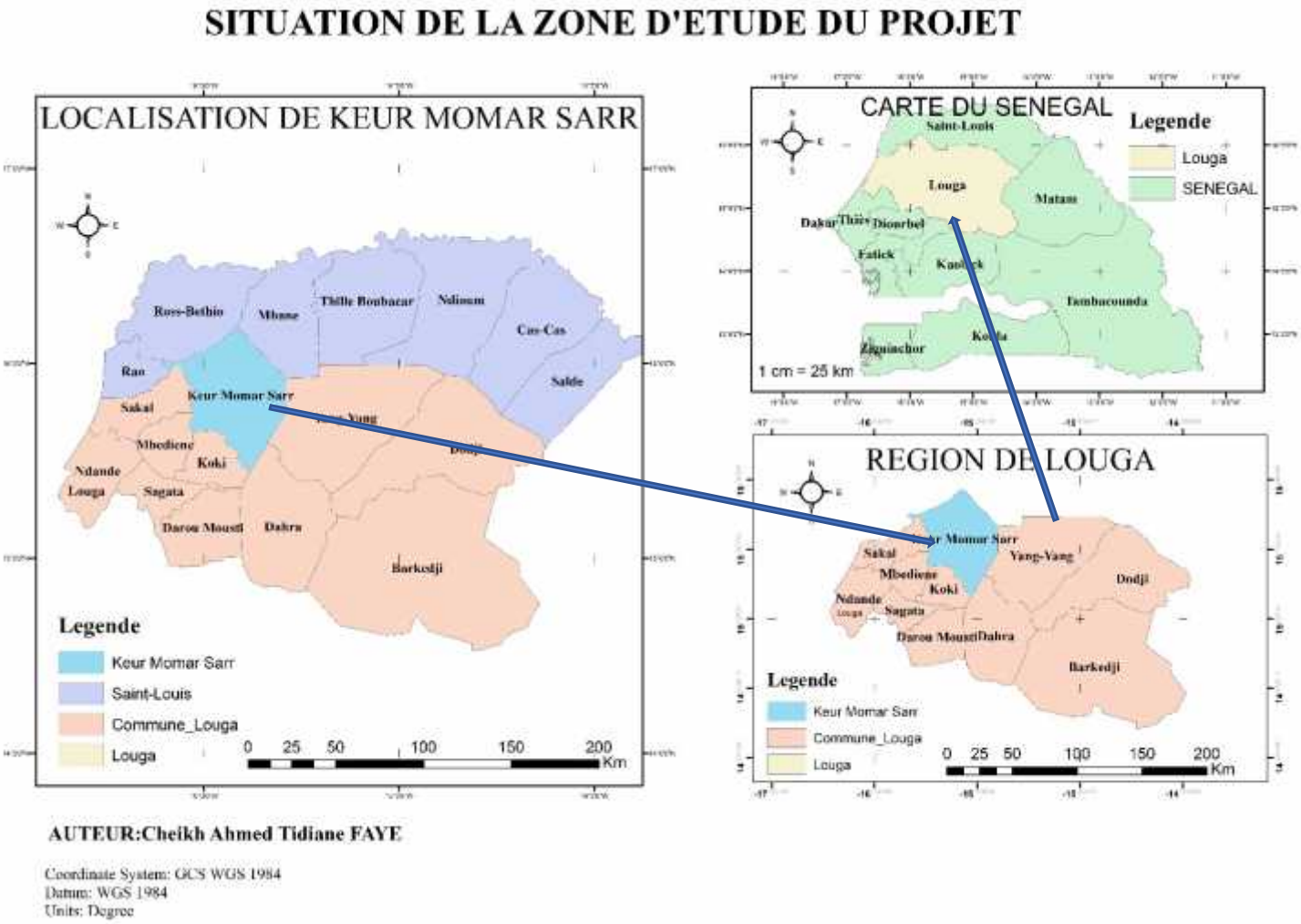


Figure 2: Situation de la zone d'étude

2. Description de l'environnement de la zone

La description de l'environnement physique du projet est centrée sur des données sur le climatiques, géologiques, hydrogéologiques, hydrologique dans les zones concernées par le projet.

a) Données générales sur le climat :

Le climat : Dans la région de Louga, le climat est de type sahélien. Cette partie est sous l'influence de l'Alizé continental, ce qui en fait une zone chaude et aride avec des pluies irrégulières.

Les vents : Le régime des vents est conditionné par les variations saisonnières. La vitesse moyenne des vents est de 2,3 à 5m/s entre Dakar et Saint Louis. Les vents occasionnent le phénomène de brume sèche et des vents de sable avec comme conséquences les poussières atmosphériques et/ ou l'érosion éolienne. Dans cette zone Sud-Ouest du lac de Guiers, le régime du vent est globalement bidirectionnel à l'échelle de l'année.

Les températures : Elles sont généralement élevées, avec des variations journalières et saisonnières. La température mensuelle atteint son maximum en septembre-octobre (28° C) tandis que le minimum s'observe en décembre-janvier (24°C à Louga). Les températures autour du Lac dans le secteur de Keur Momar Sarr, varient entre des minima de 12° et des maximas pouvant atteindre 40°, avec de grands écarts thermiques durant les mois de janvier à mars. Durant la saison sèche fraiche de novembre à Février, on a des températures qui varient entre 12 et 34°C, une humidité relative faible. De mars à juin, en saison sèche chaude, les températures varient entre 26 et 40 ° C.

La pluviométrie annuelle : Au Sénégal, les hauteurs annuelles de précipitations augmentent du nord (260mm) au sud (600mm) avec une raréfaction des pluies dans le sens Est-Ouest. Un déficit pluviométrique plus accentué dans la partie Nord existe sur l'ensemble du territoire. C'est ainsi que les isohyètes 300 mm qui se trouvaient au niveau du fleuve Sénégal se situent actuellement à près de 120 km plus au sud.

b) Cadre géologique et géomorphologique :

Aux environs du Lac, la géologie est dominée par les formations du Quaternaire qui reposent directement, du fait d'une lacune du continental Terminal, sur les formations calcaires et marno-calcaires de l'Eocène. Le Quaternaire est représenté dans la zone de Keur Momar Sarr par les dunes qui reposent, par endroits, sur la cuirasse ferrugineuse gravillonnaire. Plus au Sud-Ouest,

dans la région de Louga, la géologie reste dominée par les formations quaternaires et une absence du continental terminal. Le Quaternaire est représenté par des formations sableuses et sablo-argileuses tandis que l'Eocène est dominé dans cette zone par les calcaires du lutétien avec une épaisseur moyenne de 70 m et qui constitue par ailleurs un très grand aquifère.

c) Contexte hydrogéologique :

Les ressources en eaux souterraines sont très abondantes et sont localisées dans les différentes formations géologiques décrites plus haut. Trois grands aquifères peuvent être identifiés dans la zone.

- Le système superficiel : contenu dans les formations du Quaternaire et du Continental terminal. Ce système est généralement exploité par les puits villageois à l'échelle du territoire sénégalais. Dans la région de Louga, cet aquifère est localisé dans les sables quaternaires du Littoral Nord d'où son appellation de « nappe des sables du littoral Nord ».
- Le système intermédiaire représenté par les formations calcaires du tertiaire. Dans la zone de Louga, ce système est représenté par les calcaires du Lutétien qui constituent un aquifère très productif exploité par de nombreux forages. Cette nappe peut en effet fournir des débits de 150 m3/h pour un rabattement de 1m.
- Le système profond représenté par les formations du Maastrichtien qui constitue de loin l'aquifère le plus important du Sénégal. L'aquifère est constitué d'une succession de sables, de grés et d'argiles. Cet aquifère est exploité par de nombreux ouvrages hydrauliques dans la zone de Louga et Thiès.

d) Pédologie :

Le Sud-Est du lac est occupé par des sols ferrugineux tropicaux lessivés sans concrétions.

Les formations pédologiques traversées par les conduites sont essentiellement des sols bruns rouges au nord-ouest de Louga et des sols ferrugineux tropicaux pour le reste du bassin arachidier.

III. PRESENTATION DU PROJET

1. Contexte

Malgré les modifications et améliorations apportées au fil du temps, la production d'eau de l'usine de KEUR MOMAR SARR présente périodiquement des problèmes de disponibilité de ses équipements de production liés surtout au délestage de la SENELEC. Suite à la casse, survenue le 21 septembre 2013 de la pièce spéciale en acier reliant divers équipements de refoulement de l'usine de production de KMS aux ballons anti-bélier, les autorités sénégalaises ont estimé nécessaire de mener des études techniques dans le but d'identifier les interventions à faire pour sécuriser durablement le fonctionnement du système d'AEP actuel de Dakar. Dans ce sens, le Programme d'Eau Potable et d'Assainissement du Millénaire (PEPAM) avait lancé une consultation restreinte pour des prestations d'études qui ont permis à la SONES de mieux identifier les travaux pour sécuriser durablement le fonctionnement des ouvrages de KMS et éviter que ce genre d'incident ne se reproduise dans le futur. Â cela s'ajoute le programme de sécurisation de l'alimentation en eau de la région de Dakar financé par l'AFD, pour Le changement des pompes de Ngnith, l'amélioration de l'alimentation électrique de KMS, la multiplication des secours sur les points névralgiques et la sécurisation des conduites de refoulement.

Ce présent travail s'inscrit toujours dans le contexte de sécurisation durable des équipements de production de l'eau potable de Dakar par l'étude du renforcement de la protection anti-bélier de l'usine de traitement de KMS jusqu'aux réservoirs de Thiès.

2. Objectifs

L'objet de cette étude est de contribuer à la protection anti bélier de l'usine KMS permettant une sécurisation durable du système de transfert contre les perturbations dans le réseau par :

- Une vérification de l'étude de la protection et une inspection de l'ancien système anti bélier ;
- La conception et dimensionnement d'un nouveau système de protection anti bélier avec les nouveaux paramètres ;
- Faire l'analyse financière de la réalisation du projet.

3. Résumé de l'AEP de la région de Dakar

L'alimentation en eau potable de la région de Dakar repose sur deux systèmes principaux :

Les deux conduites du système ALG. Leurs diamètres varient du DN900 au DN1000 pour l'ALG1 et DN1000 au DN1200 pour l'ALG2. Elles acheminent l'eau du Lac de Guiers traitée par les usines de Ngnith et KMS jusqu'aux réservoirs de Thiès sur 195 Km, ensuite des réservoirs de Thiès à l'usine du point B sur 54 Km pour une redistribution des flux vers les réservoirs de distribution et les secteurs de Dakar I. Sur le trajet, les ALG assurent le service en route et reçoivent les apports de nombreux forages. L'accélérateur de Carmel joue un rôle identique en aval des ALG. Une conduite en fonte DN800 qui transporte les eaux issues des forages de pout SUD et de Sébikhotane vers l'usine du point B sur 35 km environ. Cette conduite assure également la desserte en route des villages ou des réservoirs comme celui de Thiaroye.

Les ressources en eau actuelles sont les suivantes :

- En amont des réservoirs de Thiès :

Les réservoirs de Thiès (25000 m3 de capacité repartie sur deux (02) anciennes cuves de 7500 m^3 et deux (02) récentes de 5000 m^3 chacune) reçoivent les eaux :

- ✓ Du lac de Guiers traitées par l'usine de Ngnith de capacité théorique 64000m3/j (2 pompages de reprise des deux (02) bâches tampon de 1500 m3 chacune) et à l'usine de KMS de capacité théorique 65000 m3/j (4 pompages de reprise de la bâche de 10000 m3). La capacité de KMS est augmentée à 130000 m3/j en 2008 ;
- ✓ Du champ captant de Kelle Kebemer (7 captages) au niveau des calcaires de l'éocène du système aquifère du Littoral Nord le long de la route Dakar-Saint Louis et alimente via la conduite ALG, les villages situés le long de la route. Du nouveau champ captant de Gueoul (FLN) composé de 11 forages dans les calcaires éocènes du système acquière du Littoral Nord, à la périphérie de Gueoul, sur le modèle de ceux qui sont en service au niveau de Kelle Kebemer. Pour une capacité théorique initiale de 3500m3/j.

- Entre Thiès et l'usine du point B :

Les deux conduites de l'ALG entre Thiès et le point B reçoivent les eaux :

- ✓ Du site de Pout Kirene avec 05 forages dans le Maastrichtien d'une capacité de 18000 m^3/j
- ✓ Du centre de captage de Pout Nord d'une capacité de 48 000 m^3/j composée de :
  4 forages d'une capacité de 15000 m^3/j dans les calcaires paléocènes.

9 forages dans les sables Maastrichtien d'une capacité de 33000 m^3/j.

- La nouvelle conduite fonte DN 800 reçoit les eaux :
  - ✓ Des forages de Pout Sud : deux soutirent l'eau de la nappe des calcaires paléocènes. Ils fournissent en moyenne 400m3/j. Leur utilisation a été réduite depuis une trentaine d'années afin d'éviter les menaces d'intrusion saline.
  - ✓ Des forages existants sont en exploitation (F1, F2, F3) et fournissent en moyenne 19500 m^3/j. Leur production a diminué en raison de l'augmentation de la minéralisation de l'eau (teneur en chlorures)
  - ✓ Des forages de Pout Kirene peuvent également alimenter la nouvelle conduite fonte DN800

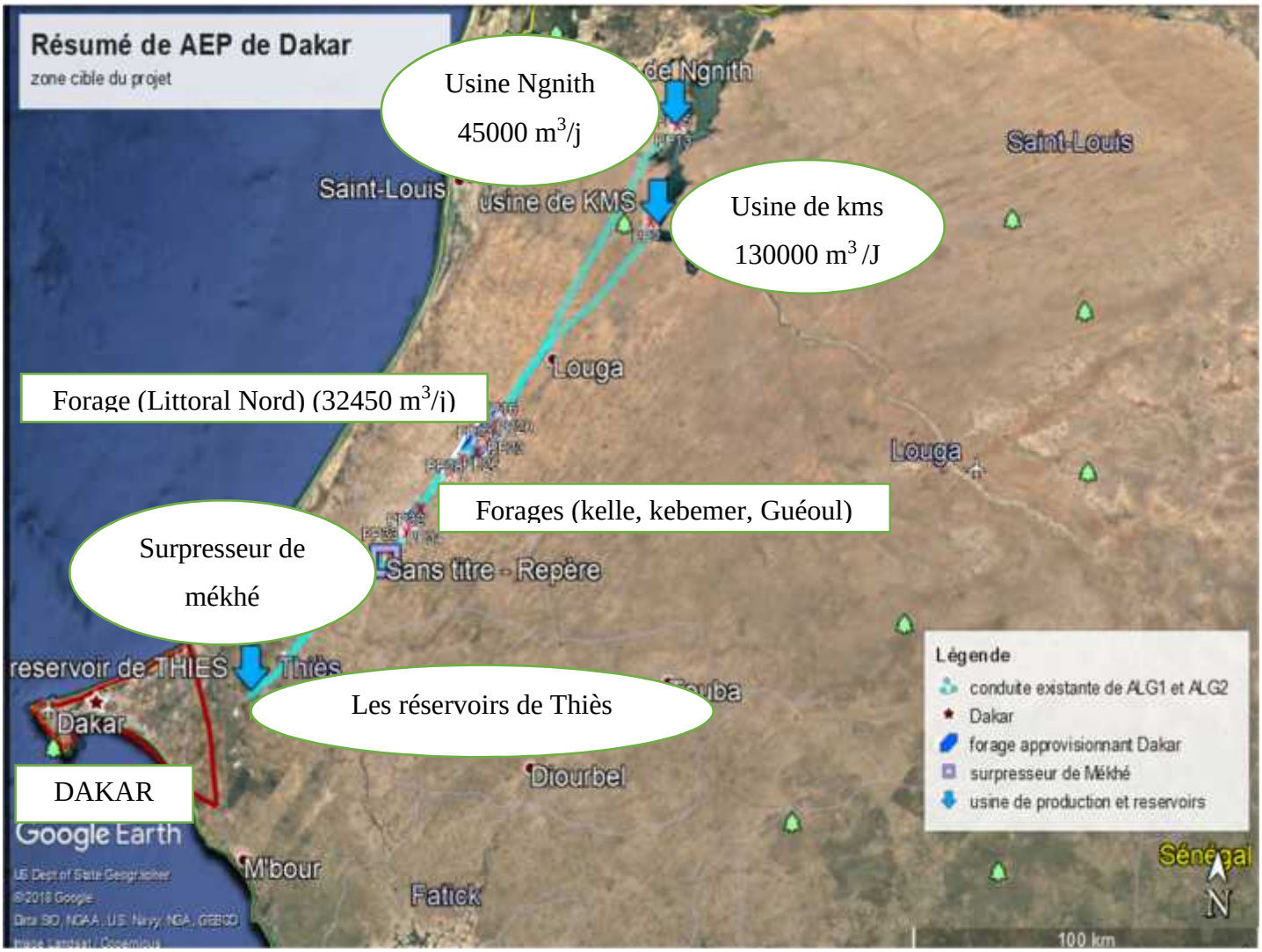


Figure 3:Le réseau de transfert de Louga à Thiès.

4. Diagnostic et l'Etat de lieux du système anti bélier

Les systèmes de protection contre les écoulements transitoires, présents dans le réseau sont :

- 3 réservoirs anti bélier de 50m^3 chacun sur le site de KMS,
- 3 réservoirs anti bélier de 50m^3 chacun sur le site de Mékhé,
- Des soupapes au niveau de quelques forages.

L'usine de Ngnith ne présente pas une nécessité de protection anti bélier car l'alimentation électrique de l'usine est assurée par un groupe électrogène et les pompes sont équipés par moteurs thermiques. L'avantage de cette solution est la mitigation des phénomènes de coups de bélier lors des manœuvres de démarrage et arrêt des pompes, à condition de respecter les consignes. La station de pompages de Ngnith a donc été conçue sans aucun système de protection anti-bélier.

a) Les problèmes dans le réseau :

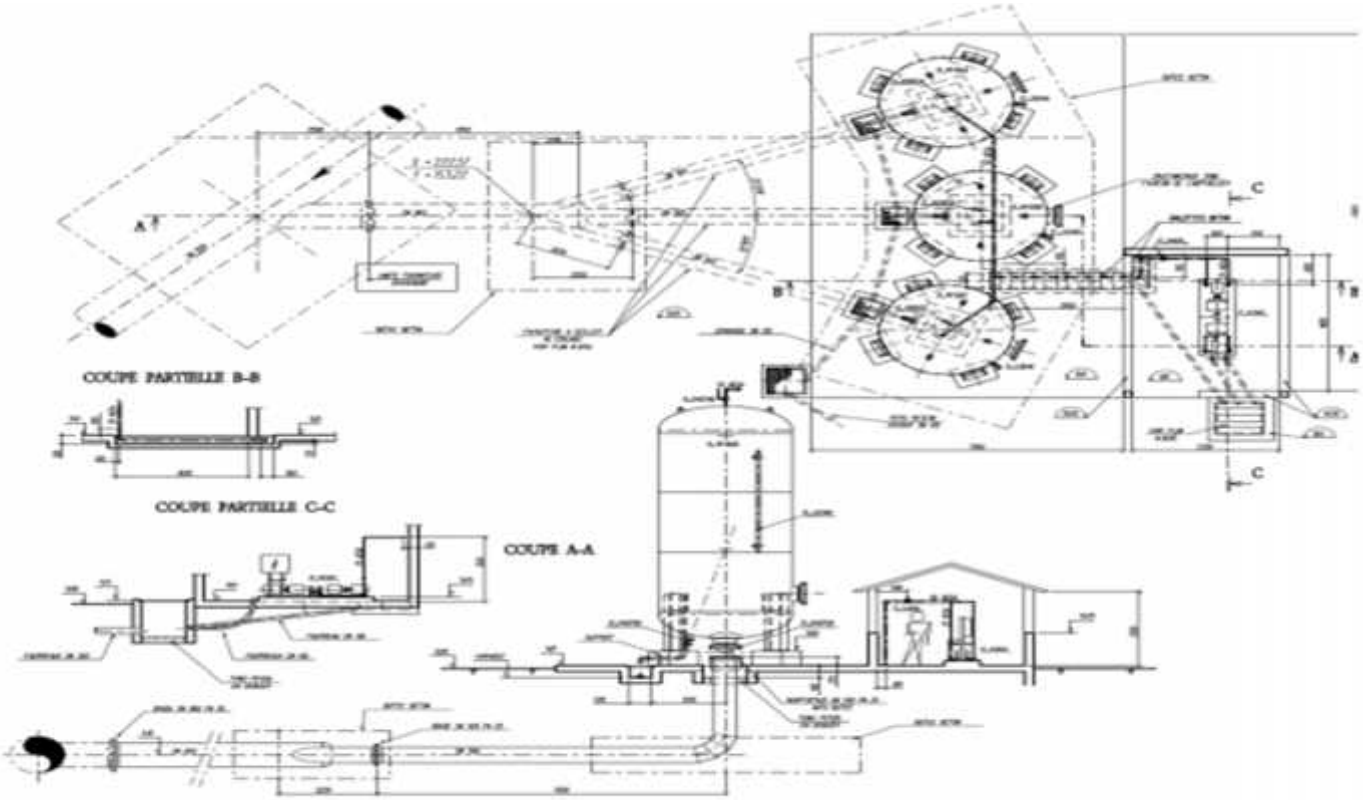


Figure 4: Raccordement des anciens ballons,

Source : Rapport mission d'inspection des ouvrages de AEP de Dakar

Les ballons anti- bélier de KMS sont de type air-eau et sensibles à la corrosion de l'acier. Le système de protection anti-bélier est placé beaucoup plus en aval de la station de pompage. Ces trois ballons sont desservis par trois conduites en acier DN500, lesquelles sont connectées ensemble pour former une prise sur une autre conduite de raccordement, de diamètre nominal DN800, en acier. Cette dernière conduite est raccordée à la conduite principale de refoulement de l'usine, en utilisant une forme particulière formant un angle aigu. Ce type de raccordement apparaît sensible au point de vue STRUCTUREL car favorisent des efforts en condition de fonctionnement ordinaire. Suite à de nombreuses réparations dans le réseau et la présence de fuites dans cette zone de raccordement à une pression supérieure à 23 bars, Ces ballons vont être remplacés par un nouveau système de protection.

L'étude de l'avant-projet détaillé (APD) de ce dernier a été réalisée par le bureau SGI et nous allons l'analyser et faire une synthèse sur la pertinence de l'étude. Ci- dessous la représentation de la connexion pour les trois ballons anti- bélier.

b) Analyse critique de l'option de SGI

Le bureau SGI a réalisé l'étude APD du renforcement de la protection anti bélier suite aux conclusions de la mission pour la vérification et l'inspection de l'état de fonctionnement des ballons anti-béliers actuels de l'usine de Keur momar Sarr, l'objectif recherché étant de mettre en place un dispositif permettant de sécuriser durablement les ouvrages de transfert de KMS.

Les hypothèses de calcul adoptées par le bureau d'étude à cet effet, les résultats correspondants et une synthèse de la pertinence de cette étude sont mentionnés dans ce qui suit :

c) Hypothèse de Calcul de l'étude de SGI

L'étude hydraulique du projet concerne le tronçon allant du Lac de Guiers jusqu'aux réservoirs Thiès et présentera une configuration maximale de production au niveau des usines de traitement (130000m3/j) à KMS et (64000m3/J) à Ngnuith et du littoral NORD (11 forages avec un débit total de 35000 m3/J)

Le système sera analysé à la condition la plus défavorable de fonctionnement, c'est-à-dire :

- Piquages distributifs des ALG avec consommation nulle,
- Absence de ventouses sur les points hauts des ALG. Le système de protection contre les régimes transitoires doit pouvoir fonctionner sans compter sur l'effet des ventouses. En effet, bien que ces dernières permettent l'admission de débit d'air dans la conduite afin d'atténuer les chocs en dépression, elles peuvent aussi produire, en cas de fonctionnement

non optimale, des coups de bélier secondaires dus aux bulles d'air admises. Le système de protection anti-bélier sera donc constitué seulement par des ballons anti bélier au niveau de l'usine de traitement de Keur Momar Sarr.

- Les simulations hydrauliques du système de protection anti-bélier pourront se dérouler en utilisant les scénarii suivants :
  - Arrêt brutal des pompes de KMS ; Ngnith en marche ainsi que le surpresseur de Mékhé
  - Arrêt brutal des pompes de KMS et du suppresseur de Mékhé ; Ngnith en marche
  - Arrêt brutal du surpresseur de Mékhé ; Ngnith et KMS en marche

d) Résultats de l'étude de SGI :

Les résultats de l'étude de SGI par rapport au volume d'air nécessaire pour la sécurisation est un réservoir de 300m^3 d'où un choix de six ballons anti bélier à vessie de 50 m^3 chacun. Le raccordement des ballons est fait au même niveau que les anciens ballons par une Fonte DN1200 comme prise sur la conduite de refoulement de DN1200 et raccordé aux ballons par des DN800 sur un alignement droit.

Une chambre de manœuvre est construite au niveau de la connexion DN1200 de la protection avec la conduite de refoulement et une chambre de vanne pour chaque ballon.

e) Note de Synthèses sur la pertinence de l'étude :

L'étude de la protection anti bélier doit pouvoir permettre de sécuriser la conduite de refoulement et respecter les critères de dimensionnement hydraulique pour le volume d'air et le génie civil nécessaire pour la faisabilité sur le terrain pour une protection durable et de qualité.

Et par rapport à l'étude de SGI, on note que :

- La disposition des ballons nécessite une grande emprise pour sa réalisation,
- La topographie de la conduite de refoulement n'est pas bien respectée car se trouve à une profondeur de 5 m alors qu'étant considéré à 2 m du TN dans l'étude de SGI, ce qui nous a poussé à élever la conduite de raccordement à une profondeur inférieur à 3m et mettre en place une galerie d'assemblage des ballons pour pouvoir intervenir le plus vite possible en cas de besoin d'intervention dans cette partie au lieu de déployer à chaque fois qu'il y'a problème dans le réseau des moyens matériels pour le terrassement de Dakar jusqu'à KMS,
- L'étude technique des équipements hydrauliques présente des limites surtout par rapport aux massifs de butée. La protection anti bélier est beaucoup plus en aval de la station de

pompage au même niveau que les anciens ballons qui sont à plus de 100 m des pompes de refoulement, Alors que la position des réservoirs d'air doit être le plus proche possible de la station de pompage.

Pour permettre au maitre d'ouvrage d'avoir une vérification de l'étude, des améliorations du projet de renforcement et des recommandations par rapport à sa faisabilité, nous nous proposons de faire l'étude de la protection pour atteindre ces objectifs de départ.

IV. MATERIELS ET METHODES

Il s'agit de décrire la démarche adoptée pour atteindre les objectifs de cette étude, de la collecte de données à leurs analyse et traitement, jusqu'à la rédaction de ce document ainsi que le matériel utilisé

A. APPROCHE METHODOLOGIQUE

1. Revue documentaire :

La recherche documentaire a été faite principalement au niveau de la SONES, la SDE qui gère l'exploitation du réseau AEP du Sénégal. La revue documentaire a consisté à collecter des données sur les zones d'intervention du projet, à savoir les usines de KMS, Ngnith et sur le réseau de transfert de (ALG1 et ALG2). La documentation a fourni entre autres :

- ✓ Les profils en long
- ✓ Le Rapport de l'audit technique des installations hydrauliques destinées à l'alimentation en eau de Dakar-Sénégal après la cassure de la pièce spéciale en Y.
- ✓ La collecte de données relatives au fonctionnement des ALG (synoptique du réseau)
- ✓ La capacité de production des usines et les apports des forages sur les ALG de 2013 à 2018

Nous avons également utilisé l'internet pour nous procurer certains rapports ou articles parlant des coups de bélier et des mémoires de fin d'études qui ont porté sur des études de protections contre ce phénomène. Une étude de ces ouvrages nous a permis de bien comprendre le phénomène des coups de bélier, les différentes protections et les hypothèses prises en compte pour la réalisation de cette étude

2. Diagnostic des ballons anti bélier actuels :

Le diagnostic du système anti bélier actuel a permis de comprendre le fonctionnement des différents équipements du réseau de transfert de l'AEP de Dakar. L'usine de Ngnith ne dispose pas de protection anti-bélier car l'alimentation en énergie est assurée par des groupes électrogènes, L'usine de KMS dispose d'une protection anti-bélier de trois ballons air-eau qui ont présenté des limites par rapport aux coups de bélier car du fait des multiples réparations sur la conduite ALG2 et le surpresseur de Mékhé dispose de la plus récente protection anti- bélier composée de de trois ballons pneumatiques d'une capacité de $50m^3$ chacun.

3. Analyse critique de l'étude de base

L'étude du renforcement de la protection anti bélier de l'usine de KMS a été réalisé par le groupe SGI qui a déterminé la capacité du nouveau réservoir d'air à mettre en place, mais par rapport à la réalisation des travaux d'exécution des changements ont été faite suite aux contraintes sur le terrain et montrant donc des limites de l'étude de base et nous permettra de faire les vérifications des études de réalisations pour une sécurisation durable de la protection anti bélier du système de transfert.

4. Phase d'acquisition, traitement et contrôle des données

L'exploitation de la documentation obtenue au cours de la recherche documentaire et les observations sur le terrain ont permis d'obtenir les données nécessaires pour mener à bien cette étude. Il s'agit des données pour faire :

- ✓ La vérification de la capacité du réservoir d'air et du type de raccordement
- ✓ La protection de la conduite de transfert contre les forces de poussée de l'eau dans la conduite
- ✓ La vérification des ouvrages de génie Civil à mettre en place à l'intérieur de l'usine pour la stabilité des ballons et des regards de connexion pour la sécurisation des équipements.

5. Phase de visite de terrain et validation des données

Les visites de terrain quant à elles nous ont permis de confronter les données de l'étude de base de SGI et celles réellement obtenues sur le terrain. Elles nous ont permis aussi de faire une inspection et une vérification des trois anciens ballons d'air du réseau, ainsi que des ouvrages de production de l'eau potable (station de traitement et de pompage) et de répertorier les points sensibles aux forces de poussée de l'eau de la connexion des nouveaux ballons.

6. Etude hydraulique de la protection anti bélier :

L'étude technique de la protection anti bélier a consisté d'abord à faire l'étude du réseau de transfert en régime permanent pour la validation des hypothèses de l'étude de base du projet par une modélisation et simulation sur Epanet du réseau de transfert des deux usines de traitement jusqu'aux réservoirs de Thiès pour vérifier les différentes pressions dans le réseau, et vérifier le dimensionnement du réservoir d'air et ses équipements de raccordement pour une sécurisation durable avec les nouveaux paramètres. L'étude est donc composée de :

- La phase de calcul de la valeur du coup de bélier.
- Le choix de la protection des conduites de refoulement.

- Et le dimensionnement du réservoir d'air.

7. Etude Génie civil des ouvrages de la protection

Après l'étude hydraulique du projet, nous allons faire l'étude de la fondation des supports des ballons pour une vérification de la pertinence de la qualité des travaux de la protection et le dimensionnement des massifs de butée contre les forces de poussée de l'eau.

8. Evaluation du devis de base et du devis du projet de réalisation

L'étude financière de ce projet de réalisation est nécessaire pour la comparaison du projet avec le projet de base.

B. MATERIELS UTILISES :

Pour le traitement des données, les logiciels Google Earth, Global Mapper ont été utilisés pour faire les cartes de localisation et la conversion de fichier. Le logiciel Epanet, nous a permis de simuler le comportement du réseau depuis les usines de traitement de Ngnuith et KMS jusqu'aux réservoirs de Thiès pour comprendre le comportement du réseau en régime permanent, le logiciel Microsoft office Excel a été utilisé pour effectuer tous les calculs, Microsoft Office Word pour la rédaction de ce mémoire et le logiciel AutoCAD pour les plans des ouvrages.

C. HYPOTHESE DE CALCUL :

1. Le prédimensionnement de la protection anti Bélier :

Comme équipement pour limiter les surpressions et dépressions, un système anti-bélier sera dimensionné, le système sera composé de ballons anti-béliers pneumatiques à vessie. Le dimensionnement se fera en tenant compte des pertes de charges dans la conduite avec les abaques de Meunier-Puech pour un dimensionnement plus précis et plus complet des équipements.

On va procéder de la manière suivante :

- On calcul A et k
- A partir de l'abaque D (calcul de la dépression) correspondant à la valeur de K trouvée et compte tenu du profil en long de la conduite choisit une valeur de b qui donne origine à une courbe de dépression le long de la conduite sans préjudice sera choisie. Si aucune courbe n'est satisfaisante, cela signifie qu'un grand volume serait nécessaire et il faut adopter une autre solution
- On détermine le volume à partir de B

- A partir des abaques de détermination de Kr et connaissant A, K et B, on détermine la perte de charge optimale pour l'orifice du clapet, c'est-à-dire celle qui conduit à une pression maximale dans la conduite avec une valeur identique à la pression maximale dans le réservoir d'air.
- A l'aide de ces derniers, on peut refaire le calcul des pressions maximale et minimale dans la conduite près du réservoir on peut également choisir un autre orifice ou d'autres dimensions pour le réservoir.
- Le diamètre de liaison du ballon d'air à la conduite est d'environ la moitié du diamètre de cette dernière avec des raccordements arrondis pour éviter la formation de tourbillons.

2. La célérité :

La célérité des ondes est donnée par la formule d'ALLIEVI :

$$c = \frac{9900}{\sqrt{(48{,}3 + K\frac{D}{e}}}$$

Avec :

C : la célérité de la propagation des ondes ε : module d'élasticité du fluide ; ρ : la masse volumique du fluide ; D : le diamètre intérieur de la conduite (en m) ; K = 1 pour les conduites en fonte ; e : l'épaisseurs du tuyau 0.02 m

Nous avons par calcul de la valeur de la célérité égal à 951,3m/s pour le DN1200 de l'ALG alors que pour les conduites anciennes tel que les conduites de l'ALG, il est préférable de majorer la valeur communément admissible pour les matériaux constituant la conduite, pour l'eau et les canalisations courantes, les valeurs de la célérité varient entre 300m/s (pour le PVC et le polyéthylène haute densité) et de 1200 m/s (pour l'acier et la fonte).

La valeur retenue de la célérité des ondes est de 1200 m/s pour la fonte et 1000 pour l'acier.

3. Calcul des pertes de Charges :

La formule de COLEBROOK est utilisée pour la détermination des pertes de charges :

$$J = \frac{\lambda}{D}\frac{U^2}{2g} \quad \text{Avec} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{k}{3.7D} + \frac{2.51}{\mathcal{R}\sqrt{\lambda}}\right) \text{ et } \mathcal{R} = \frac{UD}{\nu}$$

J : désigne la perte de charge unitaire en m/m ; λ : désigne le coefficient de résistance hydraulique ; D : désigne le diamètre intérieur de la conduite ; K : désigne le coefficient de rugosité (coefficient de Colebrook) ; $\mathcal{R}$ désigne le nombre de Reynolds ; U = vitesse dans la conduite (m/s) ; ν : est la viscosité de l'eau prise égale à 10^{-6} m^2/s

Le coefficient de rugosité sera pris égal à k= 0.1 mm

4. Fonctionnement des pompes :

a) Hauteur manométrique :

Elle est obtenue en sommant la hauteur géométrique et les pertes de charges à l'aspiration ainsi qu'au refoulement. Cette hauteur est donnée comme suit :

$$H_{mt} = H_g + J_{asp} + J_{ref}$$

Avec :

HMT : hauteur manométrique (m)

Hg : hauteur géométrique (m)

Jasp : pertes de charges à l'aspiration (m)

Jref : Pertes de charge au refoulement (m)

b) Le point de fonctionnement des pompes :

Le point de fonctionnement des pompes est l'intersection de la courbe caractéristique des pompes et la courbe du réseau de refoulement. La courbe réseau H(Q) est déterminée en additionnant la hauteur géométrique du refoulement aux pertes de charges linéaires calculées pour différents débits.

5. Analyse de l'écoulement transitoire :

L'étude de SGI avait proposé des scénarii à étudier pour la simulation de l'écoulement transitoire du réseau par un logiciel de simulation pour la validation de leur étude et ces différents scénarii restent conformes aux différents cas de dysfonctionnement que l'on pourrait avoir sur le réseau et qui pourraient engendrer les phénomènes de coups de bélier.

6. Hypothèse d'étude génie Civil du projet :

a) Nature du sol et essais géotechniques :

Suite à l'étude géotechnique de Labosol-AGTS, l'environnement géologique de la parcelle devant abriter les massifs d'appui des ballons anti-béliers est constitué de sables et de Calcaires marneux.

D'après l'investigation menée in-situ, nous sommes en présence d'un terrain composé de sables moyennement compacts jusqu'à environ 7,5 m de profondeur ensuite du calcaire marneux localisé jusqu'à 10m de profondeur.

Les contraintes admissibles du sol retenues à partir des résultats des essais pressiométriques

donnent :

QELU = 0 ,28 MPA et QELS = 0,17 MPA. Les radiers devront être conçus de manière à ne pas dépasser les contraintes supportables par le sol. Cette valeur de portance assure des tassements qui sont inférieurs au centimètre.

b) La descente de charge :

Les charges à prendre en compte pour l'étude des supports et la fondation pour les ballons sont données par le fournisseur des ballons Charlatte Réservoirs :

La charge permanente G est le poids à vide de chaque ballon qui est de 16000KG.

La charge d'exploitation Q quant à elle est composée uniquement du poids de l'eau remplie dans le réservoir qui est égal à 40 m^3 soit 40000 KG.

Les hypothèses des calculs de béton armé des supports, fondation et regards de visites seront donc :

Tableau 1: Hypothèses de calcul du dimensionnement de Génie Civil

Hypothèse de calcul béton armée	
Pour les regards considérés comme des réservoirs semi enterrés vides	Classe A L'étanchéité est assurée par la structure elle-même (f_{c28}=30MPA, dosage du ciment≥ 350kg/m^3)
Résistance du béton à la compression	f_{c28}=30MPA
Coefficient partiel de sécurité du béton	ɣ=1.5
Poids volumique du béton ɣ	25 kN/m^3
Nuance de l'acier	HA Fe E500
Limite d'élasticité garantie	F_e=500MPA
Coefficient partiel de sécurité de l'acier	ɣ=1.15
Contrainte de traction de l'acier	$\sigma^{st(Mpa)} \leq min\left[\alpha\sqrt{\frac{\eta f_{t28}}{\emptyset_s}} + 30\ \eta; 0.5\ fe; 90\sqrt{\eta f_{t28}}\right]$ FTP (BAEL)
Durée d'application des charges	≥24h
Poids volumique de la poussée des terres	20 kN/m^3
Charge d'entretien	1kN/m^3
Contrainte admissible du sol	0.28 MPa

Enrobage	3cm
Epaisseur minimale	15 cm en classe A
Diamètre des aciers et espacements	En 2 nappes si $h_0 \geq 15$ cm $\emptyset \leq \frac{h_0}{10}$ $S \leq \min(1.5\, h_0; 20\ cm)$
Section d'acier	$\geq 0.23 \frac{f_{t28}}{f_e} \frac{1.5\, h_0 - N}{3\, h_0 f_e}$ En flexion composée avec N l'effort normal de traction $\geq 0.125\%.\, h_0.\, b_0$ Pour les HA par face et dans chaque direction $\leq 2\% h_0.\, b_0$ Dans chaque direction
Radier et fonds de réservoir directement posé sur le sol	Radiers monolithes et semi-monolithes des parois verticales $A_s \geq 0.25\% h_0.\, b_0$ acier HA

V. RESULTATS ET DISCUSSION

A. AUDIT TECHNIQUE DE L'ETAT ACTUEL DU RESEAU :

Il s'agit de faire une analyse pour la compréhension du fonctionnement du réseau de refoulement. Ce qui va nous permettre de valider les hypothèses de base pour l'étude de la protection par :

- ✓ Une analyse de la production
- ✓ Analyse de la consommation- distribution
- ✓ Modélisation du réseau de transfert

1. Analyse de la production :

Nous allons comparer les capacités de production des usines de traitement durant la période 2013 à 2018 par rapport à leurs capacités à la réception des usines et aussi l'apports des forages dans les ALG.

- Pour l'usine de Keur Momar Sarr :

	Débit (m3/j) de réception	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembr	Octobre	Novembre	Décembre	DEBIT MOYEN (m3/j)
2 013	130 000	123 625	128 241	118 371	120 458	123 813	127 108	129 290	124 916	58 658	91 812	112 997	121 940	115 102
2 014	130 000	126 174	131 659	124 904	130 510	131 668	130 224	128 822	127 605	125 997	125 706	128 764	131 148	128 598
2 015	130 000	131 373	130 164	131 578	131 737	125 257	128 779	126 487	126 349	118 667	119 386	125 416	128 464	126 971
2 016	130 000	126 573	116 301	110 627	120 269	122 725	123 705	123 440	119 551	122 701	123 001	122 695	113 218	120 400
2 017	130 000	124 578	121 547	121 442	121 280	123 735	122 962	124 054	120 982	118 206	121 942	124 874	124 819	122 535
2 018	130 000	121 752	114 041	121 272	122 146	93 372	97 382	105 546	119 504	121 034	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	112 894

Tableau 2: Capacité de production de l'usine de KMS de 2013 à 2018

- Pour l'usine de Ngnuith :

	Débit (m3/J) de réception	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembr	Octobre	Novembre	Décembre	DEBIT MOYEN (m3/J)
2013	55 000	37 485	33 844	36 290	37 571	41 521	38 282	35 248	35 000	35 030	37 461	37 292	41 615	37 220
2014	55 000	37 134	33 446	37 019	34 724	34 062	38 163	37 274	36 882	39 835	39 286	38 541	38 087	37 038
2015	55 000	38 021	40 551	32 584	32 629	40 031	44 745	40 398	36 466	41 228	40 263	39 084	35 312	38 442
2016	55 000	38 636	36 966	45 684	41 182	37 537	41 085	40 572	41 426	40 785	39 335	38 772	41 866	40 320
2017	55 000	40 583	39 195	41 615	42 021	41 081	43 724	41 200	43 436	43 953	44 128	44 894	46 169	42 667
2018	55 000	47 098	46 246	48 234	49 881	56 274	57 479	51 793	48 298	47 560	#VALUE!	#VALUE!	#VALUE!	50 318

Tableau 3:Capacité de production de l'usine de Ngnith

- Pour l'apport des forages :

En plus de la capacité des deux usines, il y'a aussi l'apports des forages dans le réseau :
Les huit (08) forages de Mékhé injectent un débit de 43000 m3/jr sur l'ALG1
Les dix (10) forages du littoral Nord injectent un débit de 16000 m3/jr sur l'ALG2
Nous notons que la production des usines est toujours inférieure au débit de réception 55000 m3/jr pour l'usine de Ngnuith et 130000 m3/jr pour l'usine de KMS. Ce qui veut donc dire que nous allons considérer le débit de réception comme capacité de production des usines, car cela présente un cas de fonctionnement défavorable de production.

2. Analyse de la consommation- production

En comparant les capacités de production aux besoins en eau, l'étude de la modélisation de l'alimentation en eau de Dakar a mis en évidence une échéance de saturation. Que la capacité maximale de production permet de couvrir les besoins en saison sèche et les besoins moyens annuels jusqu'en 2020 au maximum.
La capacité de transfert des ALG en amont de Thiès est saturée depuis 2012 et de nouveaux forages ont été ajoutés pour augmenter la capacité de production. Mais l'étude du schéma directeur de la mobilisation des ressources en eau de la région de Dakar et la petite côte, menée par la SONES, montre que si rien n'est fait en termes d'augmentation de la production, le déficit de pointe de production va s'accroitre de manière exponentielle. Les résultats de l'étude indiquent que ce déficit atteindra 202.017 m3/j en 2025 et 390,888 m3/j en 2035.tout cela montre la nécessité d'augmenter la production afin d'assurer et de sécuriser l'alimentation en eau potables des populations.
De ce fait une troisième usine de production d'une capacité de 100000 m3/J est en phase de réalisation à Keur Momar Sarr et va permettre à la SONES de satisfaire les besoins en eau de la région de Dakar jusqu'en 2035.

3. La modélisation du réseau :

a) La Géométrie :

Les différents fichiers AutoCAD relatifs aux profils en long de la conduite de transfert ALG2 ont été réunis et géoréférencés. Le résultat de l'élaboration est un fond de plan de la conduite entre KMS et les réservoirs de Thiès. Les données concernant l'ALG2 sont importées en environnement SIG dans le logiciel de Calcul Mike Urban.la représentation graphique de l'ALG2 (figure 5) : usine de KMS à gauche et les réservoirs de Thiès à droite

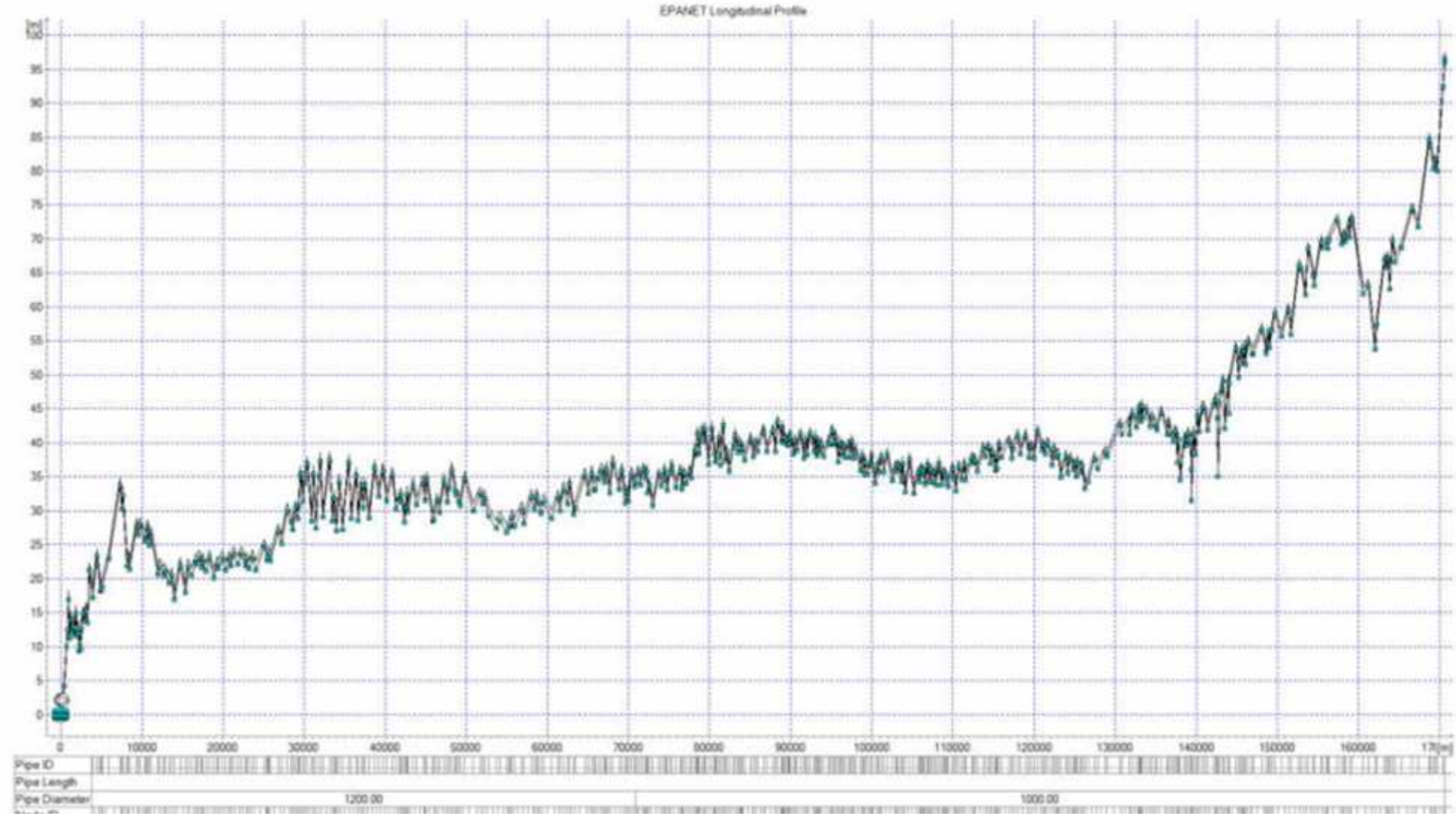


Figure 5: Représentation graphique de l'ALG2

b) Ossature et Simulation du réseau :

(1) Ossature du réseau :

Nous avons un ensemble de nœuds qui représente le réseau de transfert des usines de production jusqu'aux réservoirs de Thiès sur une longueur de 201 Km, dont certains nœuds représentent les raccordements au niveau des conduites fonte DN1200 et Fonte DN1000 pour ALG2, acier DN1000 et DN900 pour ALG2. Des nœuds fictifs mis en place afin de faciliter la simulation du réseau. Les autres nœuds sont des nœuds constitutifs de l'apport des forages dans le réseau

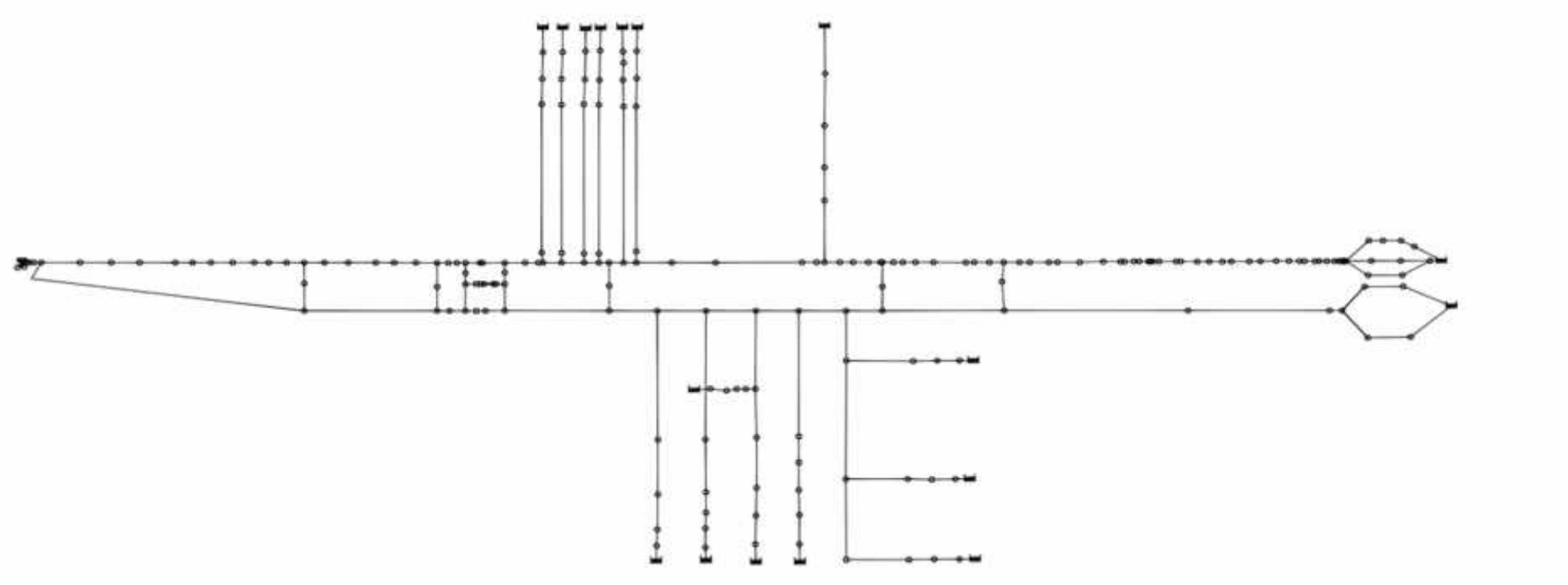


Figure 6: Ossature du réseau de Transfert du lac de Guiers jusqu'aux réservoirs de Thiès

(2) Simulation du réseau sur Epanet

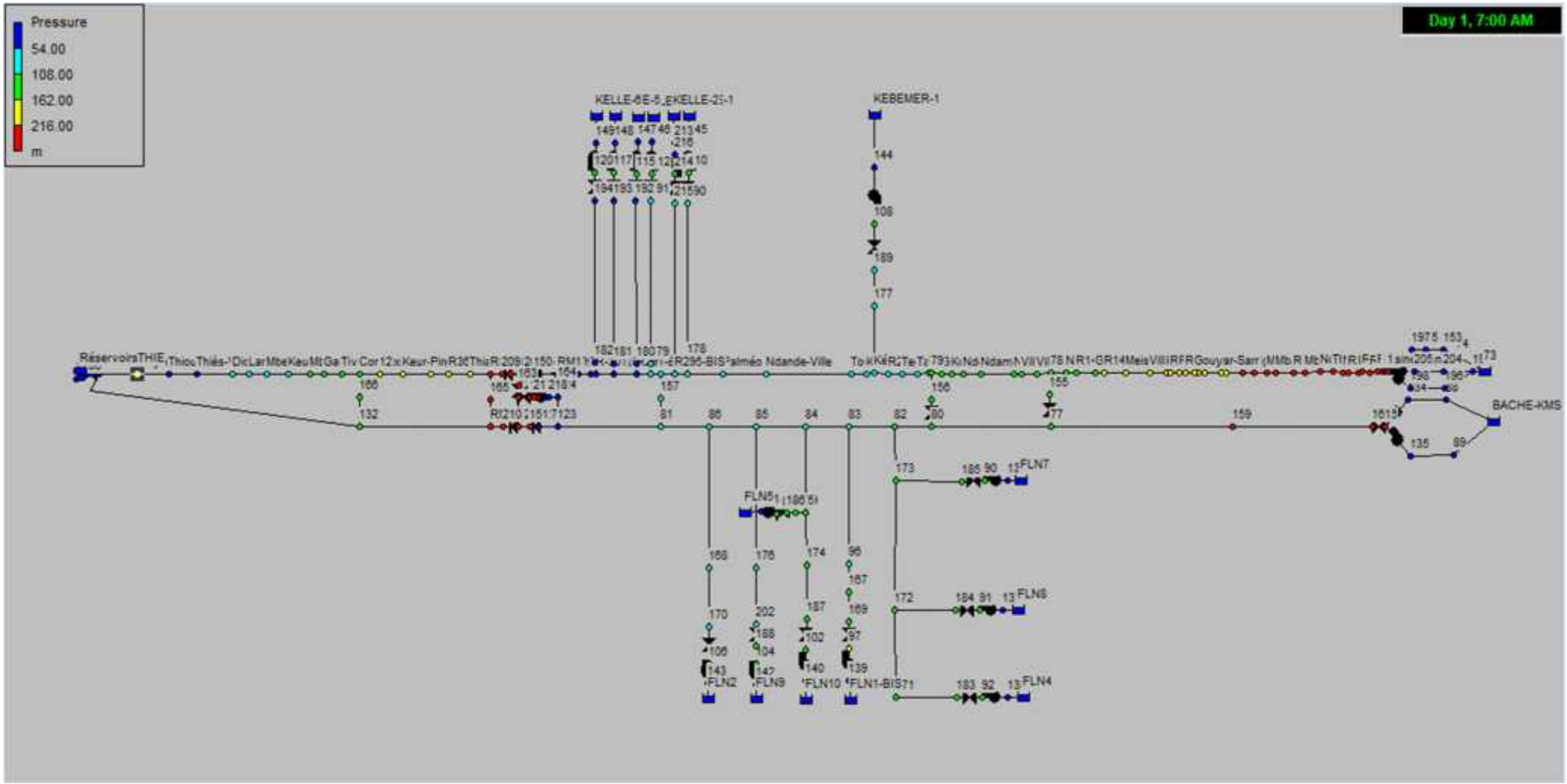


Figure 7: Simulation sur epanet pour vérification des pressions

Au niveau des différents tronçons du réseau, nous avons les pressions minimales requises pour une alimentation en eau conformément au fascicule 71, d'avoir une pression minimale de 1mce en tout point dans les canalisations. Et nous avons des pressions de 23 bars, 25 bars et 20 bars respectivement au niveau de KMS, Ngnith et au niveau du suppresseur de Mékhé conformément aux hypothèses de l'étude de base, qui vont être considéré dans l'étude du coup de bélier.

B. ÉTUDE DE LA PROTECTION ANTI- BELIER :

1. La valeur du coup de bélier :

L'arrêt des pompes peut être considéré comme le cas d'une fermeture brusque. Un arrêt brusque est caractérisé par un temps : $T = \frac{2*L}{c}$. Dans ce cas, la valeur absolue du coup de bélier devient plus importante, et a pour valeur :

$$b = \frac{c * V_0}{g}$$

Vo : vitesse de l'eau en régime permanent (m/s) ;

L : longueur de la conduite ;

b : valeur du coup de bélier (m).

La valeur de la surpression maximale en (m.c.e) dans la conduite est donnée par :

Hs = Ho +b

Et la valeur de la dépression maximale est donnée par :

Hd = Ho – b

Tel que Ho = HMT

Les valeurs de la surpression et de la dépression sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 4:Determination des valeurs de surpression sur le réseau

tronçons	L (m)	débits(m3	D (m)	Vo(m/s	Ho (m)	a	b	Hs (m)	Hd (m)	PN (bar)	PN +20%PN
SP1-P1	66	1,5	1,2	1,326291	230	1200	162,23745	392,2375	67,76255	25	30
P1- SM1	51	1,5	1	1,909859	230	1200	233,62193	463,6219	-3,62193	25	30
SP2- P2	47	0,6	1	0,763944	250	1300	101,23617	351,2362	148,7638	30	36
P2-SM2	102	0,6	0,9	0,94314	250	1300	124,98293	374,9829	125,0171	30	36
SM1-THIES	51	2,1	1	2,673803	200	1200	327,07071	527,0707	-127,071	25	30
SM2- THIES	51	2,1	0,9	3,300991	200	1000	336,4925	536,4925	-136,492	25	30

Les conduites sont de type PN30 pour l'ALG1, PN25 pour la conduite ALG2 et après le surpresseur de Mékhé, dans la pratique on majore de 10 à 30% la résistance de la conduite. On opte pour une majoration de 20% de la résistance des conduites, qu'on compare avec la valeur de la surpression (Hs).

D'après les résultats du tableau, on remarque que les valeurs de surpression pour les tronçons de l'ALG2 en amont du surpresseur de Mékhé dépassent la pression de service admissible, ceux de l'ALG1 sont inférieures à la pression admissible. Et à l'aval de Mékhé, nous notons que la valeur de la surpression dépasse la pression admissible dans les deux conduites. Mais le surpresseur de Mékhé dispose déjà un réservoir d'air pneumatique à vessie de 150 m3 pour sa protection et nous nous intéressons à la protection de l'usine de Keur Momar Sarr.

2. La protection des conduites de refoulement :

Pour la protection contre les coups de bélier, on propose comme moyen de protection, un réservoir d'air avec vessie, vu les avantages qu'il présente par rapport aux autres protections :

Tableau 5: Les différents types de Protection anti-bélier

Type de protection	Descriptions	Avantages et inconvénients
La cheminée d'équilibre	La cheminée d'équilibre est une cheminée construite sur un point haut du réseau. Elle sert de mise à l'air libre pour le réseau et l'eau s'y trouve à la pression atmosphérique. Si une dépression se produit, la cheminée aspire l'air, si une surpression se produit, la cote piézométrique augmente et de l'eau est déversée.	-Pas besoin d'énergie pour faire fonctionner ce dispositif -Peut être installé en combinaison avec d'autres -Demande du génie civil poussé pour être certain de sa résistance aux cyclones et tremblements de terre -Utilisable sur des conduites à faible dénivelée -Utilisable sur des réseaux à pression faible -Contact eau/atmosphère pouvant poser des problèmes de contamination
Le réservoir hydropneumatique à vessie	Il contient de l'eau et de l'air à la même pression. Quand les pompes s'arrêtent, l'air pousse l'eau dans la conduite, limitant	-Pas de contact air/eau, donc pas de perte d'air par dissolution -Pas besoin de compresseur,

	ainsi la chute de pression à des valeurs admissibles. Une vessie sépare l'air et l'eau dans le ballon. Il est possible d'installer plusieurs ballons pour atteindre un volume suffisant d'air	-Pas de risque de perte d'air vers la conduite - vérification trimestrielle du gonflage - peu de corrosion et de maintenance Vessies avec une durée de vie de 4 à 5 ans Investissement plus élevé que pour un ballon sans vessie Remplacement des pièces parfois difficile, donc couteux
Le réservoir hydropneumatique sans vessie	Il contient de l'eau et de l'air à la même pression. Quand les pompes s'arrêtent. L'air pousse l'eau dans la conduite, limitant ainsi la chute de pression à des valeurs admissibles. L'eau et l'air sont en contact dans le ballon. Possibilité d'installer plusieurs pour atteindre un volume suffisant d'air	-contact air/eau, donc perte d'air par dissolution, -nécessité d'un compresseur pour garder la quantité d'air constante -regonflage automatique grâce au compresseur Contact de la cuve avec de l'air et de l'eau, donc la corrosion implique plus d'opérations de remise en état (sablage, peinture) Investissement moins qu'avec vessie Cout élevé
L'anti- bélier à régulation d'air automatique	C'est un dispositif mixte combinant cheminée et ballon : quand la pression est faible, il est ouvert à l'atmosphère et « respire » comme une cheminée. Si la ligne piézométrique remonte, un clapet se ferme et emprisonne de l'air dans la partie haute	Pas de vessie Pas besoin de compresseur ou d'énergie électrique Appoint d'air automatique Lieu d'implantation, souvent un point haut peu proche de la station Contact eau/atmosphère pouvant poser des problèmes de contamination

La combinaison volant d'inertie/autres systèmes simples	Un volant d'inertie est une roue très lourde qui permet d'emmagasiner de l'Energie, et la pompe met un temps plus important pour arrêter de tourner, évitant ainsi la formation du coup de bélier par une décélération progressive. On peut combiner ce système avec une ventouse et un clapet de décharge.	Pas de contact eau/atmosphère, Ne demande pas d'énergie, Fonctionne automatiquement Ne peut se monter que sur des pompes horizontales de surface

3. Dimensionnement du réservoir d'air :

Pour le dimensionnement du volume d'air nous allons le faire avec la méthode des abaques de Puech- Meunier. Les résultats du dimensionnement sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 6:Détermination du volume nécessaire et la Pression de regonflage

tronçons	DELTA	H0 (m)	Ho*(m)	A	k	B	La depres.	WC (m3)	w0 (m3)	VU (m3)	Pg (m)
SP1-SM1	162,2375	230	240,33	0,675061	0,044913	0,2	69	74644,24	278,4627	288,8466	55,2
P1-SM1	233,6219	230	240,33	0,972088	0,044913	0,2	69	40055,31	309,8531	321,4075	55,2

Un réservoir de volume de 300 m^3 est suffisant pour satisfaire la protection des équipements du réseau de transfert de l'usine de KMS mais il faudra à l'avenir y associer des soupapes de décharge pour pouvoir diminuer la valeur du coup de bélier.

4. Détermination du diamètre du diaphragme :

L'étranglement des ballons anti bélier est important pour le bon fonctionnement des ballons. La réduction de pression résultant de l'étranglement peut entrainer des inconvénients que l'augmentation de pression. Dubin et Guerrau cité par l'encastre (Mar,2003) ont proposé l'expression suivante pour le diamètre de l'orifice avec une vanne à clapet.

$$d = \frac{D}{1{,}2 * \left(\frac{cS}{Q}\right)^{1/4}}$$

Ou d est le diamètre de l'orifice dans le clapet ; D diamètre de la conduite élévatoire ; c la célérité des ondes dans la conduite de section S avec son régime permanent Qo.

L'utilisation de l'abaque Dubin et Gueneau (voir annexe) pour les valeurs de A = 1 et B = 0,2

permet d'avoir la pression maximale au niveau du réservoir. Et avec aussi les abaques de Puech et Munier, Les résultats sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 7:Détermination du diamètre du diaphragme

A	B	K	KR	U(m/s)	Q (m^3/s)	W (m/s)	Q/W (m^2)	d1 (m)	d2(m)	d3(m)	d choisi
1	0,2	0,1	2,5	1,326291	1,5	61,37622	0,0247361	0,177468	0,166541	0,182333	0,5

Nous avons avec les différentes méthodes de calcul du diamètre, une valeur de d. mais nous allons choisir un diamètre de 500 mm pour le diamètre du diaphragme car le diamètre de liaison du ballon d'air avec la conduite de refoulement doit être environ la moitié du diamètre de cette dernière pour éviter la formation de tourbillon selon le cours de A. L. Mar 2003.

5. Technologie du réseau de connexion :

Les pièces de raccordement : Pour sécuriser les conduites, faciliter leur exploitation et leur gestion, certains équipements tels que les vannes de sectionnement, les ventouses, les vidanges sont nécessaires. Les coudes et les Tés seront positionnés aux points de changement de direction des canalisations pour l'élévation de la conduite de raccordement, ils seront de même diamètre que la conduite.

Les robinets-vannes : Ils sont placés sur le réseau afin de réguler ou stopper le débit de l'eau dans la conduite. Dans le cadre de ce projet nous allons mettre des vannes papillons qui sont conseillées pour des diamètre supérieur à 300mm.

Les ventouses : nous aurons besoin d'une ventouse pour l'évacuation d'air lors du remplissage ou de l'exploitation normale et l'admission d'air lors d'une vidange.

Le dimensionnement de la ventouse est fonction du débit d'air dans le raccordement suite à l'élévation de la conduite DN1200 sur la conduite élévatoire.

Les débits d'air normalement utilisés pour le dimensionnement de ces ouvrages sont fonctions des conditions de vidange et de remplissage de la conduite pour les gros orifices; aussi de la quantité d'air véhiculée par l'eau pour les petits orifices.

Dans ces conditions, les débits d'air des gros orifices pourront être pris égaux aux valeurs des débits maxima de l'eau écoulée et peuvent être calculés par la formule de Manning Strickler dont l'équation est la suivante :

$$Q = S * V = \pi * \frac{D^2}{4} * K_S * R^{2/3} * \sqrt{I} \quad (1)$$

Compte tenu des pertes de charge singulières importantes dans le cas d'une casse franche, ces dernières seront prises en compte et peuvent être calculées par la formule suivante :

$$\Delta Hs = K * V^2/2g$$

Avec K = 2 pour les raccords de tuyauterie à vitesse très irrégulière à la sortie p.ex. immédiatement après un coude, une robinetterie selon le manuel de détermination des pompes centrifuges de KSB.

Tout calcul fait, l'équation (1) devient :

$$Q = \left(21.8 * D^{\frac{8}{3}} * \left(\frac{H}{L} + \frac{V^2}{g}\right)\right)$$

Avec :

H = dénivelée (en m) ; L = longueur (en m) ; V = Vitesse d'écoulement en régime permanent et g = 9,81 m/s^2 ; D : le diamètre de la conduite en m ; Q = débit en m^3/s ;

Tableau 8: Dimensionnement de la ventouse

Diamètre (m)	H(m)	Longueur(m)	Vitesse(m/s)	G	Débit	CHOIX
1,2	3	60	1,32	9,81	35650,84	1 V200 et C200

Une ventouse de DN200 et un clapet d'air est nécessaire au niveau de la connexion des ballons d'air

Les vidanges :

Elles permettent de vider les ballons et la conduite de refoulement en cas de nécessité d'entretien et d'intervention. Ils existent deux types de vidanges : les vidanges à gueule bée qui sont généralement construites dans les talwegs et lorsque l'espace le permet et les vidanges en charge qui sont dans des regards à partir duquel l'eau est évacuée dans les systèmes d'assainissement.

Le diamètre des conduites de vidange a été calculé à partir de la formule des orifices suivante :

Avec $Q = \mu * S * \sqrt{(2gh)}$ avec $Q = V * t$

t = temps de vidange nécessaire pour vider complètement la conduite, à la vidange k = 3 nous aurons $t = \frac{\alpha * L}{c * A}$ pour le ballon anti-bélier

V = Volume du réservoir en m^3 ; s : Section de la vidange en m^2 ; µ : Coefficient de contraction pris égal à 0,6 ; g : Accélération de la pesanteur = 9.81 m/s^2 ; Q : débit en m^3/s. ; h : la différence de charge en le plan d'eau et l'entrée de l'orifice

Tableau 9:Dimensionnement des conduites de vidange

	Vidange du réservoir	**Vidange de la conduite**
Volume réservoir (m^3)	50	3958,4
Temps de vidange (h)	0,069	2
Débit (m^3/s)	0,20	0,55
Coefficient de contraction	0,6	0,6
Dénivelé (m)	2,5	10.5
Section vidange (m^2)	0,038	0,0638
Diamètre de la vidange (m)	0,21998197	0,285
Choix du diamètre commercial (mm)	**250**	**300**

Pour les vidanges nous allons mettre des conduites en fonte DN 250 pour la vidange de chaque ballons anti-bélier avec des sorties de regards DN 300.

Pour les regards de visites : pour les regards de visites du système d'assainissement un diamètre de 1 mètre, des profondeurs variant en fonction de la conduite d'arrivée de l'eau de vidange et une épaisseur de 15 cm seront choisis car soumis seulement aux poussées de terre.

C. ETUDE DES OUVRAGES DE GENIE CIVIL

Les ouvrages de génie civil à réaliser pour le projet sont les massifs de butée, la chambre de manœuvre, la galerie de connexion des ballons, les supports des ballons et la semelle de fondation des supports.

1. DIMENSIONNEMENT DES SUPPORTS ET RADIERS DES BALLONS

a) Les supports des Ballons :

Les supports étudiés sont des poteaux situés au niveau de chaque pied d'un ballon, ils seront espacés de 8 m entre l'axe d'un ballon et 2,5m entre les ballons dans le sens de

l'alignement et auront une longueur de 3,10m. Ils seront soumis aux charges transmises par le ballon et leur poids propre. Nous avons pré dimensionné la section du support et dimensionné les armatures suivant l'organigramme de dimensionnement d'un poteau ci-dessous :

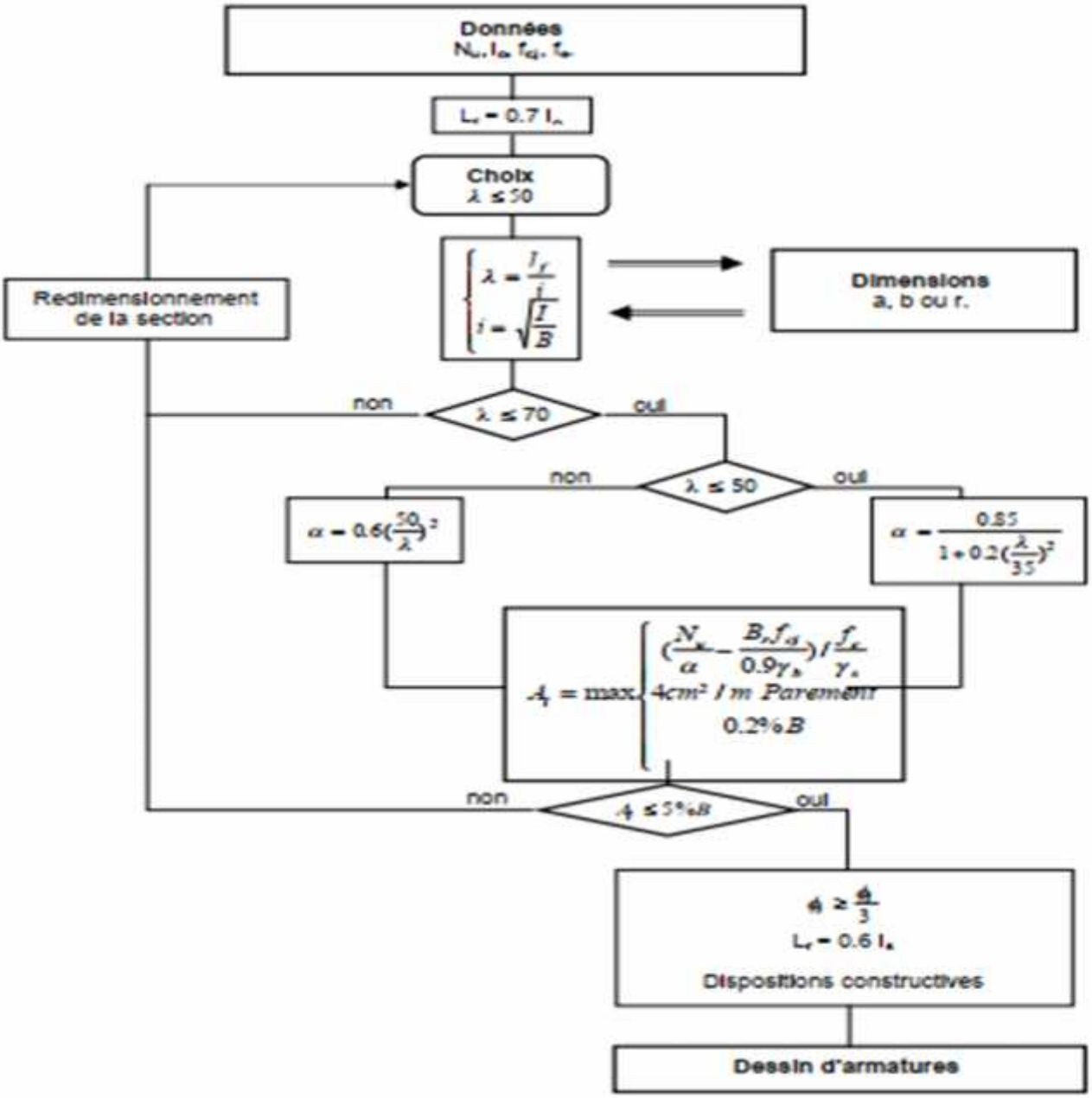


Figure 8: Organigramme de dimensionnement du poteau

Le résultat du dimensionnement est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 10:Dimensionnement des supports des ballons

Données				
Dimensions du poteau	Grand côté du poteau	**H =**	**2,5**	**m**
	Petit côté du poteau	**B =**	**1,5**	**m**
Longueur		Lo =	3,1	m
Effort ultime	1,35 NG + 1,5 NQ	Nu =	800,235	KN
La charge sur poteau		Nu/2	400,118	KN
Résultats				
Section théorique d'acier	[(Nu / a) - ((Br x Fc28) / 1.35)] x (1.15 / Fe)	Ath =	-0,1876	cm²
Section maximale d'acier	(5 % B)	A.maxi =	100	cm²
Section de calcul minimale	maxi (0.2 % B; 4 x u; Ath)	Asc =	75	cm²
Control : Asc < A.maxi		**Contrôle :**	**Vérifié**	
Diamètre des armatures comprimées		fl =	16	mm
Nombre d'acier			24	
Diamètre des aciers transversaux	ft < (fl / 3)	ft =	8	mm
Espacement des aciers transversaux	Si Ath < Asc : St = mini (a+10 cm ; 40 cm)			
Jonctions par recouvrement		Lr =	43	cm
Dispositions constructives				
Espacement maxi des aciers comprimés	Esp < (a +10 cm)		Vérifié	40 CM
Armatures longitudinales	Rapport B/A >1,1 =>> Asc à placer le long de b		Vérifié	

Choix : poteau de 2 m * 1 m armé avec HA 16 en acier principaux et HA 8 esp 40 cm pour les aciers transversaux.

b) Le radier General des ballons :

En fonction des données du terrain et de la taille des semelles pour chaque support des ballons anti-bélier, dans le cas d'une semelle isolée pour chaque support, un radier général est plus

adapté pour ce projet de dimensions sur l'étendue du terrain disponible pour la pose des ballons Ci-dessous le résultat du dimensionnement du radier :

Tableau 11:Dimensionnement du Radier du supports des ballons

DIMENSIONNEMENT DU RADIER DES SUPPORTS DES BALLONS			
Fissuration	FPP		
Effort normal	Nu (MN)	11,8926	
Contrainte admissible du sol	σa (MPa)	0,28	
PREDIMENSIONNEMENT			
Section minimale	Smin (m2)	59,463	
Coté pour semelle carré	a (m)	7,71122558	
Forme et dimension choisies			
Type de fondation	Rectangle		
Largeur	Lx (m)	15	
Longueur	Ly (m)	35	
Section réelle	S (m2)	525	
Rapport des portées	A	0,42857143	
Le radier porte sur deux sens			
Épaisseur	Panneau	Dalle continue	
	emin (m)	0,375	
	e choisie (m)	0,4	
Volume	V (m3)	210	
Poids propre radier	Pp (MN/m2)	0,01	
Charge venant des ballons	Q1 (MN/m)	0,02265257	
Charge total	Pu (MN/m2)	0,03615257	
	Mx	0,0368	
	My	1	
Moment au centre	Mox (MN.m)	0,29934329	
	Moy (MN.m)	0,29934329	
Flexion simple			
	Moment sollicitant	Mu (MN.m)	0,29934329
	Base	b (m)	1,000
	Hauteur	h (m)	0,4
	Hauteur utile	d (m)	0,36
	Moment ultime du béton	μ (MN.m)	0,13586751
PAS D'ACIER COMPRIME			
Section d'acier		αu	0,18326946
		z (m)	0,3336092

	Section d'acier	As (cm2)	20,6376076
	Section d'acier minimale	Asmin (cm2)	2,4
	Section retenue	As (cm2)	20,6376076
			10,3188038
	Acier choisi	**2HA25**	**9,24**
	Espacement		40

Pour la fondation un radier général sur toute l'étendue de la surface de pose des ballon (35m* 15m) est nécessaire, d'épaisseur de 40 cm avec des armatures en double nappe de HA25 espacement 40 cm

c) L'ancrage des ballons anti-bélier :

Nous avons dimensionné l'ancrage des ballons sur les massifs de support en considérant comme charge le poids à vide du ballon et le volume d'eau considérée. L'assemblages sur les massifs : 4 platines, 2 réservations M26 par platine

Chevillage chimique Hilti Re500 par tiges filetées M20

Ancrage dans le béton 30cm

2. LES REGARDS :

Nous aurons besoin d'une chambre de manœuvre au niveau de la vanne de connexion de la conduite de refoulement avec les ballons. Et une galerie au niveau de l'assemblage des six ballons. Ces ouvrages seront dimensionnés comme étant des réservoirs semi- enterrés vide soumis aux forces de poussée des terres et serviront de support et de butées pour les équipements.

a) La dalle de couverture :

Elle ne supporte que son poids propre et la charge d'entretien. Elle sera une dalle pleine en béton armé. La dalle sera reposée sur les parois sur les côtés.

Soit l_x la longueur dans le sens de la plus petite portée et l_y la longueur dans l'autre sens. L'épaisseur ho de la dalle est obtenu de sorte que :

$$h_0 = (\frac{l_x}{50}; \frac{l_x}{40})$$

Suivant la valeur du rapport $\alpha = \frac{lx}{ly}$ on distingue deux cas pour le calcul des dalles pleines

Pour $0.4 \leq \alpha \leq 1$, la dalle va fléchir dans chacune des portées lx et ly. En supposant que la dalle repose librement sur son pourtour, on obtiendra les moments fléchissant (Mox et Moy)

pour chaque portée lx et ly, et les moments max au milieu. Ainsi, les moments de flexion par unité de longueur au centre de la dalle valent :

$\text{Mox} = \mu_x * \text{p} * lx^2$

$Moy = \mu_y * \text{Mox}$

$p = G + Q$ à l'ELS

Avec G le poids propre de la dalle et de l'étanchéité et Q la charge d'entretien.

Les valeurs de μ_x et μ_y sont obtenues en fonction de α.

Connaissant les moments maximaux au niveau des travées, le ferraillage se calcule comme celui d'une poutre rectangulaire en flexion simple dans chaque direction.

Tableau 12: Dispositifs constructifs des armatures

Dispositifs constructif	
Armatures	$\Phi_{lmax} \leq \frac{h_0}{10}$
	Esp = min (1.5h ; 20 cm) En fissuration très préjudiciable avec $\Phi \geq$ 8mm
	Pour $\Phi \geq 6$
Conditions de déformation	$\begin{cases} \frac{h_x}{l_x} \geq \frac{1}{20} \\ \frac{Ax}{bo.d} \leq \frac{2}{fe} \end{cases}$ pour satisfaire la condition de deformation
Condition de non poinçonnement	Pas de charge ponctuelle, donc pas de vérification
Vérification à l'effort tranchant V_u	$\begin{cases} \text{largeur } b \text{ de la dalle} \geq 5h_0 \\ \tau_u = \frac{V_u}{b_0.d} \leq 0.07 * \frac{f_{c28}}{\gamma_b} \end{cases}$

b) Les Parois :

Deux méthodes de calculs sont utilisées pour le dimensionnement des réservoirs rectangulaires : la méthode des tranches verticales et la méthode des tranches horizontales. La méthode de calcul utilisée dans ce cas sera celui des tranches horizontales. Cette méthode consiste à diviser le réservoir en des tranches de 1m de hauteur soumis à la

pression des poussées de terre. Pour la détermination des sections d'acier les combinaisons d'actions à considérer sont : Le réservoir vide avec poussée des terres

Elles seront donc dimensionnées en flexion composé avec la résultante des efforts normaux lorsque le réservoir est vide.

Les parois sont soumises par :

- L'effort normal de compression due à la poussée des terres (réservoir vide) :

$$N_{ai} = \frac{q_i * b}{2} \; et \; N_{bi} = \frac{qi * a}{2}$$

- Le moment de flexion aux angles et les travées.

✓ Aux angles : $M_a = \frac{qi*(a^3+b^3}{12\,(a+b)}$

✓ En travée : $Mt_a = \frac{qi*a}{8} - M_a \; et \; M_{tb} = \frac{qi*b}{8} - M_a$

Mta est le moment en travée dans la paroi de la plus petite dimension et Mtb moment en travée de la plus grande dimension.

Avec qi la résultante de la charge due au poids des terres sur la paroi.

La poussée des terres à la base de la tranche terre $q_{terre} = \gamma_{terre} * h$ avec h la hauteur des terres sur les parois.

Pour le dimensionnement des parois :

On calcul l'excentricité e : $e_0 = \frac{M_{tc}}{N_{tc}}$

Si eo > d – 0,5ho la section de béton partiellement tendu sinon la section est entièrement tendue

On calcule le moment fictif Mserfictif par rapport à l'acier tendu $\boldsymbol{Mserfictif = Nser \times eA}$

avec $eA = e - (d - 0.5h)$

Nous continuons les calculs comme celui d'une poutre rectangulaire de section ho* bo (bo= 1m) en utilisant le moment fictif comme moment de dimensionnent

c) Les Appuis :

Les appuis supportent leurs poids propres et les charges provenant de la dalle de couverture. Le calcul des aciers aux appuis se fait en flexion simple. On compare ensuite le moment en appui au moment résistant.

Après cette vérification, les sections d'acier à calculer sont Astp (acier principaux), Astr (acier de répartition) et Astmin (section d'acier minimale) et ho> 15cm des armatures en double nappes.

Pour des raisons d'uniformité (disposition constructive) bien que n'étant pas économique, nous avons choisi de mettre le dimensionnement maximal sur les différentes tranches dans toute la hauteur :

Tableau 13: Résultats du dimensionnement des parois des regards

Regards	Portée	Épaisseurs (cm)	Armatures principaux	Armatures de répartitions par nappe
Chambre de manœuvre (8*5*5)	Petite portée	40	HA 12 esp 20cm	HA 10 esp 10 cm
	Grande portée	40	HA 14 esp 12 cm	
	Appuis	(100*40)	HA 20 esp 20 cm	
Galerie (10*6* 3)	Petite portée	40	HA 12 esp 17cm	HA 10 esp 11 cm
	Grande portée	40	HA 14 esp 11 cm	
	Appuis	(100*40)	HA 20 esp 12 cm	

d) Le Fonds des regards :

Le fond est un radier et supporte toutes les charges depuis la dalle de couverture du regard. Nous avons la contrainte admissible du terrain 0,28 MPA. Le résultat du dimensionnement montre que la capacité portante du sol étant supérieure à l'influence du poids propre du radier sur le sol, il sera dimensionné comme une dalle renversée qui supporte l'ensemble des charges transmis depuis la dalle de couverture.

Tableau 14:Dimensionnement des fonds des regards

Action de l'ouvrage sur le sol	**chambre de manœuvre**	**galerie**	**unité**
h_0= (l_x/40;l_x/50)	**0,35**		
longueur l_x	**10**	8	m
longueur l_y	**6**	5	m
Poids propre de la dalle de couverture	**0,23**	**0,15**	MN
Charge d'entretien sur la dalle de couverture	**0,06**	**0,04**	MN
Charge de la paroi et des poteaux sur le radier	**0,42**	**0,65**	MN
L'épaisseur du radier h_0	**0,4**	0,4	m
Poids propre du radier	**0,6**	**0,4**	MN
Le poids propre du radier, celui du liquide et de la paroi	**0,03**	**0,04**	MN/m^2
Capacité portante du sol	**0,28**	0,28	MN/m^2

Nous allons mettre des HA 25 espacé de 20 cm par nappe et dans chaque direction pour les deux regards.

Si dessus la synthèse du dimensionnement de la chambre de manœuvre et de la galerie :

Tableau 15:Synthèse du dimensionnement des regards

Eléments	Dimensions	Ferraillage sur une tranche de 1 m
Dalle de couverture (10*6*5)	**e = 0,15 cm (double nappe d'armatures)**	**Sur la petite portée HA 8 esp 13 cm** **Sur la plus portée HA 8 esp 20 cm**
Dalle de couverture (8*5*5)	**e = 0,15 cm (double nappe d'armatures)**	**Principaux HA 8 esp 20 cm** **Répartition HA 8 esp 18 cm**
Paroi pour (10*6*5)	**e = 0,35 cm (double nappe d'armatures)**	**Petite portée HA 12 esp 20 cm** **Grande portée HA 14 esp 12 cm** **Répartition HA 10 esp 10 cm**
Paroi pour (8*5*5)	**e = 40 cm (Double nappe d'armatures)**	**Petite portée HA 12 esp 20 cm** **Grande portée HA 14 esp 12 cm** **Répartition HA 10 esp 10 cm**
Appui des parois	**100cm × 40cm (Double nappe d'armatures)**	**HA 20 esp 12 cm (galerie)** **HA20 esp 20 cm (chambre de man.)**
Radier	**e = 40cm (Double nappe d'armatures)**	**Principaux HA 25 esp 20 cm** **Répartition HA 25 esp 20 cm**

3. LES MASSIFS DE BUTEE

Les massifs de butée permettent de protéger les conduites contre les poussées de l'eau contre les éclatements de la conduite. Les efforts résultants de la poussée du fluide véhiculé peuvent être extrêmement importants et tendent à déboîter les éléments de la canalisation. Pour éviter des incidents graves, il est indispensable de mettre des butées au niveau des changements de directions de la conduite.et pour protéger les joints au niveau de la vanne de sectionnement au niveau de la chambre de manœuvre de KMS contre les poussées de l'eau provenant du refoulement de l'usine de Ngnith vers le refoulement de KMS (environs 15 bars) en cas de fermeture de la vanne de sectionnement au niveau de KMS pour une intervention dans l'usine. Cette virole sera un massif en béton qui va stabiliser la conduite de refoulement à la sortie du regard.

Pour le dimensionnement des butées, il est donc aisé de calculer le volume de béton à

mettre en œuvre qui évitera tout déboitement des éléments de canalisation :

$$V = \frac{F}{f * \rho}$$

V : volume de béton à mettre en œuvre en m^3

F : poussée de l'eau calculé en daN (té et plaque pleine DN1200= 12370 daN/ bar)

f : coefficient de frottement entre béton et le terrain est de 0,58

φ : masse volumique du béton en Kg /m^3 (2100kn/m^3)

Tableau 16:Résultats dimensionnement des massifs de butée

Massif de butée	Plaque pleine (m)	Té DN1200 (m)	DN 1200 (m)
H	4	4	3
L	4	4	5
l	4	4	5

D. L'ETUDE FINANCIERE DU PROJET :

L'étude financière de ce projet permettra de faire une comparaison par rapport au coût de réalisation du projet, qui est aussi un paramètre d'évaluation d'un projet. Il s'agit de faire le métré du projet.

Le cout du projet est passé initialement de 1 454 641 922 à 1 539 271 337 FCFA. Ce qui se justifie par les changements apportés sur l'étude de base de la protection.

E. ETUDE IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU PROJET :

Les éléments du milieu récepteur d'impacts susceptibles d'être affectés par le projet sont :

- Le milieu biophysique (air, bruit, eaux, déchets, végétation et faune)
- Le milieu humain (santé, sécurité, emploi, économie, commerce,

1. Les impacts positifs du projet :

Plusieurs retombées positives sont envisageables dans le cadre de la mise en œuvre de ce projet. Elles seront perceptibles autant en phase de réalisation des travaux que durant l'exploitation des installations hydrauliques.

- **En phase de réalisation des travaux** :

Les impacts positifs du projet sont principalement d'ordre économique et social. Le projet présente une capacité de recrutement de main d'œuvre qualifiée et non qualifiée.

- **En phase d'exploitation :**

Les impacts positifs du projet seront plus perceptibles en phase de fonctionnement et d'exploitation des installations hydrauliques prévues. Les principales retombées positives du projet sont la sécurisation des ouvrages du réseau de transfert, la régularité de l'approvisionnement et la réduction significative des arrêts de service qui participeront à réduire la tension sociale lourdement exacerbée par le déficit en eau dans la région mais également les dépenses des ménages, qui sont obligées de recourir à l'achat de l'eau via des prestataires privés pour consommer une eau de qualité.

2. Les impacts négatifs du projet :

- **En phase d'installation de chantier** :

Les impacts suivants pourraient survenir :

La pollution du plan d'eau par les déchets solides, hydrocarburés et les eaux usées ;

La propagation de matières en suspension sur le plan d'eau et dans les bassins de décantation et de filtration de KMS qui ne sont pas couverts,

La dégradation du couvert végétal,

L'exposition du personnel à des risque d'explosion de gasoil

Pour mitiger tous ces impacts, il conviendra de prendre des mesures d'atténuation spécifiques pour l'aménagement de la base de vie de l'entreprise.

- **En phase de réalisation des travaux**,

Les impacts potentiels sont les suivants :

- Contamination des sols : les risques contamination des sols par des fuites d'hydrocarbures qui pourront être facilement atténués par l'observation stricte des règles de gestion de la machinerie
- La pollution atmosphérique avec le soulèvement de poussières pendant des mouvements des engins. Elle sera localisée au site des travaux et peut être atténuée par les mesures d'humidification des sites
- Production de déchets : les travaux de débroussaillage, de désherbage, de libération et de préparation de la plateforme de pose, les travaux de fouille, de terrassement, de décapage produiront des quantités de déchets significatives. Ces déchets peuvent être de différentes natures. Les mesures d'atténuation préconisées sont les suivantes :

- Réutilisation des déchets propres comme matériaux de remblais
- Acheminer les déchets non réutilisés en décharge
- Aménagements de bacs à ordures dans le chantier
- Nettoyage et remise en état des sites de travaux
- Contracter avec une société pour la récupération des huiles et cartouches usagées

- Nuisances sonores : la phase de réalisation des travaux engendrera, sans nul doute, des nuisances sonores particulièrement pour le personnel de chantier et le personnel exploitant de l'usine de traitement de KMS. Les nuisances sonores seront causées par le matériel (grue, installations de sciage, générateurs, matériels roulants, groupe électrogène…). Le bruit et les vibrations associés au projet se remarqueront principalement lors des étapes suivantes :

- Les travaux de vibro-fonçage,
- La préparation des fondations et déchargements du béton
- Le déplacement des engins de construction
- Le fonctionnement des groupes électrogènes

Les mesures d'atténuation suivantes seront préconisées :

- Choisir les équipements qui respectent la limite de 85db à 01 mètre
- Port de casque antibruit pour le personnel de chantier et le personnel exploitant
- Planifier les heures de ravitaillement du chantier
- Entretenir les outils pneumatiques, les machines et équipement pour maintenir le niveau de bruit généré à une valeur acceptable

- Risque d'accidents, des accidents impliquant des populations sont à craindre si les mesures de règlementation de la circulation ne sont pas prises. Les personnels des entreprises sont aussi exposés à des risques d'accidents avec la conduite des engins lourds, la manipulation d'outils parfois tranchants et de produits inflammables. Ces accidents sont surtout à craindre pour le personnel recruté localement souvent inexpérimenté et parfois inconscient des dangers qui existent dans les chantiers.

- **Impacts négatifs en phase d'exploitation des ouvrages réalisés par le projet :**

- Les conflits sociaux ; les consultations publiques menées auprès des populations de Keur Momar Sarr ont montré le faible taux d'accès à l'eau potable de la commune malgré la présence de l'usine qui fournit 40% des besoins en eau de la région de Dakar. Cette situation est vécue par les populations comme un manque de considération.
- Accidents Professionnels : plusieurs types d'accidents professionnels sont probables en phase d'exploitation de l'usine de traitement de Keur Momar Sarr parmi lesquels, nous pouvons notamment citer les accidents liés aux manutentions et à la circulation des engins.
- Inondations des ouvrages : L'unité de traitement de Keur Momar Sarr pourrait être exposée à des inondations en cas de casse de la conduite ALG2. En effet, nous notons que la pression de la conduite au départ de l'usine est très élevée et atteint souvent le 23 bars soit une hauteur de 230 mètres. Un éclatement de la conduite pourrait fortement inonder l'usine et affecter les ouvrages de traitement de l'eau et mettre hors service la station. Comme solution d'atténuation :
    - Balisage des zones à risque

VI. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS :

Cette étude de la protection anti-bélier de l'usine de traitement de Keur Momar Sarr consiste à améliorer la sécurisation des ouvrages hydraulique de l'usine suite aux nombreuses réparations du réseau de transfert survenues ces derniers années. La réalisation de ce projet va permettre la régularité de l'approvisionnement et la réduction significative des arrêts de service. Elle est constituée d'une étude hydraulique de la protection suivie de l'étude génie Civil pour sa faisabilité.

A l'issu de l'étude hydraulique, un audit du réseau de transfert a été fait pour pouvoir évaluer la saturation et les limites du réseau. Et par rapport à la saturation du réseau, il y'a deux projets de construction d'usines de production d'eau (usine de dessalement et KMS3) en cours de réalisation, qui vont permettre de satisfaire la demande jusqu'à l'horizon 2035. Ensuite en ce qui concerne la protection anti bélier du réseau de transfert, la nécessité d'un réservoir de 300 m3 pour remplacer les 3 ballons de 50 m3 existants, le choix est porté sur des ballons anti-bélier pneumatique à vessie associé entre eux.

Les ouvrages de génie civil pour la stabilité et la protection des ouvrages sont : des supports au niveau de chaque pieds du ballon et un radier général, une chambre de manœuvre pour la vanne de sectionnement du réseau, une galerie au niveau de l'assemblage des six ballons de 50 m3 chacun et les massifs de butée à mettre en place contre les forces de poussée de l'eau au niveau des changements de direction et sur la conduite de transfert à sortie de la chambre de manœuvre pour la protection des joints au niveau du regards contre les retour de l'eau de l'usine de Ngnith lorsque KMS est à l'arrêt (15 bars).

Les recommandations sont les suivantes :

- Une meilleure gestion des équipements du réseau et des ballons.
- La mise en place d'un système de télégestion complet au niveau des ballons.
- La protection cathodique de la conduite en acier à la sortie de la station de pompages.
- L'association du réservoir anti-bélier à des soupapes de décharge entre le suppresseur de Mékhé et l'usine de KMS qui vont permettre d'atténuer la valeur du coup de bélier sur le réseau.

VII.BIBLIOGRAPHIE

[1] Blindu, Igor. 2004. « Outil d'aide au diagnostic du réseau d'eau potable pour la ville de Chisinau par analyse spatiale et temporelle des dysfonctionnements hydrauliques ». Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne ; Université Jean Monnet-Saint-Etienne. https://hal-sde.archives-ouvertes.fr/tel-00779032/.

[2] Florent Guhl. « Guide méthodologique d'étude anti- bélier pour les réseaux d'eau ». FNDAE n° 27 document technique.

[3] La Houille blanche « l'étude des coups de bélier dans les canalisations métalliques sous pression ».

[4] B. SALAH, A. KETTAB, F. Massouh. 2003. « coup de bélier dans un réseau ramifie enterre en refoulement »

[5] MAATAR YOUNECE.2002. « Etablissement d'un programme de simulation des phénomènes transitoires dans les conduites ». Mémoire de fin d'études Université de Batna

[6] Boudina Soufyane, Bouciouf A. « étude de la chaine d'adduction du cinq communes de bordj bou Arréridj à partir du barrage de Tichi-haf ». Mémoire de fin d'étude. Université Abderrahmane MIRA de bejaia.2015

[7] Beffaga Cisse. 2016. « Modélisation et simulation du régime transitoire dans le cadre du projet Aep Abidjan sud (en phase II) : cas d'application du Logiciel CEBEMAIL ». Mémoire de fin d'étude institut international de l'eau et de l'environnement.

[8] Wendzoodo A. pélagie Yanogo.2016. « Sécurisation durable du service en la ville de Tenkodogo » mémoire de fin d'étude. Institut d'ingénierie de l'eau et de l'environnement

[9] A. L. MAR 2003. « Cours d'hydraulique, T1 : écoulements en charge ». EIER

[10] Samy Lebelle « l'essentiel du béton armé selon le BAEL91 additif 99, partie 3 : calcul d'ouvrage ». Mise à jour : janv.-2013

[11] AMARA LYES.2013. « Modélisation et simulation numérique des écoulements transitoires en charge par la méthode des volumes finis ». Mémoire de fin d'études université Bejaia

[12] Studio Galli Ingegneria « audit technique des installations hydrauliques destinées à l'alimentation en eau de Dakar-Sénégal)

[13] ANSD « situation économique et sociale régionale 2015 de la région de Louga » édition 2016

[14] Désirée Soubeiga.2016. « Conception et dimensionnement du système d'alimentation en eau potable simplifié (AEPS) de la localité de boulsin au Burkina Faso ». Mémoire de fin d'étude

VIII. ANNEXES :

Annexes 1 : devis estimatifs des travaux du projet

DESCRIPTION DES TRAVAUX	UNITE	QUANTITE	PRIX UNITAIRE	MONTANT	Quantités	MONTANT	MONTANT
		Marché de base	FCFA HT/HD	Marché de base FCFA HT/HD	Projet d'exécution	Projet d'exécution FCFA HT/HD	Projet d'exécution FCFA HTVA
KMS: TRAVAUX DE MISE AU NIVEAU DU SYSTEME DE PROTECTION ANTI-BELIER A KMS							
Frais généraux							
Installation et repli de chantier							
Kms	Ff	1	39 371 488	39 371 488	1,00	39 371 488	39 371 488
Travaux préparatoires pour l'exécution des travaux - dossier d'exécution							
Kms	Ff	1	7 684 049	7 684 049	1,00	7 684 049	7 684 049
Essais d'étanchéité des ouvrages en BA, lavage et désinfection des conduites							
Kms	Ff	1	13 598 277	13 598 277	1,00	13 598 277	13 598 277
Plan Assurance Qualité (PAQ)	Ff	1	242 974	242 974	1,00	242 974	242 974
Fourniture et mise en œuvre de nouveaux ballons anti-béliers							
Nettoyage, débroussaillage, dessouchage, décapage et nivellement,							
chambre de manœuvre							
20,00 * 10,00	m²	200	1 405	281 000	-	-	-
Dalle de fondation anti-bélier							
(15,4 + 6) X (35 + 6)	m²	1125	1 405	1 580 625	877,40	1 232 747	1 232 747
Fouille en pleine masse et remblai en terrain plan ou incliné pour fondations d'ouvrages							
Dalle de fondation anti-bélier	m³						
18,4 X 38 X 3	m³	357	3 200	1 142 400	2 097,60	6 712 320	6 712 320
(3,00+9,00+3,00) * 6,00 * 2,70	m³	243	3 200	777 600		-	-
Fourniture et mise en œuvre d'un béton de propreté							
Dalle de fondation anti-bélier							
15,5 X 35 X 0,10	m³	95,94	206 528	19 814 296	53,90	11 131 859	11 131 859
	m³	4,06	206 528	838 504	-	-	-
Fourniture et mise en œuvre d'un béton armé pour fondations							-
Dalle de fondation anti-bélier							-
15,4 * 35 * 0,30	m³	400	255 123	102 049 200	161,70	41 253 389	41 253 389

butée (59,84)			120 000	-	59,84	12 358 636	12 358 636
Fourniture et mise en œuvre de béton pour élévations							
Pied de soutient des ballons anti-béliers							
(12) * 1,00 * 2,50 * 3,10	m³	80	303 718	24 297 440	139,50	42 368 661	42 368 661
F & P DE BETON ARME EN ELEVATION CHAMBRE DE VANNE	m³		303 718		38,35	11 646 674	11 646 674
F & P D'ESCALIER	M				13,20	1 320 000	1 320 000
PIECES HYDRAULIQUES KMS:							
Travaux de connexion/déconnexion aux tuyaux existants				-			
500 < DN < 1000	Ff	1	6 116 868	6 116 868	1,00	6 116 868	6 116 868
Fourniture et pose de tuyaux en fonte ductile BB PN 25							
DN 1200							
1 * 50,00	M	50	862 480	43 124 000	29,28	25 253 414	25 253 414
Fourniture et pose de vannes papillon à brides PN25							
DN 1200							
	U	2	17 674 694	35 349 388	2,00	35 349 388	35 349 388
Fourniture et pose de joint de démontage autobuté en fonte à 3 brides PN25							
DN 800	U	6	2 561 486	15 368 916	-	-	-
DN 500	U	0		-	6,00	13 789 062	13 789 062
DN 1200							
	U	2	5 164 485	10 328 970	5,00	25 822 425	25 822 425
Manchette d'ancrage dans butée béton à bride							-
DN1200	U	1	3 449 917	3 449 917	-	-	-
Fourniture et pose de Té BB PN 25						-	-
DN1200/800	U	6	1 943 196	11 659 176	-	-	-
DN1200/500	U	0		-	6,00	7 488 036	7 488 036
DN500/250	U	0		-	6,00	5 702 046	5 702 046
Fourniture et pose de coudes BB PN 25							
DN 800	U	12	2 208 177	26 498 124	-	-	-
DN 500	U	0		-	12,00	21 600 000	21 600 000
Fourniture et pose de plaque pleine PN 25						-	-
DN1200	U	1	953 933	953 933	1,00	953 933	953 933
Fourniture et pose d'un joint diélectrique DN 1200	U	0	3 850 023		1,00	3 850 023	3 850 023
Construction de regard de visite en béton armé (CHAMBRE DE MANŒUVRE POUR CONNEXION EN TE) VOLUME (5,6x8,6x5,55=267,3m3)							
de 100,01 m³ à 140,00m³	U	1	5 910 170	5 910 170	-	-	-
9,00 x 6,00 x 2,00m							-
Béton de Propreté	m³		206 528		25,10	5 184 679	5 184 679
Béton Armé fondation	m³		255 123		72,05	18 381 612	18 381 612
Béton armé élévation	m³		303 718		39,22	11 913 035	11 913 035

butée				-	59,84	12 358 636	12 358 636
F & P D'ESCALIER	U		100 000		10,10	1 010 000	1 010 000
F & P DE COUVERTURE TRAPE DE VISITE	U		100 000		2,00	200 000	200 000
							-
Fourniture et pose de tuyaux en fonte ductile BB PN 25							
DN 800 (MANCHETTES CUMULEES)	M	60	590 360	35 421 600	-	-	-
DN 500 (MANCHETTES CUMULEES)	M	0		-	51,90	29 765 999	29 765 999
Connexion canalisation principale >> anti-belier							
6 * (6,00+3,00+1,00)							
Joint diélectrique PN25							
DN 800	U	6	2 033 158	12 198 948	-	-	-
DN 500	U	0		-	6,00	12 112 266	12 112 266
Fourniture et pose de vannes papillon à brides PN25							
DN 800	U	6	5 962 078	35 772 468	-	-	-
DN 500	U	0		-	6,00	30 600 000	30 600 000
Connexion canalisation principale >> anti-belier				-		-	-
DN 300	U	2	752 431	1 504 862	3,00	2 257 293	2 257 293
Fourniture et pose de joint de demontage PN 25	U	2	2 561 486	5 122 972	2,00	5 122 972	5 122 972
DN 300							
Fourniture et pose de Té BB PN 25	U	1	3 096 168	3 096 168	1,00	3 096 168	3 096 168
DN 1200/1200				-			
DN 1200/300	U	1	3 096 168	3 096 168	3,00	9 288 504	9 288 504
DN 300/300	u	1	154 809	154 809	1,00	154 809	154 809
Fourniture et pose de coude ¼ BB PN 25							
DN 300	u	2	221 155	442 310	2,00	442 310	442 310
Fourniture et pose de bride emboîtée verrouillée Cf plans	u	2	662 104	1 324 208	3,00	1 986 312	1 986 312
Construction de regard de visite en béton armé							
	u	1	1 852 190	1 852 190	-	-	-
Fourniture et mise en œuvre de réservoir anti-bélier							
capacité 50 m³	u	6	121 695 730	730 174 380	6,00	730 174 380	730 174 380
Construction d'un local de logement des compresseurs	m³	60	142 748	8 564 880	**68,73**	9 810 729	9 810 729
1 * 4,00 * 5,00 * 3,00							

Fourniture et pose des compresseurs	ff	1	14 578 433	14 578 433	1,00	2 000 000	2 000 000
							-
Fourniture et pose de vannes papillon à brides PN25							-
DN 250	u	6	734 235	4 405 410	**6,00**	4 405 410	4 405 410
vidange anti-béliers							
Fourniture et pose de tuyaux en fonte ductile BB PN 25							
DN 250	m	36	101 564	3 656 304	**34,50**	3 503 958	3 503 958
vidange anti-béliers 6 * 6,00							
Déconnexion des ballons anti-bélier existantes	u	3	405 767	1 217 301	**3,00**	1 217 301	1 217 301
Déconnexion de l'ensemble des compresseurs existants	u	1	422 775	422 775	**1,00**	422 775	422 775
Dépose des canalisassions et / ou pièces spéciales, joints etc. matériau métallique souterrain existant (fonte, acier)							
conduites							
3,30 * 159	kg	524,7	808	423 958	**524,70**	423 958	423 958
3 * 11,50 * 77,90	kg	2687,55	808	2 171 540	**2 687,55**	2 171 540	2 171 540
87,75 * 0	kg	0					
Démolition partielle ou TOTAL des structures existantes de maçonnerie ou en béton							
butée béton 3,50 * 5,00 * 1,60	m³	95	31 395	2 982 525	95,00	2 982 525	2 982 525
Fourniture et mise en œuvre de sable	m³	100	12 554	1 255 400	100,00	1 255 400	1 255 400
VOLET TELEGESTION							
Indicateur de Chlore Libre, Oxygène dissous et TAC (alcalinité) KMS et Mekhe	u	2	5 020 813	10 041 626	-	-	-
Remplacement tronçon en Y par une canalisation							
Tranchée pour pose de canalisations en terrain ordinaire							
Tranchée de 1,40 x 2,30 maxi pour canalisation de Ø 500 à Ø 800 mm	m	114	10 390	1 184 460		-	-
(14,00+60,00+40,00)							-
Fourniture et pose de tuyaux en fonte ductile BB PN 25							
DN 300	m	114	109 813	12 518 682	124,37	13 657 443	13 657 443
						-	-
Construction de regard de visite en béton armé (REGARDS DE VIDANGE)							
de 1,01 m³ à 3,50m³ (DIAM = EXT 1,4; DIAM INT 1,00 x H=VAR) V=32,48m3	**u**	**2**	**461 651**	**923 302**	**15,91**	4 059 007	4 059 007
COUVERTURE REGARD DE VIDANGE Y/C TAMPON FONTE	U				8,00	800 000	800 000

Nettoyage, débroussaillage, dessouchage, décapage et nivellement,						-	-
10,00 * 10,00	m²	100	1 405	140 500	-	-	-
Fouille en pleine masse et remblai en terrain plan ou incliné pour fondations d'ouvrages	m³	85	3 200	272 000	-	-	-
7,00 * 4,00 * 2,70	m						-
Démolition partielle ou TOTAL des structures existantes de maçonnerie ou en béton	m³	12	31 395	376 740	12,00	376 740	376 740
4 * 1,5 * 2,00							
Travaux de connexion/déconnexion aux tuyaux existants							
DN > 1000	ff	1	6 116 868	6 116 868	1,00	6 116 868	6 116 868
Dépose des canalisassions et / ou pièces spéciales, joints etc. matériau métallique souterrain existant (fonte, acier)							
conduites	kg	7450	808	6 019 600	7 450,00	6 019 600	6 019 600
25,00 * 298	kg	740	808	597 920	740,00	597 920	597 920
joints							
2 * 370	kg	1650	808	1 333 200	1 650,00	1 333 200	1 333 200
Y	kg	160	808	129 280	160,00	129 280	129 280
Fourniture et pose de tuyaux en fonte ductile BB PN 25							
DN 1200	m	25	862 480	21 562 000	16,00	13 799 680	13 799 680
Fourniture et pose de vannes papillon à brides PN25							
DN 1200	u	1	17 674 694	17 674 694	2,00	35 349 388	35 349 388
Fourniture et pose de joint de démontage autobuté en fonte à 3 brides PN25							
DN 1200	u	2	5 164 485	10 328 970	4,00	20 657 940	20 657 940
Fourniture et mise en œuvre de sable	m³	150	12 554	1 883 100	382,25	4 798 767	4 798 767
Fourniture et mise en œuvre de couche de fondation en graveleux latéritique naturel	m³	27	27 358	738 666	208,50	5 704 143	5 704 143
90 * 0.3							
Fourniture et mise en œuvre de couche de base en graveleux latéritique au ciment	m³	9	90 171	811 539	69,50	6 266 885	6 266 885
90 * 0.1							
Fourniture et mise en œuvre du revêtement bitumineux (binder)	m³	6,3	47 818	301 253	48,65	2 326 346	2 326 346
90 * 0.07							
Fourniture et mise en œuvre de couche de bitumineuse	m²	90	47 818	4 303 620	695,00	33 233 510	33 233 510
DALLE DE PROTECTION EN BETON ARME	m³	0	12 554	-	3,00	37 662	37 662
Protection cathodique à l'intérieur de l'usine : refoulement eau brute et eau traitée							
Exécution de la protection cathodique pour conduite existante en acier enfouie pour l' ET et l'eau brute	ff	1	35 862 945	35 862 945	1,00	35 862 945	35 862 945

Renforcement du système de télégestion							
Fourniture et pose de PLT conformément aux normes EN 61000-4-4 et EN 61000-4-5.							
PLT anti-bélier	u	2	4 252 043	8 504 086	-	-	-
Réhabilitation du système de télégestion existant	ff	1	30 371 735	30 371 735	1,00	30 371 735	30 371 735
AUTRES PIECES							
Manchette DN 500 : 0,834	u	0			6	9 000 000	9 000 000
Coude DN 1200 1/16	u	0			2	8 000 000	8 000 000
Coude DN 250 1/8	u	0			12	2 607 636	2 607 636
Ventouse DN 200	u	0			1	738 001	738 001
Collier de prise DN 1200/200	u	0			1	939 909	939 909
Conduite acier ou fonte entre la plque et la butée art 52	u	0			1	435 000	435 000
Bride emboitement DN 250		0			6	5 239 530	5 239 530
Cone de réduction 600/500		0			6	5 547 780	5 547 780
Bride emboitement DN 1200		0			3	10 761 811	10 761 811
Plateforme d'accès en caillebotis et echelles d'accès dans fosse de manœuvre KMS	m2				81,40	12 210 000	12 210 000
Déplacement abris parking	N25				1	3 500 000	3 500 000
Fourniture et pose d'une plaque pleine pour ventousage Yc tests de ressuage	u				1	4 302 128	4 302 128
Fourniture et pose d'un BU DN1200 PN25 pour situation de repli raccordement du système anti-bélier	u				1	794 150	794 150
Fourniture et pose d'un cône 300/200	u				1	391 600	391 600
Mise en place d'une virole (béton de butée non armé)	m3	0	206 528		75	15 489 600	15 489 600
Terrassement et remblai de la virole	m3	0	3 200		227	726 294	726 294
TOTAL GENERAL DES TRAVAUX				**1 412 273 710**		**1 539 271 337**	**1 539 271 337**
SOMME A VALOIR (3%)				**42 368 211**			
TOTAL GENERAL DES TRAVAUX				**1 454 641 922**			

Annexes 2 : LISTES DE PIECES POUR LA CONNEXION :

No. article	Description	Quantité	Diametre pieces de tuyauterie	PN
1	Te a brides PN25	2	DN1200-DN300	PN 25
2	Te a brides PN25	1	DN1200-DN1200	PN 25
3	Bride-Emboitement VE (Fonte)PN25	3	DN1200	PN 25
4	vanne papillon motorisée EUROSTOP_PN25	2	DN1200	PN 25
5	Manchette de demontage PN25	4	DN1200	PN 25
6	vanne a opercule + volant_EURO 20 type 23	2	DN300	PN 25
7	Coude a brides_1-4-PN25	1	DN300	PN 25
8	Manchette de demontage PN25	1	DN300	PN 25
9	Manchette Fonte L = 1 300mm	1	Fonte DN300, 2	PN 25
10	Manchette Fonte L = 330mm	1	Fonte DN300, 11	PN 25
11	Te a brides PN25	1	DN300-DN300	PN 25
12	Manchette Fonte L = 5900mm	3	Fonte DN300	PN 25
13	Manchette Fonte Bride-unie L = 2760mm	1	Fonte DN300, 1	PN 25
14	Manchette Fonte Bride-unie L = 4280mm	1	Fonte DN1200, 6	PN 25
15	Coude a brides 1-16-PN25	2	DN1200	PN 25
16	Manchette Fonte L = 5500mm	1	Fonte DN1200, 14	PN 25
17	Manchette Fonte L = 2500mm	1	Fonte DN1200, 8	PN 25
18	Manchette Fonte L = 3000mm	3	Fonte DN1200, 5	PN25
19	Te a 2 brides fixes - 1 bride tournante PN25	6	DN1200-DN600	PN 25
20	Manchette Fonte L = 2 500mm	2	Fonte DN1200, 2	PN 25
21	Manchette d'ancrage Fonte L = 2500mm	1	Fonte DN1200, 9	PN 25
22	Bride pleine (Fonte)PN25	1	DN1200	PN 25
23	Cone a 2 brides-PN25	6	DN600-DN500	PN 25
24	vanne papillon EUROSTOP_PN25	6	DN500	PN 25
25	Manchette de demontage PN25	6	DN500	PN 25
26	Manchette Fonte L = 5 000mm	3	Fonte DN500, 1	PN 25
27	Manchette Fonte L = 1 650mm	3	Fonte DN500, 4	PN 25
28	Coude a brides_1-4-PN25	12	DN500	PN 25
29	Manchette Fonte L = 800mm	3	Fonte DN500, 2	PN 25
30	Manchette Fonte L = 834mm	3	Fonte DN500	PN 25
31	Te a brides PN25	6	DN500-DN250	PN 25
32	Manchette Fonte L = 1500mm	3	Fonte DN250, 4	PN 25
33	Coude a brides 1-8-PN25	12	DN250	PN 25
34	Manchette Fonte L = 1000mm	3	Fonte DN250, 8	PN 25
35	vanne a opercule OCA C-PN25	6	DN250	PN 25
36	Bride-Emboitement (Fonte)PN25	6	DN250	PN 25
37	Tuyau Fonte L=3250	3	Fonte DN250, 1	PN 25
38	Manchette Fonte L = 5 000mm	3	Fonte DN500, 4	PN 25
39	Manchette Fonte L = 1 650mm	3	Fonte DN500, 5	PN 25
40	Manchette Fonte L = 800mm	3	Fonte DN500, 2	PN 25
41	Manchette Fonte L = 834mm	3	Fonte DN500, 1	PN 25
42	Manchette Fonte L = 1500mm	3	Fonte DN250, 1	PN 25
43	Manchette Fonte L = 1000mm	3	Fonte DN250, 6	PN 25
44	Tuyau Fonte L=3250	3	Fonte DN250	PN 25
45	Tube Fonte L= 4075mm	2	Fonte DN 300, 1	PN 25
46	Tube Fonte L= 1840mm	1	Fonte DN 300, 4	PN 25
47	Tube Fonte L= 4075mm	2	Fonte DN 300, 5	PN 25
48	Tube Fonte L= 13500mm	1	Fonte DN 300, 1	PN 25
49	Tube Fonte L= 16640mm	1	Fonte DN 300, 3	PN 25

Annexes 3 : les notes de calculs pour l'étude hydraulique

❖ Les abaques utilisés pour la vérification de la capacité du réservoir :

La détermination de la capacité du réservoir a été fait par la méthode des abaques de Puech de Meunier et de Dubin de Gueneau :

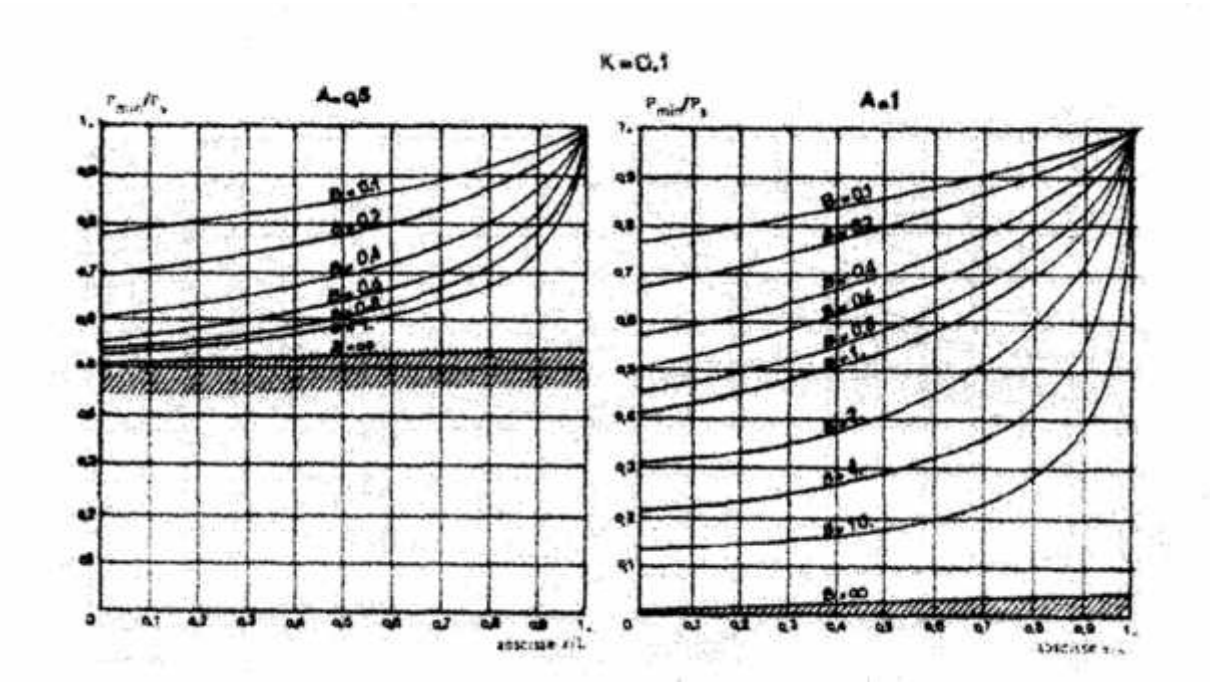
On procède de la manière suivante :

- On calcul A et k
- A partir de l'abaque D (calcul de la dépression) correspondant à la valeur de K trouvée et compte tenu du profil en long de la conduite choisit une valeur de b qui donne origine à une courbe de dépression le long de la conduite sans préjudice. Si aucune courbe n'est satisfaisante, cela signifie qu'un grand volume serait nécessaire et il faut adopter une autre solution
- On détermine le volume w0 à partir de B
- A partir des abaques 10 à 12 et connaissant A, K et B, on détermine la perte de charge optimale pour l'orifice du clapet, c'est-à-dire celle qui conduit à une pression maximale dans la conduite avec une valeur identique à la pression maximale dans le réservoir d'air.
- A l'aide de ces derniers, on peut refaire le calcul des pressions maximale et minimale dans la conduite, près du réservoir on peut également choisir un autre orifice ou d'autre dimensions pour le réservoir.
- Le diamètre de liaison du ballon d'air à la conduite est d'environ la moitié du diamètre de cette dernière avec des raccordements arrondis pour éviter la formation de tourbillons

- Tracé du profil en long :

COTE (z)	4,5	16,5	33	38	45
Longueur	0	29250	58500	87750	117000
W	0,287129	0,435644	0,762376	0,861386	1
X/L	0	0,25	0,5	0,75	1

- Détermination de B :

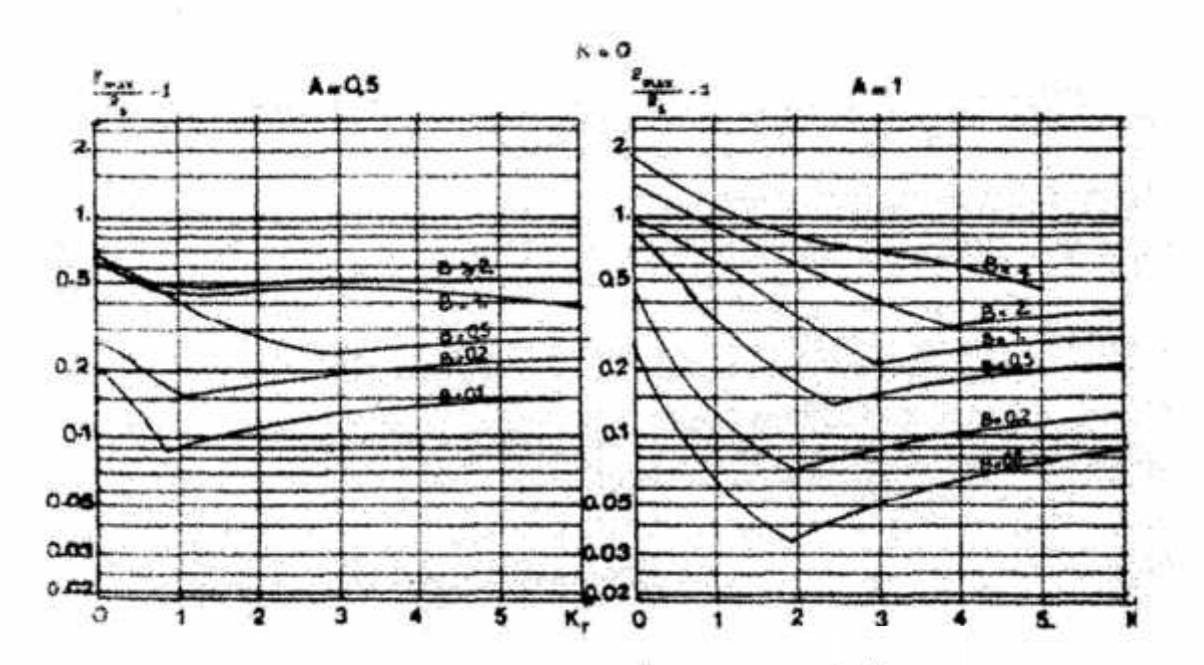


  - A partir de l'abaque pour k = 0,1 et A= 0,68 on trouve b= 0,2. (le profil de la conduite est supposé être au-dessous de l'enveloppe.
- Détermination de Pmax :
  - Avec l'abaque de Dubin et Gueneau pour A=1 et B= 0,2. On obtient Pmax = 252 m.c.e
- Détermination de Kr :
  - Pour une valeur de A =1 b= 0,2 et k =0,1.

$$k_r = \frac{\propto * uo^2}{H_O}$$

  - On obtient c= Kr = 1,7 ou 2,5

    Comme $\propto = \frac{k}{2*g}$ on a ku0/2G = 2,5*Ho= 575 en prenant $k = \frac{1}{Cc^2} = 3$



On obtient alors u0/2g = 192 et on en déduit la vitesse vo = 61,37

Ce qui donne la section de l'étranglement $\Delta = \frac{Q}{W}$

Dubin est Ginueau ont aussi proposé une formule pour la détermination du diamètre de l'étranglement avec vanne à clapet :

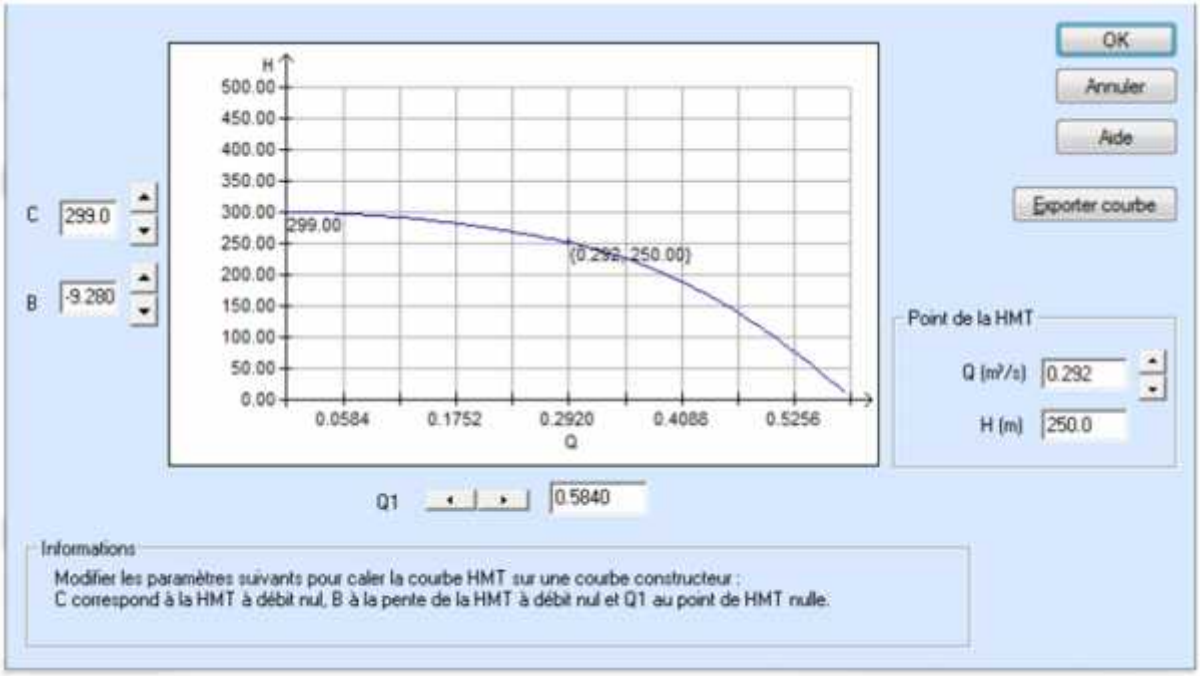
$d = \frac{D}{1{,}2*(\frac{C*S}{Q})^{\wedge}(\frac{1}{4})}$ Ce qui a donné une valeur de d = 0,182

Avec alpha = $\alpha = \frac{1}{2*G}\left(\frac{D^2}{0{,}6*d^2} - 1\right)$ on peut déduire aussi la valeur de l'étranglement de d.

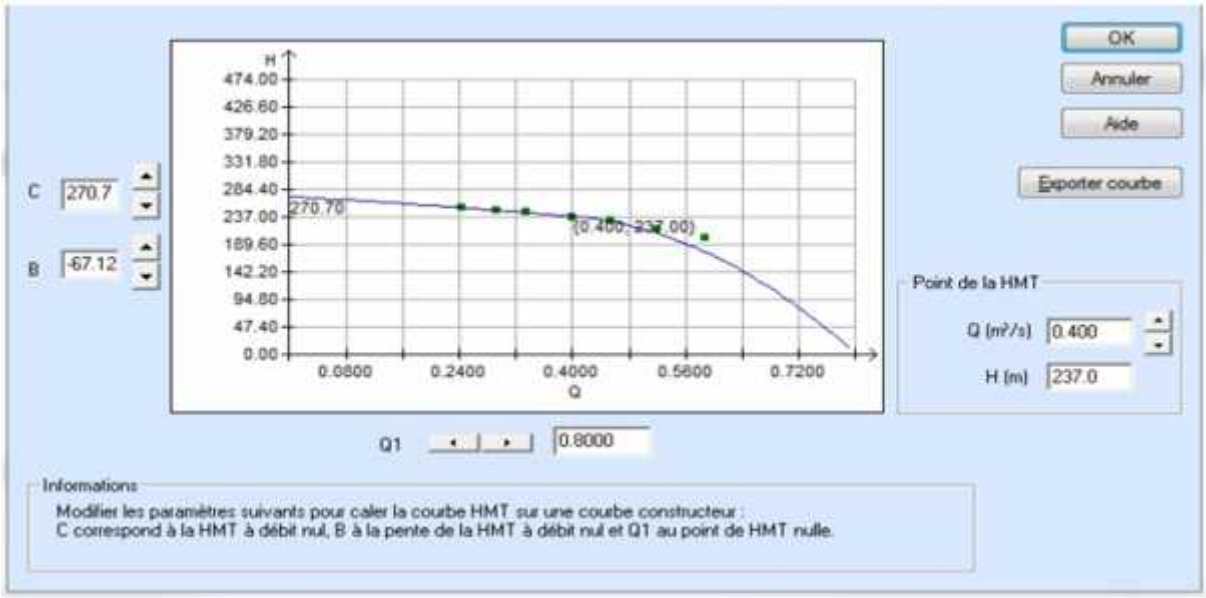
- Le point de fonctionnement des pompes :

Les courbes de fonctionnement sont fournies par l'exploitant pour les pompes de Ngnith ; Kms et des pompes au niveau du surpresseur de mékhé :

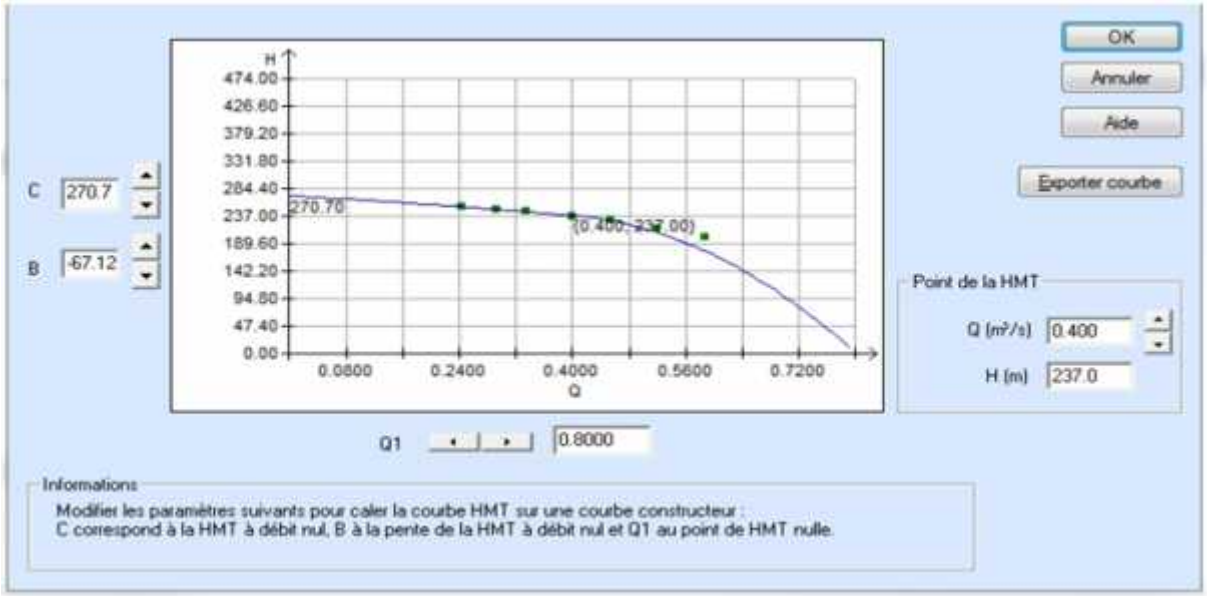
Courbe de fonctionnement de Ngnith :



Courbe de fonctionnement de Kms :



Courbe de fonctionnement de Mékhé :



❖ Les pertes de charges singulières :

Les pertes de charges singulières sont données par la formule de Darcy-Weisbach :

$$\Delta h = \frac{k * u_{ref}^2}{2 * g}$$

Les coefficients de pertes de charge singulières sont donnés par les tableaux tirés du manuel de détermination des pompes centrifuges de la marque KSB-ITUR. Ils sont donnés pour chaque diamètre pour les autres pièces et pour chaque angle d'inclinaison pour les coudes

Tableau 7 : Coefficients de perte de charge, ζ, dans les raccords de tuyauterie

Coudes assemblés :

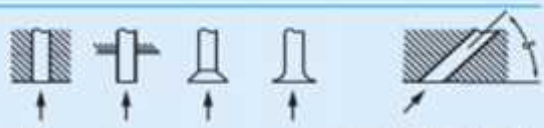
Le coefficient de perte de charge, ζ, d'un coude assemblé d'un type représenté ci-dessous n'est pas égal au double de la valeur, ζ, d'un coude à 90° simple mais est obtenu uniquement en multipliant cette valeur par le facteur indiqué

1,4 1,6 1,8

Compensateurs de dilatation :

Compensateur à tube ondulé, avec/sans lyre de dilatation	ζ = 0,3/2,0
Lyre de dilatation à tube lisse	ζ = 0,6 bis 0,8
Lyre de dilatation à tube plissé	ζ = 1,3 bis 1,6
Lyre de dilatation à tube ondulé	ζ = 3,2 bis 4

Eléments d'entrée :



Arête d'entrée à angle vif	ζ =	0,5	3			pour δ =	75	60	45
	ζ =	0,25	0,55	0,20	0,05	ζ =	0,6	0,7	0,8

Eléments de sortie :

ζ = 1 après une tuyauterie droite suffisamment longue pour une vitesse pratiquement régulière à la sortie.

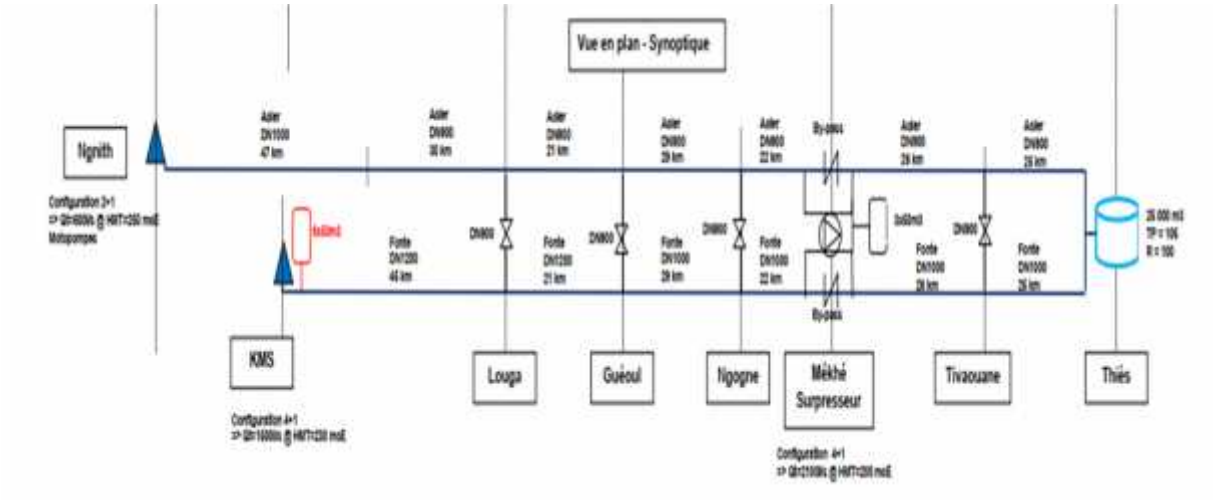
ζ = 2 pour une vitesse très irrégulière à la sortie, p.ex. immédiatement après un coude, une robinetterie.

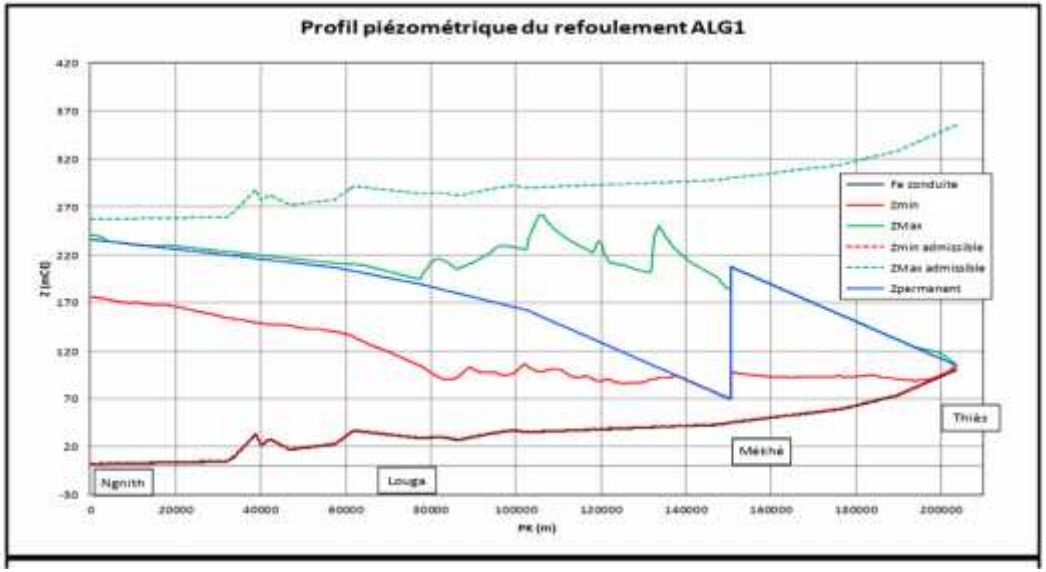
Suite, voir page suivante

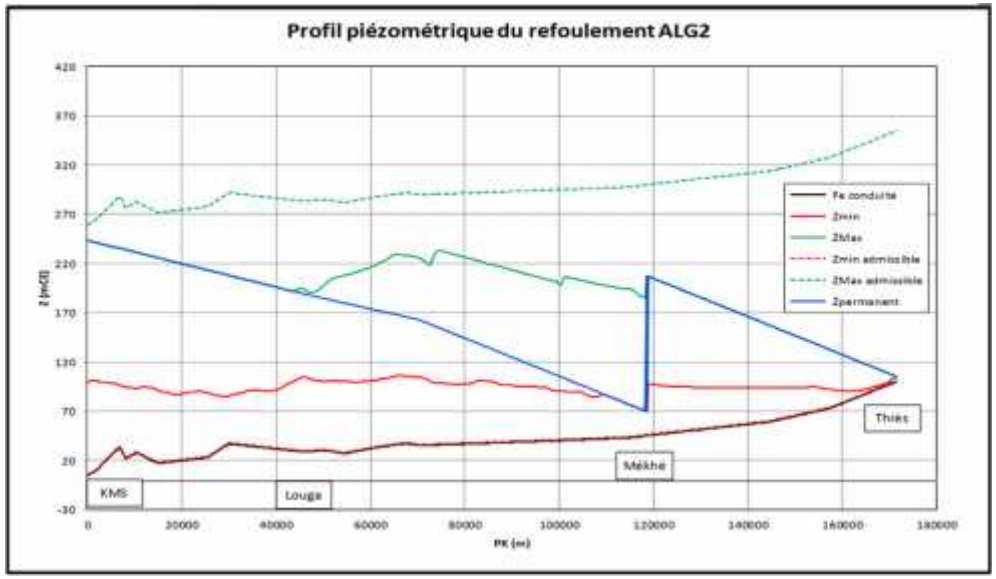
❖ Simulation hydraulique de la protection :

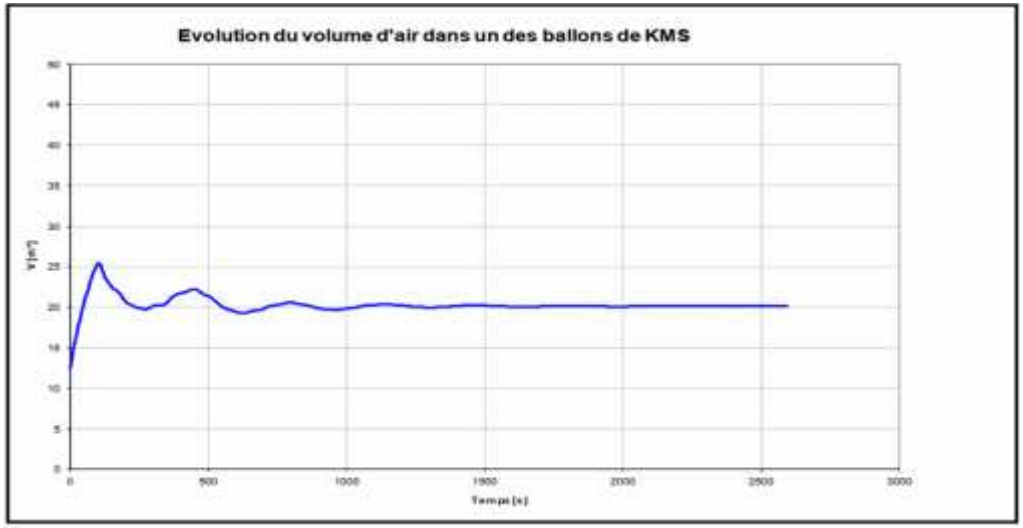
Une simulation hydraulique du projet a été d'abord par le fournisseur des ballons charllate réservoirs et par la direction d'étude de la Sade pour validation de la capacité du réservoir d'air de la protection. Les graphes ci-dessous montre les résultats pour les différents scénarii du projet de base :

- Scénario 1 : la station de Ngnith en marche, la station de KMS et Mékhé disjoncte au bout de 1s.
- Scénario 2 : la station de Ngnith est à l'arrêt, KMS et Mékhé disjoncte au bout de 1s.
- Scénario 3 : la station de Ngnith et KMS en marche et Mékhé disjoncte au bout de 1s.

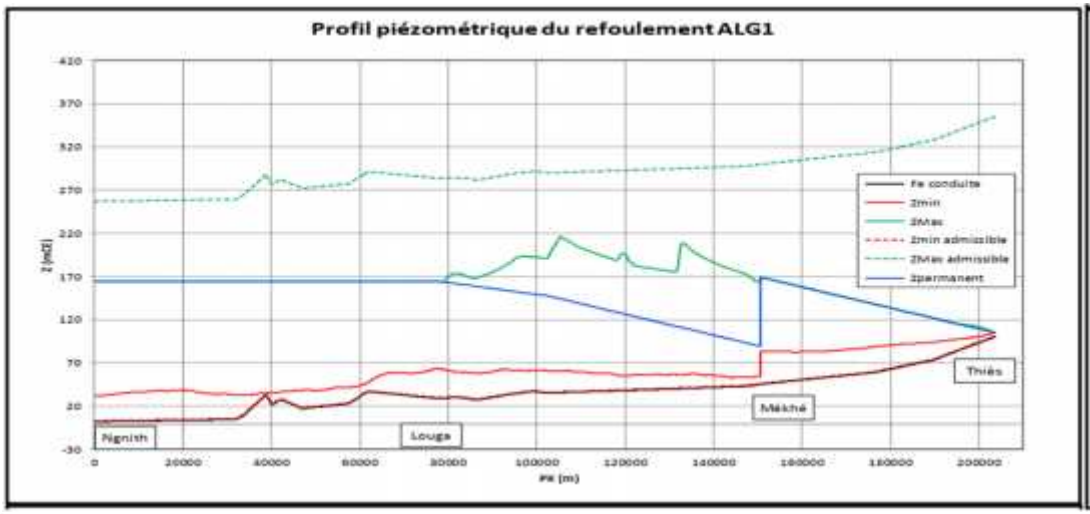


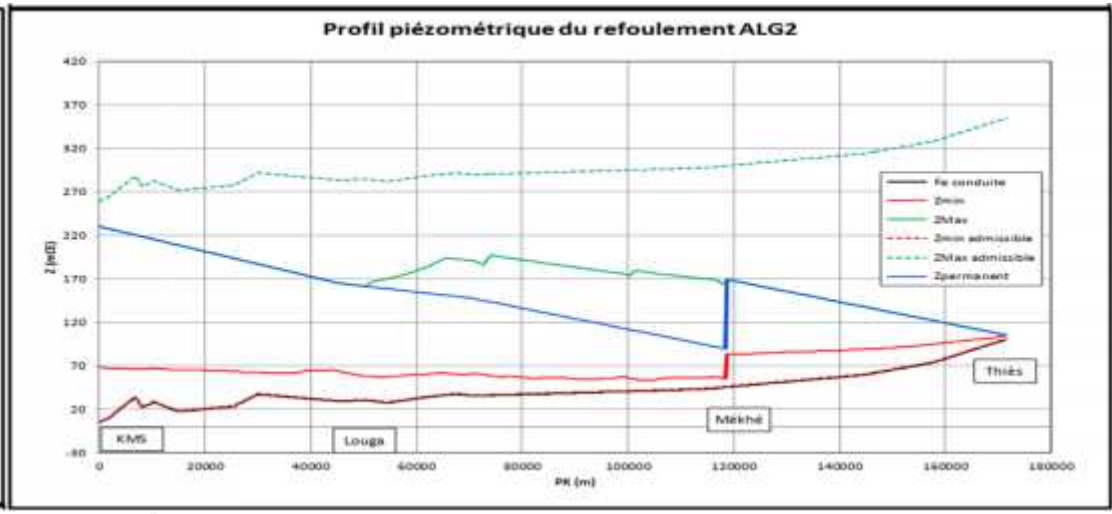






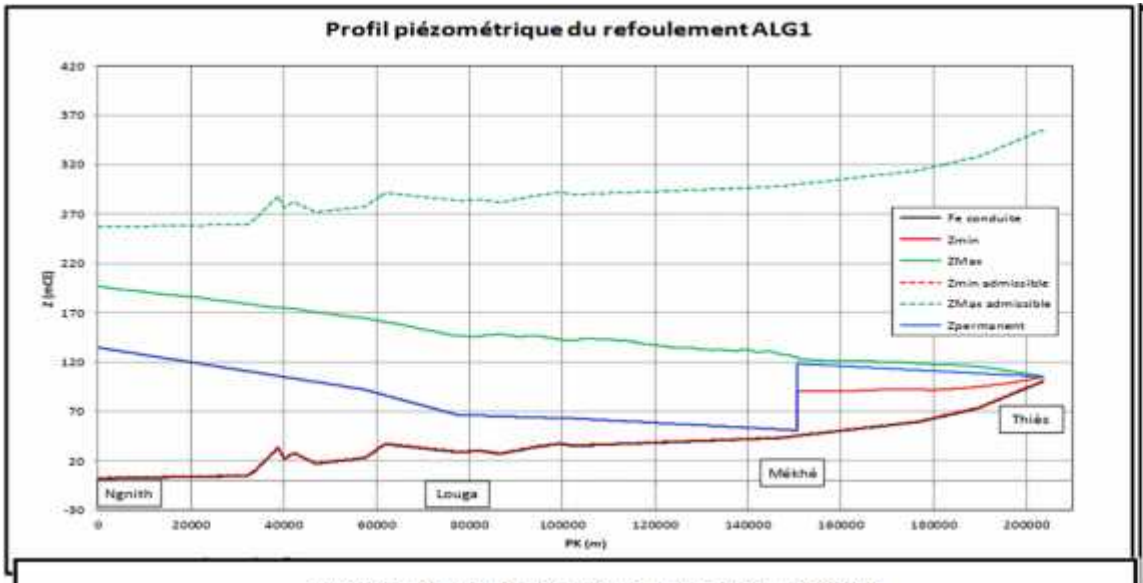
Scénario 1 : ces graphes montrent que pour ce cas, les ballons de kms sont correctement dimensionnés puisqu'ils permettent théoriquement de garantir sur le réseau une pression minimale supérieur à 1mCe, de limiter la surpression obtenue, et amortir rapidement le phénomène engendré l'arrêt brusque des pompes avec une marge de 50% sur la capacité des ballons.

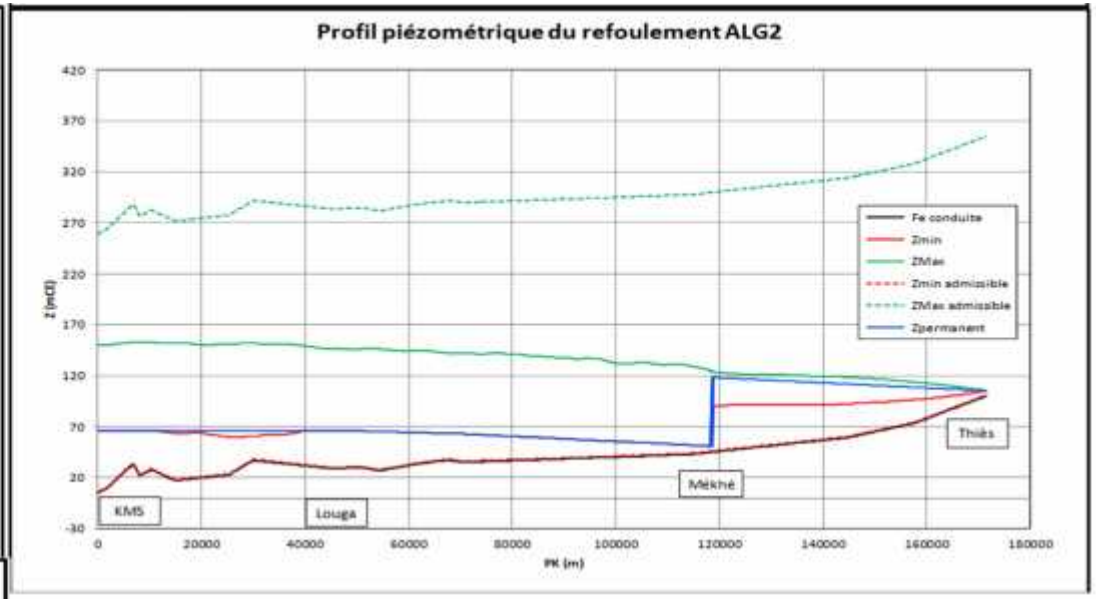


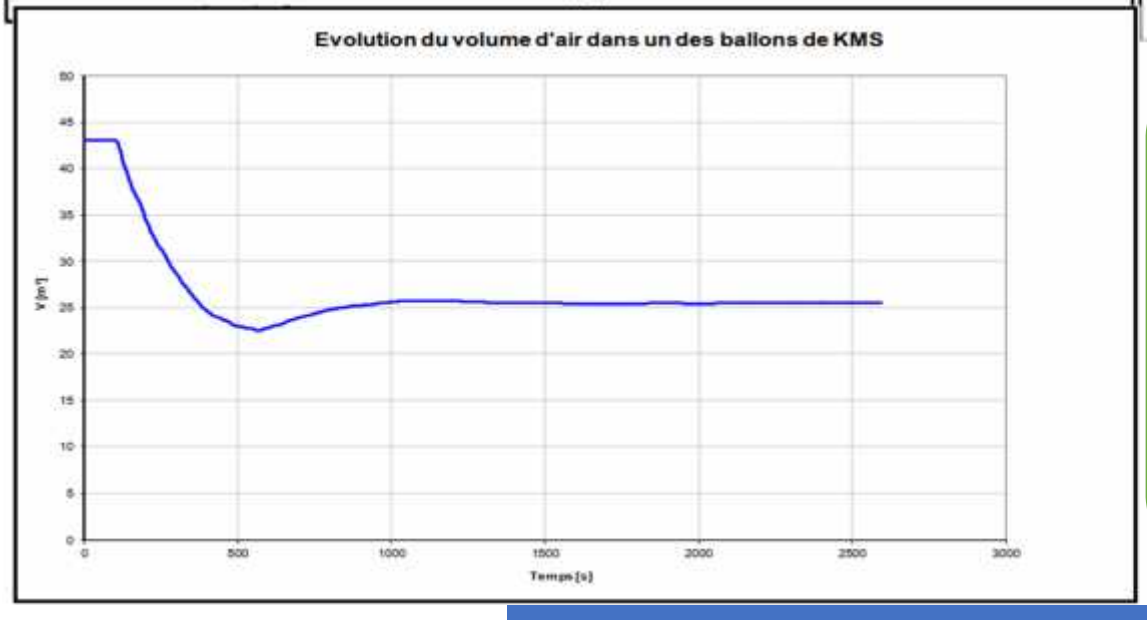


Scénario 2 : les nouveaux ballons sont correctement dimensionnés car permet d'amortir rapidement le phénomène engendré par l'arrêt brusque des pompes avec une marge de 30% sur la capacité des ballons.

L'absence de protection anti-bélier à la station de Ngnith engendre, sur le bras mort du refoulement ALG1, mais restant malgré tout dans la limite de pression minimale de 1mce.







Scénario 3 : les nouveaux ballons sont correctement dimensionnés puisqu'ils permettent théoriquement de garantir sur le réseau une pression minimale supérieure à 1mce, d'amortir le phénomène engendré par l'arrêt des pompes avec une marge de 15% sur la capacité des ballons.

ANNEXE 4 : Note de Calcul de l'étude génie Civil du projet :

- Les plans :
- Note de calcul des regards :
- Prédimensionnement des regards prismatique semi enterré :

Niveau		ch. Manoeuvre	Galerie	Unité
Hauteur	*H*	*5*	*3*	*m*
Epaisseur des parois considérées	*ep*	*0,4*	*0,35*	*m*
Epaisseur du radier	*er*	*0,4*	*0,4*	*m*
Volume	*V*	*200*	*180*	*m3*
Longueur	*b*	*8*	*10*	*m*
Largeur	*a*	*5*	*6*	*m*
Epaisseur minimal des parois	*ep_min*	*0,24*	*0,23*	*m*
Entrer Epaisseur des parois	*ep*	*0,4*	*0,35*	*m*
Entrer Epaisseur du radier	*er*	*0,4*	*0,4*	*m*
épaisseur dalle de couverture considérée		*0,15*	*0,15*	*m*

- La dalle de couverture :

dalle de couverture "dalle pleine"		Ch. Manœuvre	Galerie	unité
charge d'exploitation	Q	1,00	1,00	KN/m2
Revêtement	r	0,55	0,55	KN/m2
poids propre	P'	3,75	3,75	KN/m2
lx/ly	α	0,63	0,60	
charge KN/m2 de la dalle	p	5,30	5,30	KN/m2
effort tranchant sur lx	Tx	6,63	7,95	KN/m
effort tranchant sur ly	Ty	9,11	11,13	KN/m
poids volumique revêtement	ϒr	22,00	22,00	KN/m3
epaisseur revêtement	hr	0,03	0,03	m
pour α=0,63	μx	0,08	0,09	
pour α=0,63	μy	0,50	0,47	
moment isostatique	Mox	11,01	16,60	KN.m/ml
moment isostatique	Moy	5,51	7,76	KN.m/ml
moment en travée	Mtx	9,36	14,11	KN.m/ml
moment en travée	Mty	4,68	6,59	KN.m/ml
moment en travée pondéré (suivant lx)	Mtxp	11,70	17,64	KN.m/ml
moment en travée pondéré(suivant ly)	Mtyp	5,85	8,24	KN.m/ml
moment aux appuis	Max	3,30	4,98	KN.m/ml

moment aux appuis	May	1,65	2,33	KN.m/ml
rebord dalle de couverture		0,05	0,05	m
Enrobage		0,03	0,03	m
rebord radier		0,10	0,10	m

- Calculs des efforts :

Par tranches :

Tranches pour Ch. Manœuvre	1	2	3	4	5
Hauteur de la tranche (m)	1	1	1	1	1
Profondeur (m)	5	4	3	2	1
Charge appliquée (KN)	33	26,4	19,8	13,2	6,6
Moments sur appuis (KN.m)	134,75	107,8	80,85	53,9	26,95
Moment max sur plus longue portée (KN.m)	129,25	103,4	77,55	51,7	25,85
Moment max sur plus petite portée (KN.m)	31,625	25,3	18,975	12,65	6,325
Effort normal sur plus longue portée (KN)	82,5	66	49,5	33	16,5
Effort normal plus petite portée (KN)	132	105,6	79,2	52,8	26,4

Tranches pour la Galerie	1	2	3
Hauteur de la tranche (m)	1	1	1
Profondeur (m)	3	2	1
Charge appliquée (KN)	19,8	13,2	6,6
Moments sur appuis (KN.m)	125,4	83,6	41,8
Moment max sur plus longue portée (KN.m)	122,1	81,4	40,7
Moment max sur plus petite portée(KN.m)	36,3	24,2	12,1
Effort normal sur plus longue portée (KN)	59,4	39,6	19,8
Effort normal plus petite portée (KN)	99	66	33

Moments et efforts majoré de 25%

MOMENTS EN TRAVEE MAJORE DE 25%					
Tranche	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Moments en travée (longue)	161,5625	129,25	96,9375	64,625	32,3125
Moments en travée (pétite)	39,53125	31,625	23,71875	15,8125	7,90625
Moments sur appuis	134,75	107,8	80,85	53,9	26,95

MOMENTS EN TRAVEE MAJORE DE 25%			
Tranche	**1**	**2**	**3**
Moments en travée (longue)	152,625	101,75	50,875
Moments en travée (pétite)	45,375	30,25	15,125
Moments sur appuis	125,4	83,6	41,8

Moments et efforts normal à ELU et à ELS :

MOMENTS ET EFFORTS NORMAUX A L'ELU ET A L'ELS						
Tranches		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Longue portée	Mu	242,34	193,88	145,41	96,94	48,47
	Mser	161,56	129,25	96,94	64,63	32,31
	Nu	123,75	99,00	74,25	49,50	24,75
	Nser	82,50	66,00	49,50	33,00	16,50
Petite portée	Mu	59,30	47,44	35,58	23,72	11,86
	Mser	39,53	31,63	23,72	15,81	7,91
	Nu	198,00	158,40	118,80	79,20	39,60
	Nser	132,00	105,60	79,20	52,80	26,40

MOMENTS ET EFFORTS NORMAUX A L'ELU ET A L'ELS				
Tranches		**1**	**2**	**3**
Longue portée	Mu	228,94	152,63	76,31
	Mser	152,63	101,75	50,88
	Nu	89,10	59,40	29,70
	Nser	59,40	39,60	19,80
Petite portée	Mu	68,06	45,38	22,69
	Mser	45,38	30,25	15,13
	Nu	148,50	99,00	49,50
	Nser	99,00	66,00	33,00

- Dimensionnement des parois :

Nous avons décidé de présentera le dimensionnement des parois qui donne le diamètre maximal des armatures pour les deux regards :

1. Pour la chambre de manœuvre :

Chambre de Manœuvre				Chambre de Manœuvre			
TRANCHE 1				TRANCHE 1			
DIMENSIONNEMENT DE LA PAROI LA PLUS LONGUE PORTEE				DIMENSIONNEMENT DE LA PAROI LA PLUS PETITE PORTEE			
base	b1	1	m	*base*	b1	1	m
hauteur	ho	0,4	m	*hauteur*	ho	0,4	m
hauteur utile	d	0,36	m	*hauteur utile*	d	0,36	m
	c1	0,04	m		c1	0,04	m
Nombre de nappes		2	nappes	*Nombre de nappes*		2	nappes
nuance de l'acier	fe	500	MPa	*nuance de l'acier*	fe	500	MPa
resistance du béton	fc28	30	MPa	*resistance du béton*	fc28	30	MPa
section & diamètre des aciers principa	1,5386	14	mm	*section & diamètre des aciers principau*	1,1304	12	mm
section & Diamètre des aciers de répa	0,785	10	mm	*section & Diamètre des aciers de répart*	0,785	10	mm
excentricité ea	ea	0,032	m	*excentricité ea*	ea	0,02	m
moment ultime	Mu	0,242344	MN.m	*moment ultime*	Mu	0,059297	MN.m
Moment de service	Mser	0,161563	MN.m	*Moment de service*	Mser	0,039531	MN.m
Effort normal ultime	Nu	0,12375	MN	*Effort normal ultime*	Nu	0,198	MN
Effort normal de service	Nser	0,0825	MN	*Effort normal de service*	Nser	0,132	MN
excentricité e1	e1	1,958333	m	*excentricité e1*	e1	0,299479	m
excentricité e2	e2	0,048	m	*excentricité e2*	e2	0,01875	m
excentricité e	e	2,038333	m	*excentricité e*	e	0,338229	m
caractéristique de la section	partiellement comprimée			*caractéristique de la section*	partiellement comprimée		
partiellement comprimée				*partiellement comprimée*			
	eA	1,878333			eA	0,178229	
Moment fictif	Mfictif	0,154963		*Moment fictif*	Mfictif	0,023526	
DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION EN FLEXION SIMPLE A L'ELS				DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION EN FLEXION COMPOSEE A L'ELS			
contrainte de calcul du béton	sbc	18	MPa	*contrainte de calcul du béton*	sbc	18	MPa
containte de calcul de l'acier	σst "FTP"	200	MPa	*containte de calcul de l'acier*	σst "FTP"	200	MPa
alphaser	αser	0,574468		*alphaser*	αser	0,574468	
sigma sc bar		217,7778	MPa	*sigma sc bar*		217,7778	MPa
Moment résistant du béton	Mrserb	0,54175	MN.m	*Moment résistant du béton*	Mrserb	0,54175	MN.m
contrôle de mser	pas d'aciers comprimés			*contrôle de mser*	pas d'aciers comprimés		
contrôle des moments		Vérifié		*contrôle des moments*		Vérifié	
bras de levier	Z	0,291064	m	*bras de levier*	Z	0,291064	m
aciers fictifs tendu 1	Ast1fictit	-	cm2	*aciers fictifs tendu 1*	Ast1fictit	-	cm2
aciers tendu fictifs 2	Ast2fictif	-	cm2	*aciers tendu fictifs 2*	Ast2fictif	-	cm2
aciers tendu fictifs	Astfictif	26,62002	cm2	*aciers tendu fictifs*	Astfictif	4,041425	cm2
acier minimal tendu	Astmin	4	cm2	*acier minimal tendu*	Astmin	4	cm2
Aciers tendus réels	Ast	26,62002	cm2	*Aciers tendus réels*	Ast	10,64142	cm2
aciers comprimés	Asc	-	cm2	*aciers comprimés*	Asc	-	cm2
	fbc	17			fbc	17	
contrôle des aciers tendus		Vérifié		*contrôle des aciers tendus*		Vérifié	
contrôle de la section occupée par les aciers		vérifié		*contrôle de la section occupée par les aciers*		vérifié	

Dimensionnement des aciers d'appuis :

Chambre de Manœuvre			
TRANCHE 1			
DIMENSIONNEMENT DES ACIERS D'APPUIS			
Base	b1	1	m
Hauteur	ho	0,4	m
hauteur utile	d	0,36	m
	c1	0,04	m
nombre de nappes		2	nappes
nuance de l'acier	fe	500	MPa
resistance du béton	fc28	30	MPa
diamètre des aciers principaux	3,14	20	mm
Moment de service	Mser	0,13475	MN.m
DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION EN FLEXION SIMPLE A L'ELS			
contrainte de calcul du béton	sbc	18	MPa
containte de calcul de l'acier	sst	105,1627	MPa
Alphaser	αser	0,719688	
sigma sc bar	σser	228,3153	MPa
	Mrserb	0,638065	MN.m
contrôle de mser	**pas d'aciers comprimés**		
contrôle des moments		**vérifié**	
bras de levier	Z	0,273637	m
aciers fictifs tendu 1	Ast1	-	cm2
aciers tendu fictifs 2	Ast2	-	cm2
aciers tendu fictifs	Ast	46,82646	cm2
acier minimal tendu	Astmin	4	
Aciers tendus réels	Ast	46,82646	cm2
aciers comprimés	Asc	-	cm2
contrôle des aciers tendus		**Vérifié**	
contrôle de la section occupée par les aciers		**vérifié**	

Pour la galerie :

LA GALERIE				LA GALERIE			
TRANCHE 1				TRANCHE 1			
DIMENSIONNEMENT DE LA PAROI LA PLUS LONGUE PORTEE				DIMENSIONNEMENT DE LA PAROI LA PLUS PETITE PORTEE			
base	b1	1	m	*base*	b1	1	m
hauteur	ho	0,35	m	*hauteur*	ho	0,35	m
hauteur utile	d	0,315	m	*hauteur utile*	d	0,315	m
	c1	0,035	m		c1	0,035	m
Nombre de nappes		2	nappes	*Nombre de nappes*		2	nappes
nuance de l'acier	fe	500	MPa	*nuance de l'acier*	fe	500	MPa
resistance du béton	fc28	30	MPa	*resistance du béton*	fc28	30	MPa
section & diamètre des aciers principaux	1,5386	14	mm	*section & diamètre des aciers principaux*	1,1304	12	mm
section & Diamètre des aciers de répartition	0,785	10	mm	*section & Diamètre des aciers de répartition*	0,785	10	mm
excentricité ea	ea	0,04	m	*excentricité ea*	ea	0,024	m
moment ultime	Mu	0,228938	MN.m	*moment ultime*	Mu	0,068063	MN.m
Moment de service	Mser	0,152625	MN.m	*Moment de service*	Mser	0,045375	MN.m
Effort normal ultime	Nu	0,0891	MN	*Effort normal ultime*	Nu	0,1485	MN
Effort normal de service	Nser	0,0594	MN	*Effort normal de service*	Nser	0,099	MN
excentricité e1	e1	2,569444	m	*excentricité e1*	e1	0,458333	m
excentricité e2	e2	0,075	m	*excentricité e2*	e2	0,027	m
excentricité e	e	2,684444	m	*excentricité e*	e	0,509333	m
caractéristique de la section	partiellement comprimée			*caractéristique de la section*	partiellement comprimée		
partiellement comprimée				*partiellement comprimée*			
	eA	2,544444			eA	0,369333	
Moment fictif	Mfictif	0,15114		*Moment fictif*	Mfictif	0,036564	
DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION EN FLEXION SIMPLE A L'ELS				*DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION EN FLEXION COMPOSEE A L'ELS*			
contrainte de calcul du béton	sbc	18	MPa	*contrainte de calcul du béton*	sbc	18	MPa
containte de calcul de l'acier	σst "FTP"	200	MPa	*containte de calcul de l'acier*	σst "FTP"	200	MPa
alphaser	aser	0,574468		*alphaser*	aser	0,574468	
sigma sc bar		217,7778	MPa	*sigma sc bar*		217,7778	MPa
Moment résistant du béton	Mrserb	0,414778	MN.m	*Moment résistant du béton*	Mrserb	0,414778	MN.m
contrôle de mser	pas d'aciers comprimés			*contrôle de mser*		pas d'aciers comprimés	
contrôle des moments		**Vérifié**		*contrôle des moments*		**Vérifié**	
bras de levier	Z	0,254681	m	*bras de levier*	Z	0,254681	m
aciers fictifs tendu 1	Ast1fictit	-	cm2	*aciers fictifs tendu 1*	Ast1fictit	-	cm2
aciers tendu fictifs 2	Ast2fictif	-	cm2	*aciers tendu fictifs 2*	Ast2fictif	-	cm2
aciers tendu fictifs	Astfictif	29,67243	cm2	*aciers tendu fictifs*	Astfictif	7,178396	cm2
acier minimal tendu	Astmin	3,5	cm2	*acier minimal tendu*	Astmin	3,5	cm2
Aciers tendus réels	Ast	29,67243	cm2	*Aciers tendus réels*	Ast	12,1284	cm2
aciers comprimés	Asc	-	cm2	*aciers comprimés*	Asc	-	cm2
	fbc	17			fbc	17	
contrôle des aciers tendus		**Vérifié**		*contrôle des aciers tendus*		**Vérifié**	
contrôle de la section occupée par les aciers		**vérifié**		*contrôle de la section occupée par les aciers*		**vérifié**	

Dimensionnement des appuis :

LA GALERIE			
TRANCHE 1			
DIMENSIONNEMENT DES ACIERS D'APPUIS			
Base	b1	1	m
Hauteur	ho	0,35	m
hauteur utile	d	0,315	m
	c1	0,035	m
		2	nappes
nuance de l'acier	fe	500	MPa
resistance du béton	fc28	30	MPa
diamètre des aciers principaux	3,14	20	mm
Moment de service	Mser	0,1254	MN.m
DIMENSIONNEMENT DE LA SECTION EN FLEXION SIMPLE A L'ELS			
contrainte de calcul du béton	sbc	18	MPa
containte de calcul de l'acier	sst	105,1627	MPa
Alphaser	aser	0,719688	
sigma sc bar		228,3153	MPa
	Mrserb	0,488518	MN.m
contrôle de mser		**pas d'aciers comprimés**	
contrôle des moments		**vérifié**	
bras de levier	Z	0,239433	m
aciers fictifs tendu 1	Ast1	-	cm2
aciers tendu fictifs 2	Ast2	-	cm2
aciers tendu fictifs	Ast	49,8026	cm2
acier minimal tendu	Astmin	3,5	
Aciers tendus réels	Ast	49,8026	cm2
aciers comprimés	Asc	-	cm2
contrôle des aciers tendus		**Vérifié**	
contrôle de la section occupée par les aciers		**vérifié**	

❖ L'encrage des ballons :

Charge considérée :

Poids propre (vertical vers le bas) :

- Ballon anti-bélier : poids à vide : 16t
- Volume d'eau considérée : 40t
- Pas d'effort vertical vers le haut

Abaque de résistance de l'ancrage selon Hilti :

Fiche technique
HIT-RE 500-SD et tige HIT-V

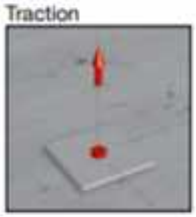
HILTI

Valeurs pré calculées I Charges statiques I Plage de températures 1 (+ 24°C I + 40°C)

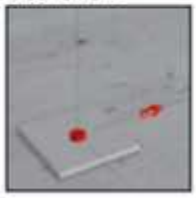
Pleine masse - Béton non fissuré - Version zinguée - h_{ef} = 12d (en kN)

Une cheville isolée, pleine masse, béton C20/25 non ferraillé, non fissuré (sans influence de bord et d'entraxe)

Traction



Cisaillement



HIT-RE 500-SD et tige HIT-V			Traction		Cisaillement	
			Résistance de calcul		Résistance de calcul	
Taille	h_{ef} (mm)	h_{min} (mm)	Ultime N_{rd}	Service N_{rec}	Ultime V_{rd}	Service V_{rec}
Tige en acier 5.8						
M 8	96	126	12,0	8,6	7,2	5,1
M 10	120	150	19,3	13,8	12,0	8,6
M 12	144	174	28,0	20,0	16,8	12,0
M 16	192	228	52,7	37,6	31,2	22,3
M 20	240	288	82,0	58,6	48,8	34,9
M24	288	344	117,5	84,0	70,4	50,3
M27	324	384	140,2	100,2	92,0	65,7
M30	360	430	164,3	117,3	112,0	80,0
Tige en acier 8.8						
M 8	96	126	19,3	13,8	12,0	8,6
M 10	120	150	30,7	21,9	18,4	13,1
M 12	144	174	44,7	31,9	27,2	19,4
M 16	192	228	64,0	45,7	50,4	36,0

Resistance de la cheville : 58,6 KN

Vérification complémentaire :

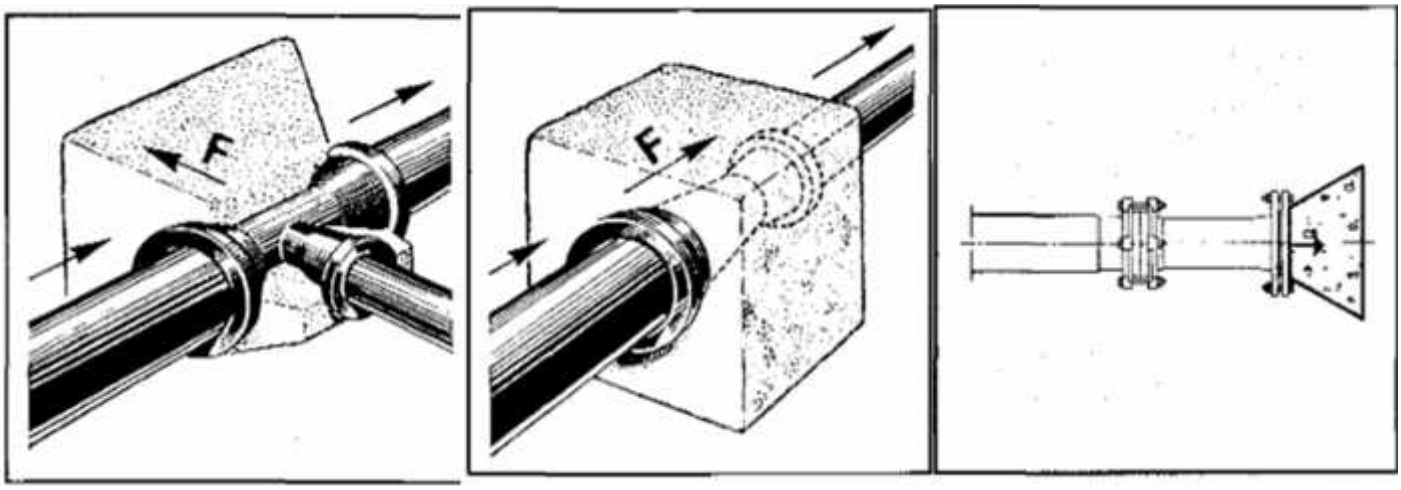
Poids totaux à considérer : 56 t

Pour un soulèvement de 90t alors l'effort résultante est de 34t dirigé vers le haut

L'effort à reprendre par assemblage est 4,25t environ 41,7 Kn, qui est inférieur à l'effort max en service 58,6 Kn : l'assemblage est suffisant

❖ Des massifs de butées :

Principe d'exécution de butée en béton :



Dimensionnement de la butée :

Massif de butée pour le Té et plaque pleine pour la connexion :

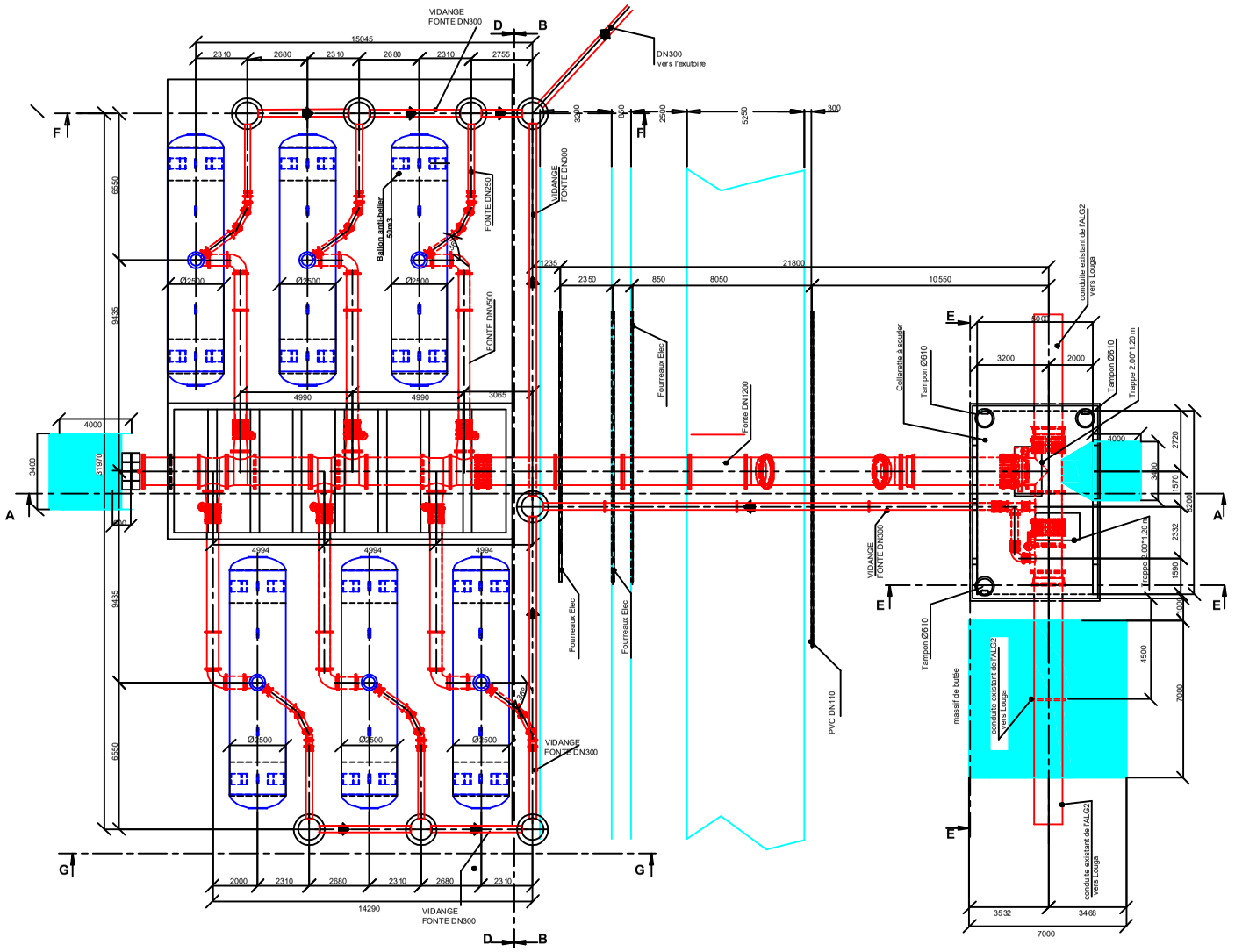
FORCE DE POUSSEE Té et plaque pleine				
	Diamètre	P en bar	F da N	F en t
Diamètre conduite	1,2	1	6185	12,614
Pression de calcul	25			
Force horizontal de poussée				315,35
Dimensionnement du massif				
Hauteur remblai		2	m	
Hauteur d'encrage		0,8	m	
Niveau d'app		1,4	m	
VOLUME MASSIF		63,47496	m3	
Dimensionnement du massif	H	4	m	
	L	4	m	
	L	4	m	
VOLUME MASSIF		64	m3	
VERIFICATION AU GLISSEMENT ET RENVERSEMENT				
Pb+Psol+FV		339,376		
GLISSEMENT		1,076188	<2	

Massif de butée sur DN1200 de l'ALG2 : Pour la protection des joints de la chambre de manœuvre, nous allons mettre en place une virole pour jouer le rôle de butée de la conduite de refoulement en cas mise en arrêt de l'usine de KMS que l'usine de Ngnith est en pleine fonctionnement

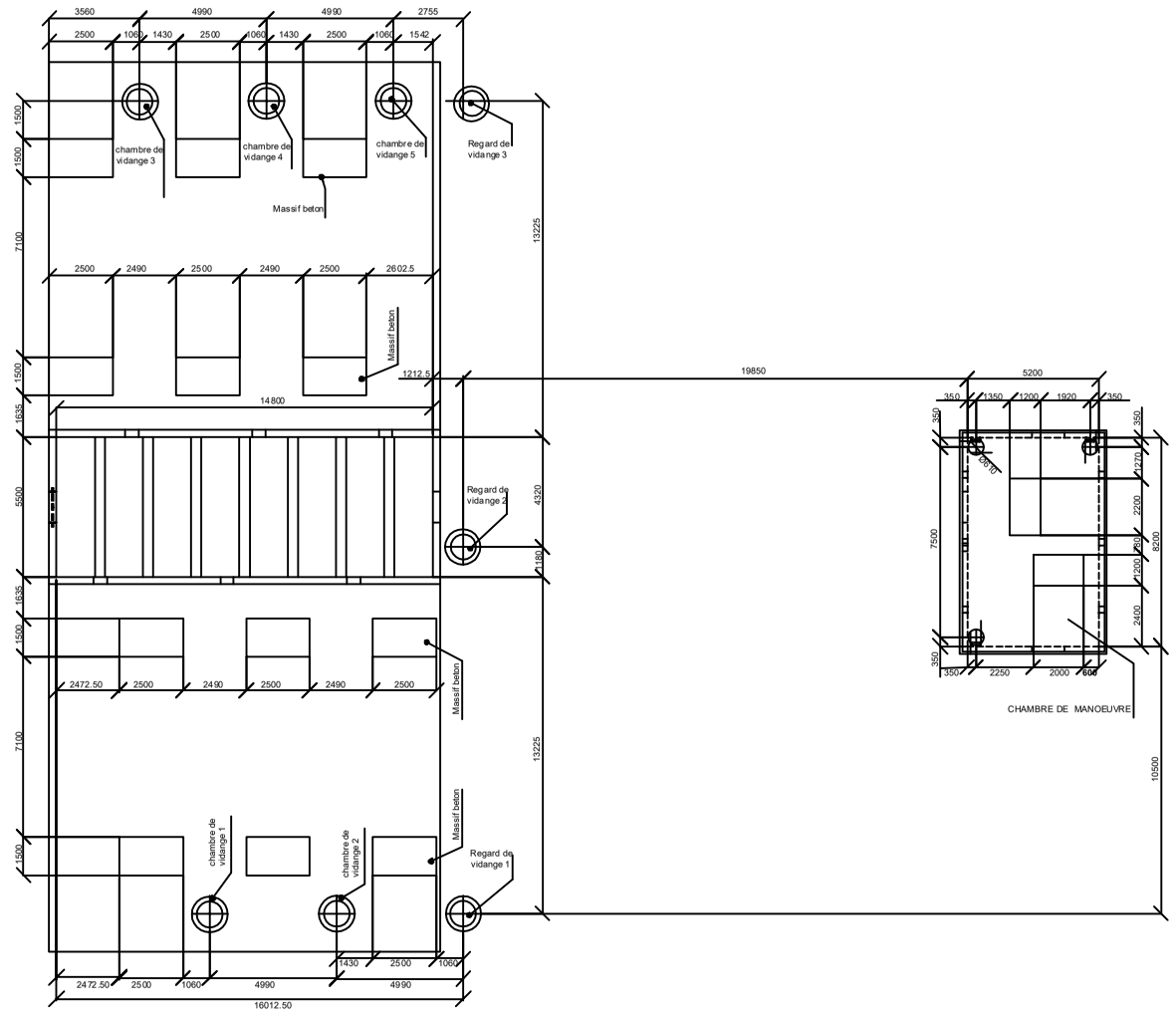
FORCE DE POUSSEE sur DN1200				
	Diamétre	P en B	F daN	F en t
Diamètre conduite	1,2	1	6185	12,614
Pression de calcul	15			
Force horizontale de poussée				189,21
Dimensionnement du massif				
Hauteur remblai		2	m	
Hauteur d'encrage		0,8	m	
Niveau d'app		1,4	m	
VOLUME MASSIF		76,16995	m3	
Dimensionnement du massif	H	3	m	
	l	5	m	
	l	5	m	
VOLUME MASSIF		4	m3	
VERIFICATION AU GLISSEMENT ET RENVERSEMENT				
Pb+Psol+FV		354,05		
GLISSEMENT		1,871201	<2	

Annexes 5 : Les plans

VUE EN PLAN

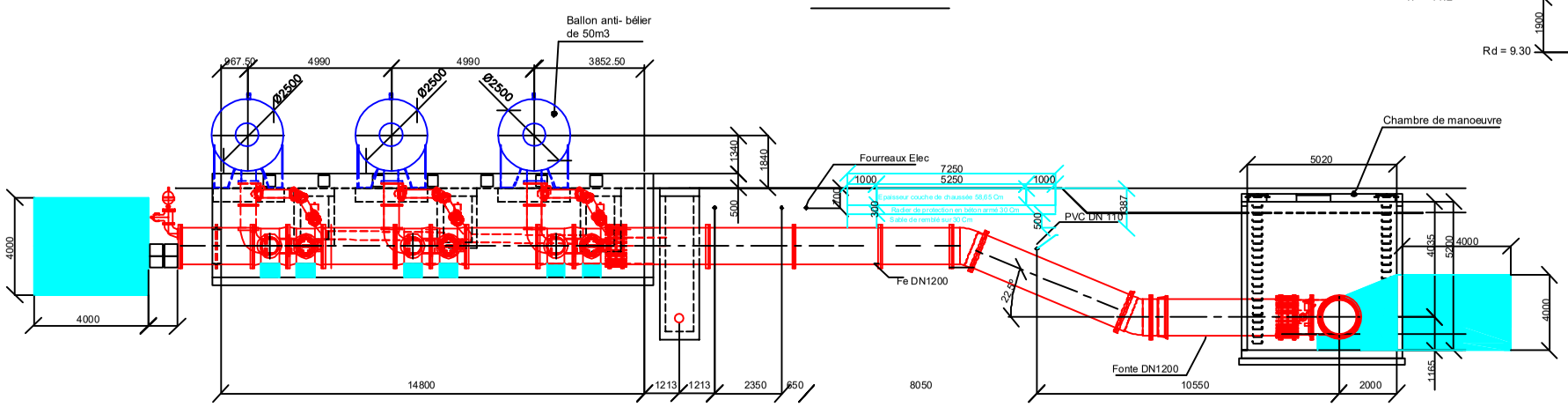


VUE EN PLAN
GUIDE G-C

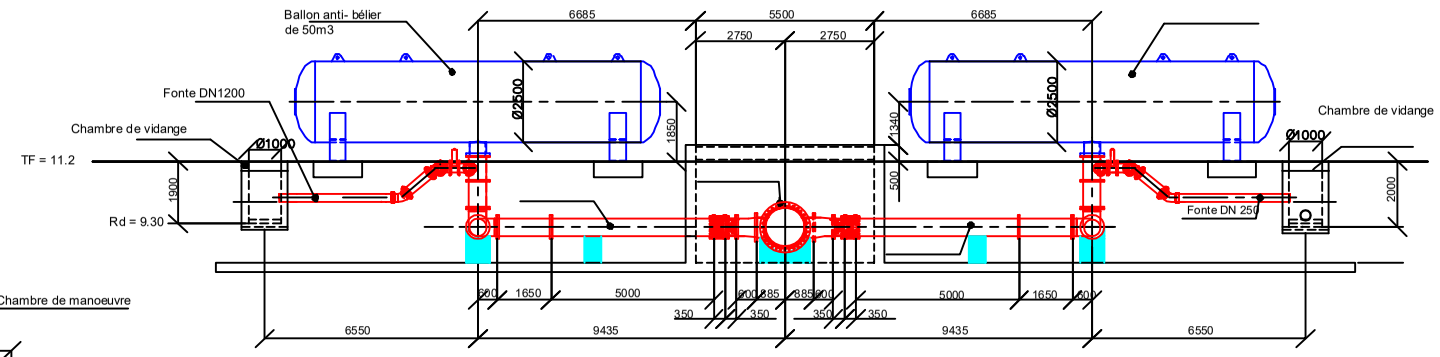


OBJET DE LA REVISION	PROJET DE RENFORCEMENT DE LA PROTECTION ANTI-BELIER DE KMS : VUE EN PLAN	01
MISE A JOUR	PRESENTE PAR: FAYE CHEIKH AHMED TIDIANE CHERIF FAYE	

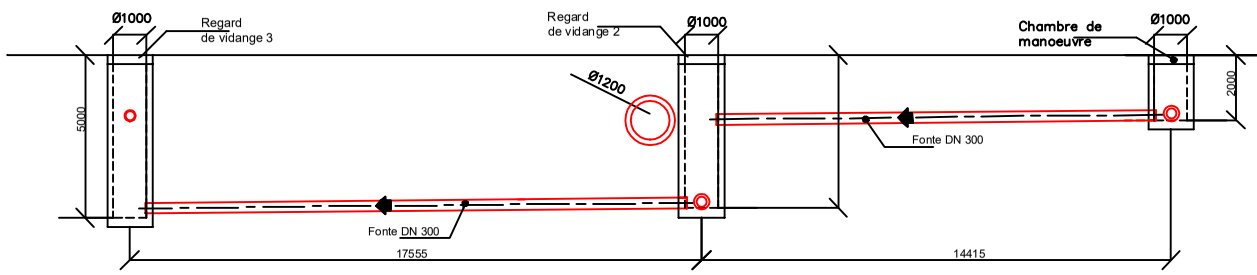
COUPE A-A



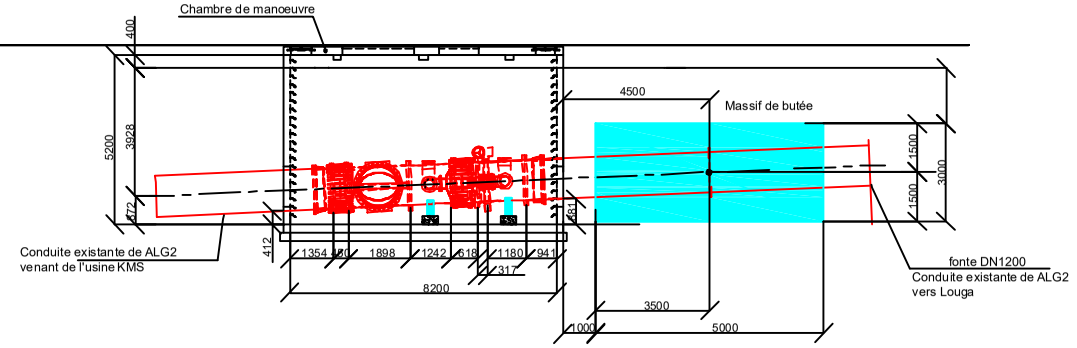
COUPE B-B



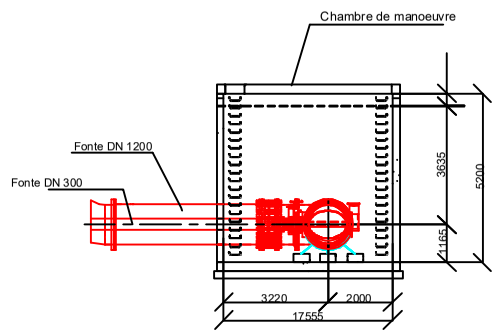
COUPE D-D



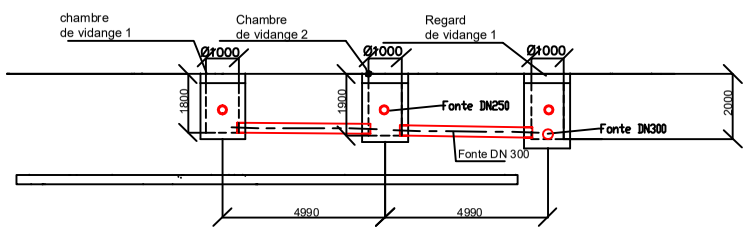
COUPE E-E



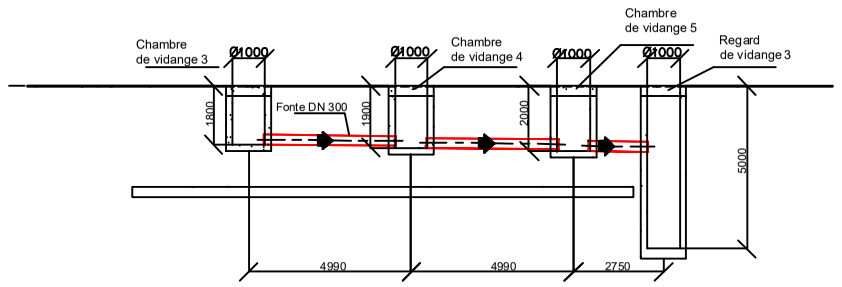
COUPE C-C



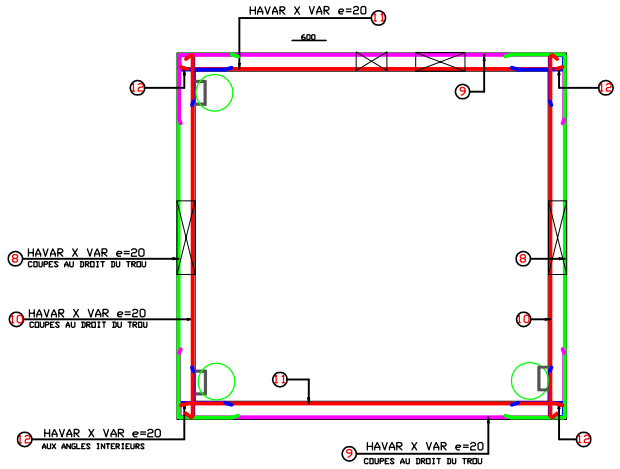
COUPE G-G



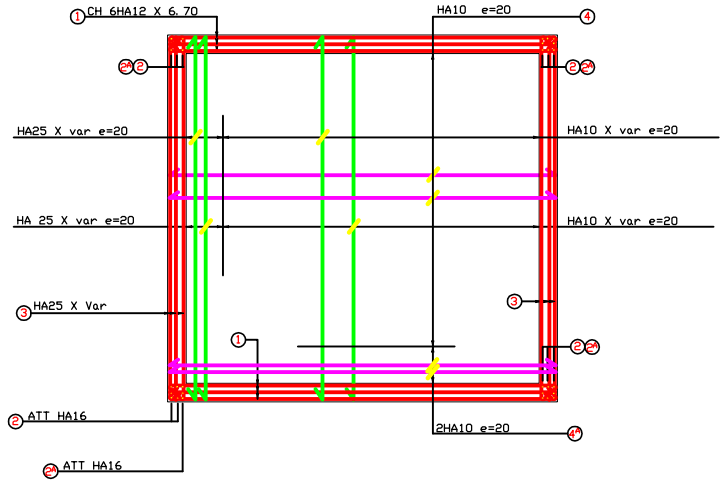
COUPE F-F



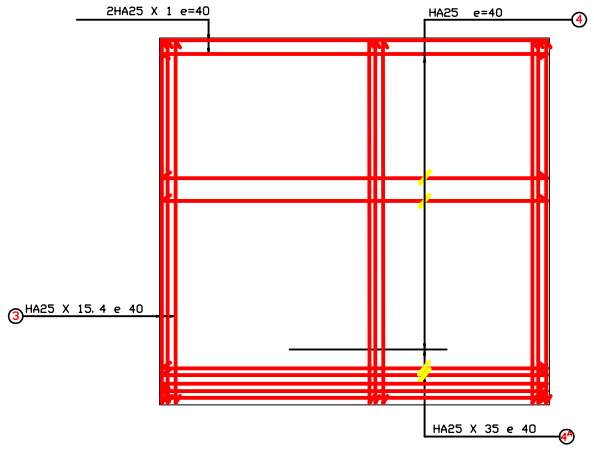
OBJET DE LA REVISION	**PROJET DE RENFORCEMENT DE LA PROTECTION ANTI-BELIER DE KMS : VUE EN PLAN**	**02**
MISE A JOUR	**PRESENTE PAR: FAYE CHEIKH AHMED TIDIANE CHERIF FAYE**	



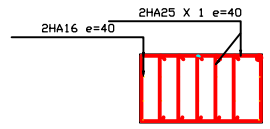
REGARD DE SECTIONNEMENT
ET GALERIE
VUE EN PLAN
FERRAILLAGE VOILES
ENROBAGE=3cm



REGARD DE SECTIONNEMENT
ET GALERIE
VUE EN PLAN
FERRAILLAGE RADIER
ENROBAGE=3cm

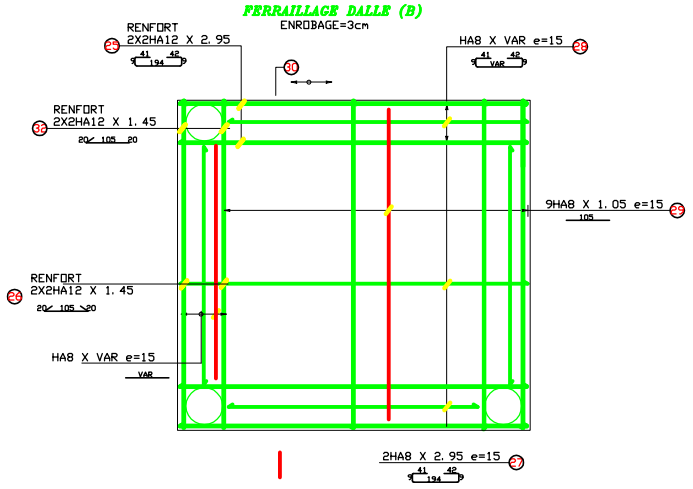


RADIER GENERAL POUR LA POSE
DES BALLON ANTI – BELIER
VUE EN PLAN
FERRAILLAGE RADIER
ENROBAGE=3cm

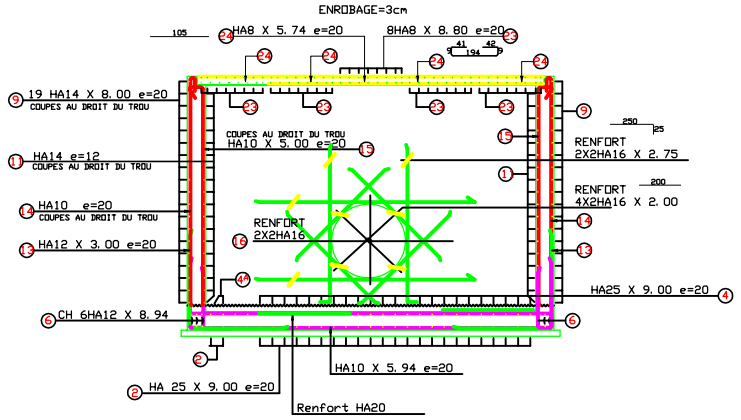


SUPPORT DE POSE
DES BALLONS
VUE EN PLAN
FERRAILLAGE RADIER
ENROBAGE=3cm

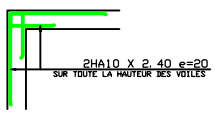
REGARD DE SECTIONNEMENT
ET MAILLAGE
VUE EN PLAN
FERRAILLAGE DALLE (B)
ENROBAGE=3cm



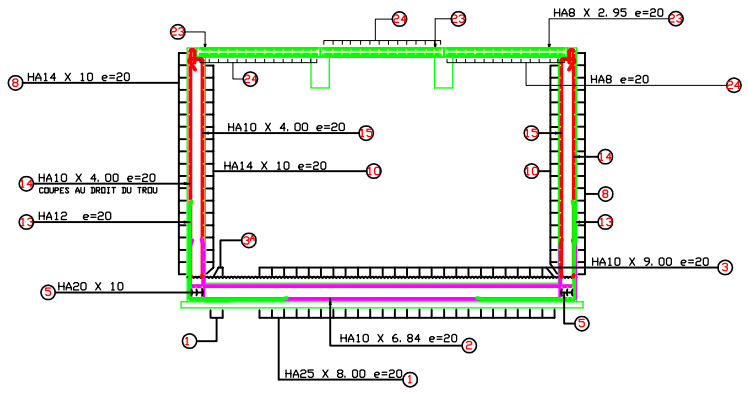
REGARD DE SECTIONNEMENT
DE LA CONDUITE DN1200
FERRAILLAGE
ENROBAGE=3cm



REGARD DE SECTIONNEMENT
ET MAILLAGE
VUE EN PLAN
FERRAILLAGE VOILES
RENFORTS D'ANGLE
ENROBAGE=3cm



REGARD DE LA GALERIE
DE CONNEXION
FERRAILLAGE
ENROBAGE=3cm



NOMENCLATURE DES ACIERS
REGARD DE SECTIONNEMENT ET MAILLAGE

	PARTIE	EPAISSEUR	FERRAILLAGE	ACIER TRANS
CHAMBRE DE MANOEUVRE	DALLE DE COUVERTURE	0,15	Sur la petite portée HA8 esp 15cm	
			Sur la grande portée HA8 esp 20cm	
	PAROIS	0,35	Petite portée HA12 esp 20cm	RAPARTITION HA 10 ESP 10
		0,35	Grande portée HA8 esp 12cm	
	APPUIS	0,35*100	H20 ESP 12	RAPARTITION HA 10 ESP 10
GALERIE	DALLE DE COUVERTURE	0,15	Sur la petite portée HA8 esp 15cm	
			Sur la grande portée HA8 esp 20cm	
	PAROIS	0,40	Petite portée HA12 esp 20cm	RAPARTITION HA 10 ESP 10
		0,40	Grande portée HA14 esp 15cm	
	APPUIS	0,40*100	RENFORT	RAPARTITION HA 10 ESP 10

OBJET DE REVISION	***PROJET DE RENFORCEMENT DE LA PROTECTION ANTI-BELIER DE KMS : FERRAILLAGES***	***03***
MISE A JOUR	***PRESENTE: CHEIKH AHMED TIDIANE CHERIF FAYE***	