

A solid red square.

**ETUDE DE RENFORCEMENT ET
D'OPTIMISATION DU RESEAU D'ADDUCTION
DE LA VILLE DE DJOUGOU AU BENIN**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : *Eaux Souterraines*

Présenté et soutenu publiquement le [Date] par

Pinellia Marielle Tété HONVOH

Travaux dirigés par :

- **Mme Bénédicte DA SILVA**, *Ingénieur Génie Civil*, Directeur des travaux, SOGEA SATOM
- **M. Eric GUEDENON**, *Ingénieur Hydraulicien*, Responsable Etudes Hydrauliques, SOGEA SATOM
- **Dr. Lawani Adjadi MOUNIROU**, *Enseignant-chercheur*, 2iE
- **M. Ousmane Roland YONABA**, *Assistant d'Enseignement et de Recherche*, 2iE

Jury d'évaluation du stage :

Président : Dr Angelbert BIAOU

Membres et correcteurs : Mr. Bega OUEDRAOGO

Mr. Arnaud QUENUM

Mr. Roland YONABA

Année [2014/2015]

DEDICACES

*À ma mère, pour son amour, son soutien et toutes ses
prières à mon égard,*

*À mon père, pour tous les sacrifices consentis et ses con-
seils,*

*À mes frères et sœurs, pour l'attachement et l'amour
que je vous porte,*

*À mon cher Omar, pour ses encouragements, ses conseils
et son aide,*

Je vous dédie le fruit de ces cinq années de dur labeur.

REMERCIEMENTS

Je voudrais ici remercier toutes ces personnes formidables qui ont participé de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail. Je pense notamment à :

- mes encadreurs **Dr. Lawani MOUNIROU** et **M. Roland YONABA**, pour leurs soutiens, leurs conseils constructifs et le temps qu'ils ont su m'accorder malgré leurs nombreuses occupations ;
- mes enseignants du 2iE qui ont tous contribué à ma formation.

Je tiens également à exprimer toute ma gratitude à la société SOGEA SATOM Bénin en la personne du chef d'agence **M. Jean Jacques DJIDJOHO**. J'adresse mes sincères remerciements à **M. Eric GUEDENON** mon maître de stage, pour ses conseils, son partage du savoir et la confiance qu'il a su m'accorder et à **Mme Bénédicte DA SILVA** pour l'opportunité de stage offerte.

Mes remerciements vont également à tout le personnel de SOGEA SATOM Bénin, pour l'accueil et l'inoubliable expérience sociale vécue avec eux. Je pense en particulier à **M. Wilfried MEHOU LOKO** et **M. Bio Oumarou ODO**, pour leur collaboration et leur aide mais aussi à **Mlle Ornella GUINDEFINHOSSOU** pour tous les moments partagés ensemble.

Je souhaite également témoigner toute mon affection à mes collègues, camarades et amis du 2iE, en particulier toute la promotion Master 2 Eaux Souterraines 2014-2015. Sans tout un chacun de vous, mon expérience à 2iE n'aurait pas été la même.

Enfin, mes dernières pensées vont à ma famille d'accueil au Burkina Faso pour tout leur encouragement. À tous ceux qui m'ont soutenue de près ou de loin, je vous adresse par ces humbles mots toute ma reconnaissance.

Merci à tous...

RESUME

La ville de Djougou (au Nord-Ouest du Bénin) connaît un déficit dans la fourniture en eau potable en saison sèche depuis 2006. L'objectif de la présente étude est de proposer des solutions correctives pour renforcer la capacité d'adduction. Une visite diagnostique a permis de retenir entre autres le tarissement du lac Tero, la vétusté des conduites d'adduction comme facteurs déterminants dans le déficit d'adduction constaté. L'évaluation des besoins en eau à l'horizon 2020 a permis de définir un volume nécessaire pour couvrir les besoins en eau de 66 404 habitants qui est de 3801 m³/j. Ce volume permettra de mobiliser un débit total de 75 m³/h pris au lac Tero et un débit de 190 m³/h produit à partir des eaux souterraines, via 7 forages de débits d'exploitation allant de 10 à 45 m³/h. En outre, un curage du lac Tero ainsi qu'un rehaussement de la côte déversoir de 0,82 m sont préconisés afin de porter sa capacité utile de 251 437 m³ à 597 022 m³. Le stockage se fera via 2 réservoirs au sol existants, mais à réhabiliter, de capacités respectives de 190 m³ et 150 m³, ainsi qu'un château d'eau de 1 250 m³ à implanter. Pour l'accomplissement des travaux de curage, nous préconisons l'utilisation de la technique de curage mécanique pour les surfaces dénoyées et celle du curage hydraulique pour les surfaces noyées. Le coût global de la proposition s'élève à 511 420 691 FCFA.

Mots-clés :

- 1- Curage**
- 2- Diagnostic**
- 3- Djougou**
- 4- Optimisation**
- 5- Réseau d'adduction**

ABSTRACT

The city of Djougou (in the northwest of Benin) suffers a deficit in water supply of drinking water in dry season, since 2006. The study aims to propose remedial solutions to enhance ad-duction capacity. A diagnostic visit allowed to withhold including the drying up of lake Tero, eroded intake pipes as factors of supply deficit. The evaluation of peak water demand by 2020, roughly 3801 m³/d, identified a total production rate of 210 m³/h which will be divided into two parts: one of 75 m³/h taken in Tero lake and the other of 190 m³/h generated from groundwater via 7 boreholes having exploitation discharges from 10 to 45 m³/h. Also, a dredging of Lake Tero and a raising of the weir crest of 0.82 m in height are recommended to increase its useful capacity from 251,437 m³ to 597,022 m³. The storage will be ensured via two existing ground-standing reservoirs having respective capacities of 190 m³ and 150 m³ (which should be restored) and a water tower of 1 250 m³ to implement. For the fulfillment of clearing works, we recommend the use of mechanical cleaning technique for emerged surfaces and the hydraulic dredging for submerged surfaces. The overall cost of the proposal should amount to 511,420,691 FCFA.

Keywords:

- 1- Adduction network**
- 2- Diagnosis**
- 3- Djougou**
- 4- Dredging**
- 5- Optimization**

ABREVIATIONS

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AEP : Alimentation en Eau Potable

BOAD : Banque Ouest-Africaine de Développement

ODD : Objectifs de Développement Durable

OMS : Organisation Mondiale pour la Santé

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

SATOM : Société Africaine des Travaux d'Outre-Mer

SBEE : Société Béninoise d'Energie Electrique

SOGEA : Société de Gestion de l'Eau et de l'Assainissement

SONEB : Société Nationale des Eaux du Bénin

SYMBOLES ET NOTATIONS

Symboles	Unités	Représentations
$T_{min} & T_{max}$	°C	Température minimale et maximale
ETP	mm	Evaporation
P_{an}	mm	Pluie annuelle
Q	m ³ /h	Débit
V	m ³	Volume
H	m	Hauteur
S	m ²	Surface
P	m	Périmètre
DN	mm	Diamètre Nominal
D	mm	Diamètre
v	m/s	Vitesse
v_{min}	m/s	Vitesse d'écoulement minimale
v_{max}	m/s	Vitesse d'écoulement maximale
C_{ps}	-	Coefficient de pointe saisonnier
C_{ph}	-	Coefficient de pointe horaire
C_{pj}	-	Coefficient de pointe journalier
$h_{géo}$	m	Hauteur géométrique
HMT	m	Hauteur Manométrique Totale
NS	m	Niveau statique
ND	m	Niveau dynamique
PN	bar	Pression nominale
ΔP	m	Variation de pression
K_c	-	Indice de Gravelius
L_c	Km	Longueur du Talweg
L_c	Km	Longueur du rectangle équivalent
l_c	Km	Largeur du rectangle équivalent
H_{max}	m	Hauteur maximale
H_{min}	m	Hauteur minimale

SOMMAIRE

DEDICACES	II
REMERCIEMENTS	III
RESUME	IV
ABSTRACT	V
ABREVIATIONS	VI
SYMBOLES ET NOTATIONS	VII
LISTE DES TABLEAUX	IX
LISTE DES FIGURES	X
LISTE DES PHOTOS	X
LISTE DES COUPES	X
AVANT-PROPOS	XI
INTRODUCTION	1
I. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS D'ETUDE	2
I.1. CONTEXTE ET PROBLEMATIQUE	2
I.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	2
I.3. PRESENTATION DU CADRE D'ETUDE	3
II. METHODOLOGIE DE L'ETUDE	5
III. RESULTATS DU DIAGNOSTIC AEP DE LA VILLE DE DJOUGOU	7
III.1. DIAGNOSTIC DE LA RESSOURCE EN EAU.....	10
III.2. DIAGNOSTIC DES STATIONS DE TRAITEMENT	14
III.3. DIAGNOSTIC DES CONDUITES D'ADDUCTION	16
III.4. DIAGNOSTIC DES ELEMENTS DE STOCKAGE	17
III.5. SYNTHESE DE L'ETUDE DIAGNOSTIQUE DU RESEAU D'ADDUCTION.....	18
IV. RESULTATS DE LA CONCEPTION ET CHOIX DES EQUIPEMENTS	20
IV.1. ETUDE DE LA DEMANDE EN EAU	20
IV.2. MISE A CONTRIBUTION DE LA RESSOURCE EN EAU DE SURFACE	23
IV.3. EXPLOITATION DE LA RESSOURCE EN EAU SOUTERRAINE	26
IV.4. RENFORCEMENT DE LA STATION DE TRAITEMENT	28
IV.5. RENFORCEMENT DU STOCKAGE.....	31
IV.6. CONDUITES DU RESEAU D'ADDUCTION.....	32
IV.7. DIMENSIONNEMENT - CHOIX DES POMPES	36
V. ESTIMATION FINANCIERE DES TRAVAUX	38
CONCLUSION	40
RECOMMANDATIONS	41
DOCUMENTS CITES	42
ANNEXES	43

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Planning des activités effectuées au cours du stage.....	5
Tableau II : Caractéristiques du bassin versant Wéwé-Ouémé.....	10
Tableau III : Caractéristiques des pompes sur prise d'eau au lac TERO.....	12
Tableau IV : Caractéristiques des forages raccordés au réseau d'adduction	13
Tableau V : Caractéristiques des réservoirs d'équilibre.....	17
Tableau VI : Bilan diagnostic des installations hydrauliques	18
Tableau VII : Evolution de la population des secteurs étudiés	21
Tableau VIII: Evolution du taux de couverture suivant les différentes années (2015-2016) ..	21
Tableau IX : Demande en eau	23
Tableau X : Caractéristiques des forages retenus.....	27
Tableau XI : Exploitation des forages.....	27
Tableau XII: Paramètres de dimensionnement des décanteurs statiques horizontaux.....	28
Tableau XIII: Caractéristiques des filtres à sable sous pression	30
Tableau XIV: Caractéristiques du château d'eau.....	31
Tableau XV : Vitesse d'écoulement recherchée	32
Tableau XVI : Diamètre de la conduite lac à l'entrée de la station de traitement	33
Tableau XVII : Diamètre de la conduite station de traitement-réservoir au sol de 190 m ³	34
Tableau XVIII : Diamètres des conduites quittant les forages.....	35
Tableau XIX : Diamètre du collecteur principal.....	35
Tableau XX : Récapitulatif des HMT des pompes	36
Tableau XXI : Estimation financière des travaux sur le réseau d'adduction.....	38
Tableau XXII : Travaux de renforcements à réaliser	41

LISTE DES FIGURES

Figure I: Carte de localisation de la zone d'étude.....	3
Figure II : Données climatiques de la ville de Djougou.....	4
Figure III : Schéma synoptique des équipements hydrauliques du réseau RDC de la ville de Djougou alimentant les secteurs étudiés	8
Figure IV : Prise d'eau brute à l'entrée de la station de traitement	9
Figure V : Courbe Hauteur-Volume initiale du lac Téro	12
Figure VI : Courbe Hauteur-Volume du lac Téro après aménagement	25
Figure VII : Installation de la crépine au niveau du lac Téro.....	37

LISTE DES PHOTOS

Photo I : Délimitation du bassin versant Wéwé-Ouémé	10
Photo II : Vue du Lac TERO.....	11
Photo III : Vue du déversoir du Lac TERO	11
Photo IV: Vue des décanteurs	14
Photo V : Vue des filtres cylindriques	14
Photo VI: Vue de la salle de pompage	15
Photo VII : Vue des équipements de la tête du forage de Nangatchori	16

LISTE DES COUPES

Coupe I : Décanteur statique rectangulaire à flux horizontal.....	28
Coupe II : Filtre à sable sous pression.....	29

AVANT-PROPOS

La présente étude a été menée au sein de la structure d'accueil SOGEA-SATOM. Il s'agit d'une entreprise œuvrant dans le domaine du BTP, présente sur une vingtaine (20) de pays du continent Africain. SOGEA-SATOM est l'une des principales composantes internationales de VINCI Construction, du groupe VINCI. Ses domaines d'activités s'inscrivent généralement dans les routes et terrassement (60%); le génie civil et le bâtiment (25%); l'hydraulique et l'environnement (15%).

Le marché de travaux qui a fait l'objet de la présente étude est divisé en deux lots : un premier lot portant sur le réseau d'adduction de la ville de Djougou et un second lot portant sur le réseau de distribution. Ce marché a été financé par la BOAD (Banque Ouest Africaine de Développement) et les travaux sont exécutés pour le compte de la SONEB (Société Nationale des Eaux du Bénin). Le premier lot, portant sur le réseau d'adduction a été attribué la SOGEA SATOM et les travaux sont prévus sur 10 mois pour un coût estimé à 511 420 691 FCFA.

INTRODUCTION

L'eau potable est indispensable au bien-être de tous les êtres vivants et au bon développement de tout pays, mais elle est pourtant souvent inaccessible. Garantir son accès demeure un grand problème dans les pays en développement. C'est le cas de la République du Bénin, qui, à l'instar des autres pays africains, est confrontée à des graves difficultés d'accès à l'eau potable. En effet, face au développement et à la démographie galopante (avec un taux d'accroissement passé de 3,25% en 2002 à 3,51% en 2015) (INSAE, 2013), les ressources en eau se sont révélées insuffisantes pour répondre aux besoins et exigences des populations.

La ville de Djougou située au Nord-Ouest du Bénin, qui fait l'objet de la présente étude se retrouve donc confrontée à ces difficultés. En saison sèche, les populations vivent un déficit dans la fourniture en eau potable. Ainsi, dans le souci d'accompagner la politique du gouvernement pour l'accès à l'eau potable (et dans la perspective de l'atteinte des Objectifs du Développement Durable récemment adoptés en Septembre 2015), la ville de Djougou a été sélectionnée par la BOAD (Banque Ouest-Africaine de Développement) pour le financement d'un projet de renforcement de son réseau d'alimentation en eau potable. C'est donc dans ce cadre que s'inscrit le présent projet de renforcement du réseau d'alimentation en Eau Potable de la ville de Djougou en vue de proposer un réseau capable d'assurer l'adéquation entre les besoins en eau des populations et les ressources en eau.

Cela nécessite une bonne connaissance des défaillances des installations actuelles et une meilleure estimation des besoins futurs pour concevoir un système qui répondrait à la demande en eau potable jusqu'à l'horizon 2020. Aussi, il faudra tenir compte, sur les plans quantitatif et qualitatif, des ressources en eaux exploitées et de leur évolution dans le temps.

I. PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS D'ETUDE

I.1. Contexte et problématique

La majorité des localités situées au Nord-Ouest de la République du Bénin sont alimentées entièrement ou partiellement par des eaux souterraines captées dans le socle cristallin. Cependant depuis quelques années, les capacités de production en eau des infrastructures hydrauliques installées dans la plupart de ces localités se sont révélées insuffisantes pour couvrir les demandes réelles des populations. C'est le cas de la ville de Djougou. Cette ville dispose d'un système d'Approvisionnement en Eau Potable (AEP) caractérisé par un captage, un traitement, un stockage et un réseau de distribution. Ainsi, les ressources en eau existantes à Djougou ne permettent plus d'assurer l'adéquation entre les besoins en eau de la population et la quantité d'eau produite.

En effet, la ressource d'eau de surface (lac Tero) est sujette à des perturbations pendant les saisons sèches. Ces perturbations se traduisent entre autre par la baisse du niveau d'eau du lac Tero allant du seuil existant 420,68 m pour un volume de 251 437 m³ à la côte 419 m pour un volume de 58 670 m³, voire son assèchement (côte 417 m pour un volume de 99 m³) entraînant de ce fait un déficit dans la fourniture d'eau potable aux populations pendant lesdites saisons. L'évaporation en ces saisons sèches est estimée à 5 mm/j. Ainsi, un diagnostic du système existant, et un renforcement du système d'adduction s'avèrent nécessaire pour assurer l'adéquation entre les besoins en eau des populations et la quantité d'eau produite.

I.2. Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude est de proposer **des solutions techniques pour améliorer la desserte de l'eau potable dans la ville de Djougou (Bénin)**

Les objectifs spécifiques qui en découlent sont les suivants :

- ❖ Mener un diagnostic clair du réseau d'adduction de la ville de Djougou donnant la situation actuelle de l'adduction et faisant apparaître ses déficiences ;
- ❖ Réévaluer la demande des consommateurs à l'horizon 2020 ;
- ❖ Proposer un renforcement du réseau d'adduction en vue d'assurer la demande précédemment identifiée.

I.3. Présentation du cadre d'étude

Djougou est une commune urbaine située à environ 450 km de Cotonou, la capitale économique du Bénin. Elle fait partie des quatre communes qui composent le département de la Donga au Nord-Ouest du Bénin. Elle est limitée au nord par les communes de Kouandé et de Péhunco, au sud par la commune de Bassila, à l'est par les communes de Sinendé, de N'dali et de Tchaourou et à l'ouest par les communes de Ouaké et de Copargo. Djougou, chef-lieu du département, couvre une superficie de 3966 km² et est comprise entre les coordonnées géographiques suivantes : 9°42'02''Nord et 1°40'00''Est. La figure I présente la localisation des secteurs de la ville de Djougou.

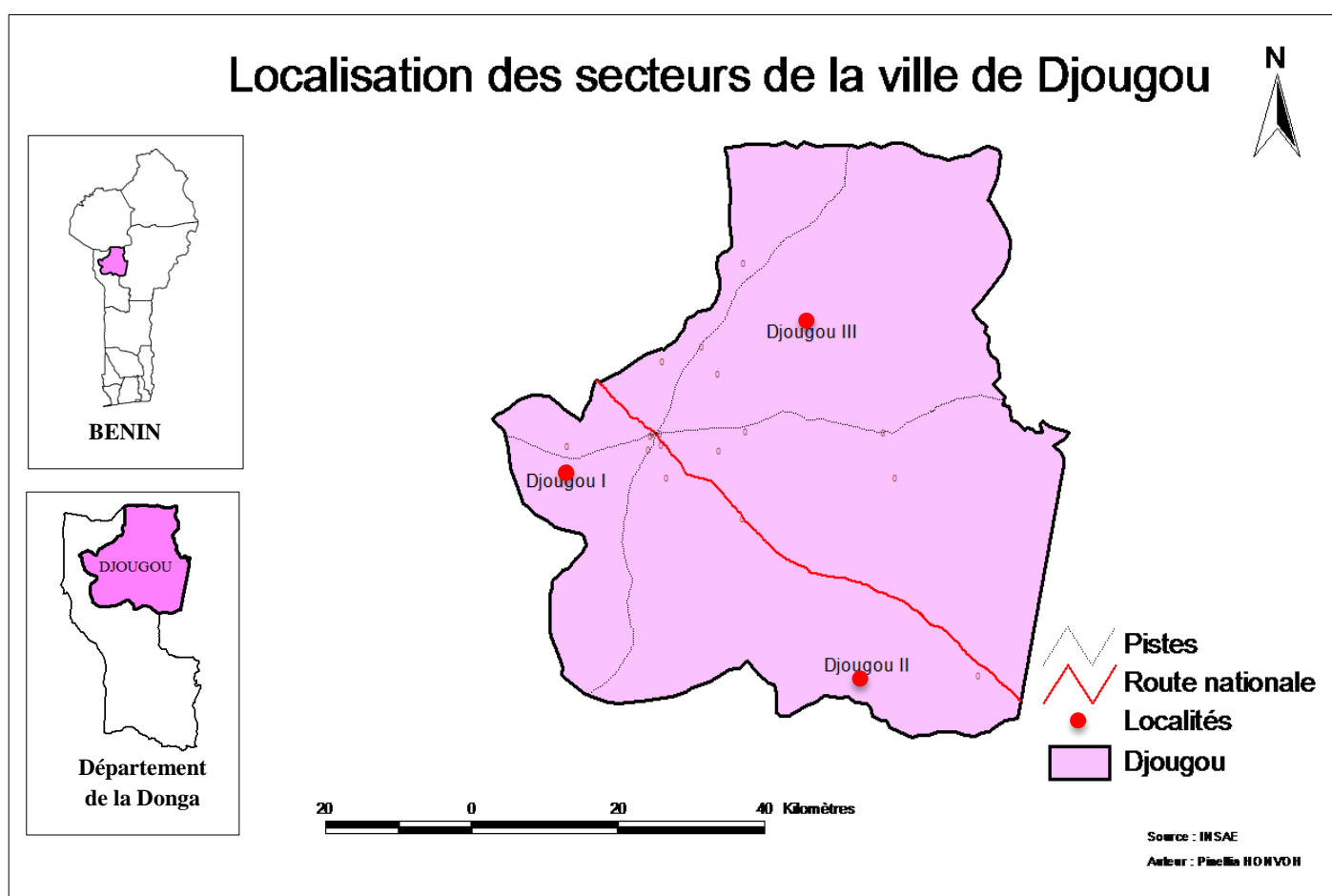


Figure I: Carte de localisation de la zone d'étude

I.3.1. Cadre physique de la ville de Djougou

Climat : La ville de Djougou est caractérisée par un climat de type Nord-Guinée avec deux saisons bien marquées que sont la saison sèche dont la durée est de cinq mois (novembre à avril) et la saison pluvieuse qui dure six mois (avril à septembre). La normale des précipitations varie entre 1000 mm et 1500 mm d'eau pour 75 à 140 jours effectifs de pluie (Biaou, 2006). Elle connaît, de décembre à février, l'harmattan, un vent sec et frais qui souffle du Sahara vers l'Ouest sur l'Afrique occidentale. Les variations mensuelles des températures minimales et maximales et les paramètres climatiques annuels sont présentés sur la figure II.

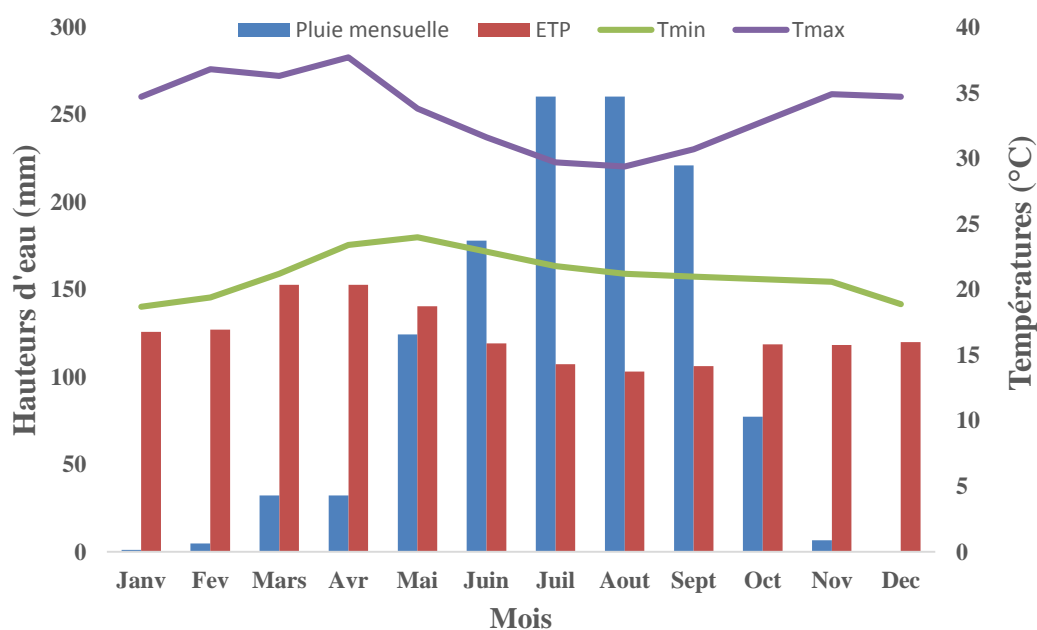


Figure II : Données climatiques de la ville de Djougou

Sols et relief : les sols sont de texture argilo-sableuse ou latéritique (gravillonnaires ou caillouteux) globalement favorables à l'agriculture. On y distingue deux types de sols : les sols ferrugineux peu lessivés et les sols ferralitiques qui sont présents dans les zones à couches d'altérites épaisses. De plus, le relief de la ville est accidenté et le plateau est parsemé de collines de faibles dénivellations.

Végétation : elle est constituée de savanes arborées et arbustives plus ou moins dégradées par les pratiques culturales. Ses savanes sont composées de formations mixtes d'arbustes et d'arbres. Le couvert végétal est relativement abondant et donne une allure de savane boisée.

Hydrographie : située dans le bassin versant de Wewe-Ouémé, la ville de Djougou est drainée par quatre (4) cours d'eau d'une longueur totale de 21 km : Donga ; Affon (affluent de l'Ouémé supérieur) ; Monmongou et Doninga. Elle dispose par ailleurs de cinq (05) retenues d'eau réparties dans les localités de Djougou 1, Foumbia (Kolokondé), Daringa, Béléfoungou et Dangounsa (Baréi). Ces ressources en eau favorisent le développement des cultures de contre-saison, l'élevage et la pêche.

I.3.2. Population et habitat

Le recensement de 1972 estimait la population de Djougou à 87 178 habitants ; en 1992 elle est passée à 134 099 habitants avec un taux de croissance annuel de 3,12 % et a été estimée à 181 895 en 2002 avec un taux de croissance de 3,10% (INSAE, 2002). De nos jours, la population de la ville de Djougou est de 259 234 habitants et est constituée en majorité du groupe socioculturel Yom-Lokpa qui en constitue 53% et la religion la plus pratiquée est l'islam (72%) (INSAE, 2013). Cependant, la population des trois secteurs étudiés à l'horizon 2020 est estimée à 80 844 habitants.

Les habitats disposent d'installations sanitaires, les maisons sont de type moderne, construites en matériaux durables à base de ciment et sont couvertes de tôles (INSAE, 2002).

II. METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Pour atteindre les objectifs attendus, nous avons adopté une démarche s'articulant autour de cinq principales phases, à savoir: la collecte et l'analyse des données suivie de la visite de terrain, l'analyse technique aboutissant sur la conception et le choix des équipements et enfin la rédaction du mémoire. Le tableau I présente le planning des activités :

Tableau I : Planning des activités effectuées au cours du stage

Désignation	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre
Collecte et analyse des données					
Visite de terrain					
Analyse technique					
Conception et choix des équipements					

Rédaction du mémoire



Collecte et analyse de données : elle a principalement consisté à l'analyse des termes de référence pour avoir une compréhension précise de la problématique et du travail demandé. Elle a permis également d'avoir une meilleure compréhension des enjeux et de prendre en compte toutes les attentes. Cette étape a été suivie par la phase de collecte des données de base, de recherche et d'exploitation des rapports et/ou documents techniques existants sur la zone d'étude. Ces données, recueillies dans la monographie disponible pour la ville Djougou, sont relatives au milieu physique de la zone, notamment les éléments tels que : les sols, la végétation, la faune, le climat, le relief, le régime hydrographique.

Visite de terrain : elle a permis de vérifier et d'actualiser les informations recueillies au cours de la phase de collecte et d'analyse de données en vue de permettre la conception et le renforcement d'un système d'AEP adéquat. Elle a constitué en un certain nombre de descentes périodiques sur le terrain afin de collecter les informations sur : la taille de la population concernée par le projet, l'emplacement des différents ouvrages de stockage, la longueur et le diamètre des conduites d'adduction, la longueur du réseau de distribution, les caractéristiques des pompes de la prise d'eau brute au niveau du lac Tero et de la salle de reprise, la qualité des eaux brutes et les caractéristiques des forages.

Analyse technique : elle a été la phase d'analyse des propositions techniques faites pour le projet. Elle a jeté les bases de la conception du système en permettant de mieux nous familiariser avec les éléments de la zone d'étude notamment les ouvrages et équipements hydrauliques existants. Elle nous a ainsi permis d'identifier les éléments de la conception pouvant être améliorés pour un meilleur système. Les éléments de base du dimensionnement ont pu être définis lors de cette phase, à savoir : la population concernée, les nouveaux besoins en eau, le temps de pompage et la nouvelle capacité utile du lac Tero.

Conception et choix des équipements : c'est la phase qui a permis de mettre à profit toutes les données recueillies, pour la conception d'un système plus efficient et/ou plus économique avec pour fondement les éléments de la visite du terrain et pour logistique les logiciels tels que Autocad, ArcView, MapInfo et Epanet.

Rédaction du mémoire : elle a consisté en l'analyse des données contenues dans la documentation et en la synthèse globale des propositions. Le présent mémoire technique est le résultat de cette dernière étape de travail.

III. RESULTATS DU DIAGNOSTIC AEP DE LA VILLE DE DJOUGOU

Le réseau global de la ville de Djougou est constitué :

- D'une partie adduction, composée de :
 - ❖ La ressource en eau brute : une eau de surface (lac Tero) et de l'eau souterraine (2 forages) ;
 - ❖ La partie traitement des eaux brute : 01 station pour les eaux de surface, et une unité d'injection de chlore par forage.
- D'une partie stockage, composée de :
 - ❖ 01 bache de 20 m³ ;
 - ❖ 02 réservoirs principaux, avec cuve au sol de 150 m³ et 190 m³ respectivement.
- D'un réseau de distribution entièrement en PVC, avec une longueur totale de 45 526 mètres linéaires pour 1 133 abonnés soit 25 abonnés/km.

Le réseau d'AEP de la ville de Djougou alimentant les trois secteurs étudiés est un réseau de type distributif. C'est un système à une seule et unique canalisation assurant la distribution et le stockage vers un ou plusieurs réservoirs. On remarque alors que l'eau en distribution a deux origines et provient soit directement des pompes, soit de la « redescente » des réservoirs. L'eau change donc de sens dans la canalisation, suivant les périodes de pompages. Il est important de noter que dans cette vision des réseaux, lors du pompage, il est toujours nécessaire d'avoir un exutoire pour l'excédent d'eau amenée en distribution. Cela est impératif sous peine de faire monter la pression de refoulement. L'exutoire est tout simplement les deux réservoirs au sol dans notre cas. La figure III présente le schéma synoptique des équipements hydrauliques du réseau d'adduction de la ville de Djougou alimentant les trois secteurs (Djougou I, Djougou II et Djougou III).

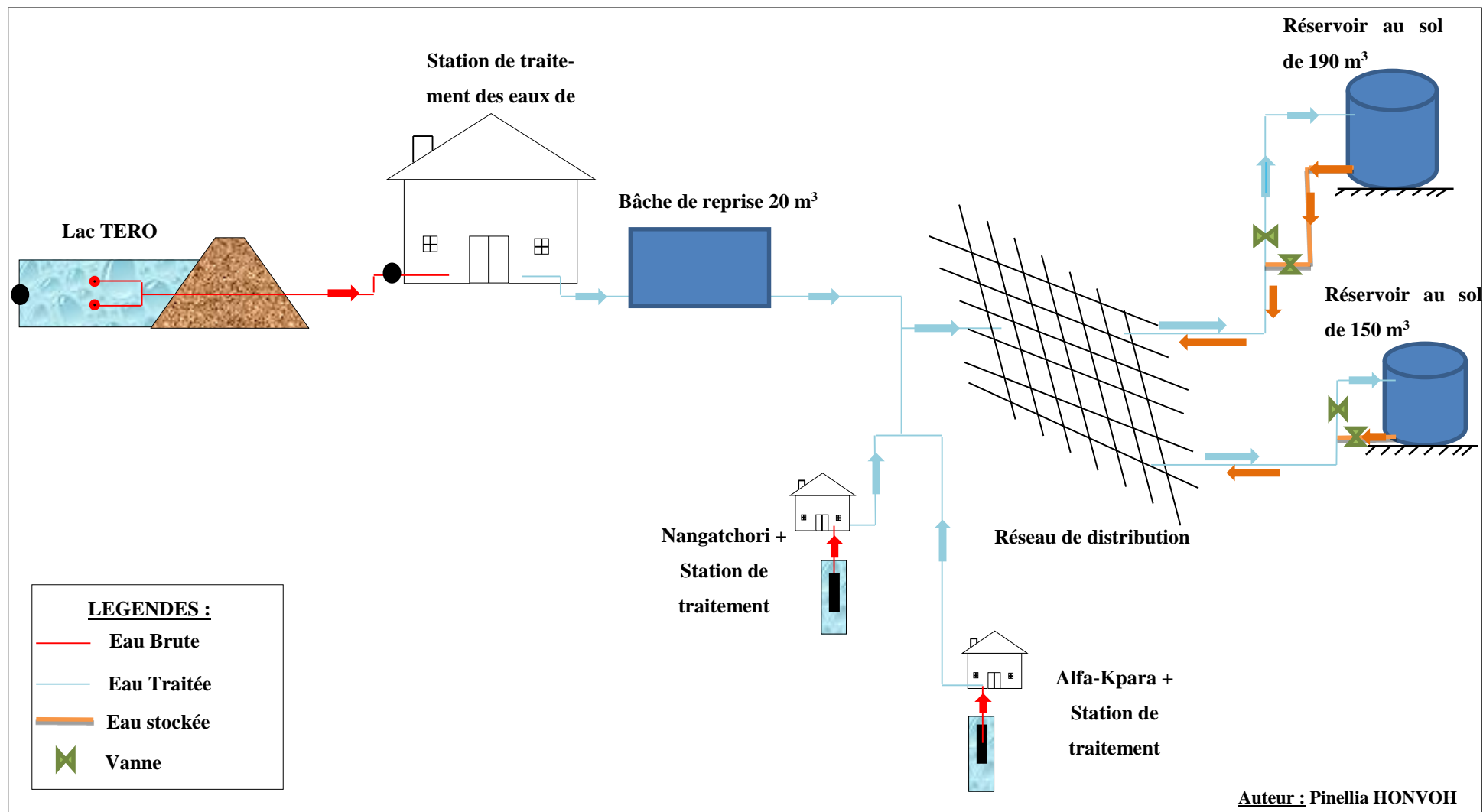


Figure III : Schéma synoptique des équipements hydrauliques du réseau RDC de la ville de Djougou alimentant les secteurs étudiés

La figure IV présente le schéma détaillé des équipements de la prise d'eau brute jusqu'à l'entrée de la station de traitement.

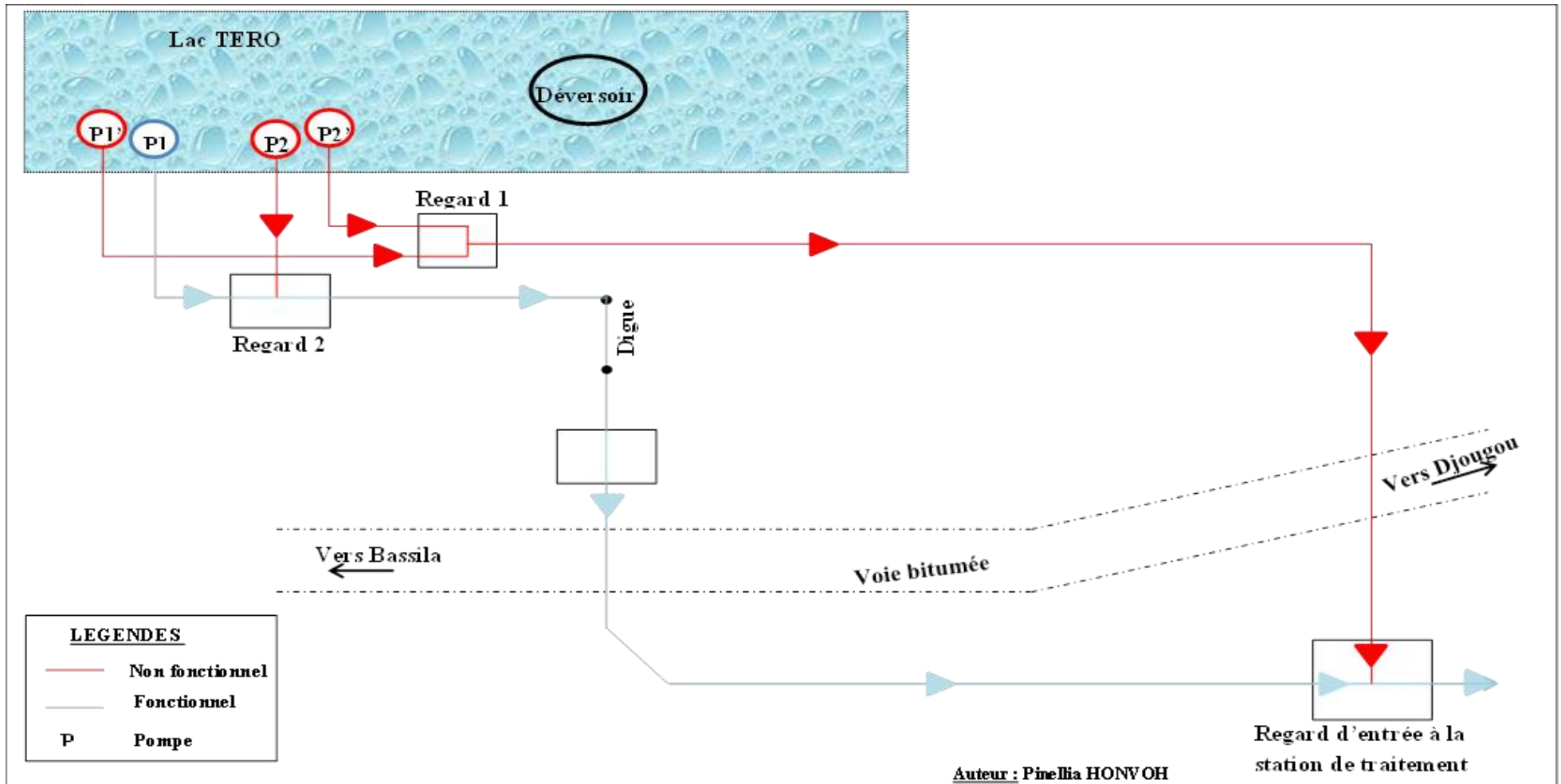


Figure IV : Prise d'eau brute à l'entrée de la station de traitement

III.1. Diagnostic de la ressource en eau

Les trois secteurs de la ville de Djougou sont alimentés par deux sources d'eau. D'une part nous avons une source d'eau de surface, le lac Tero qui couvre les besoins en eau de la population à environ 95% et d'autre part une source d'eau souterraine.

III.1.1. Diagnostic de la ressource en eau de surface : lac Tero

Le bassin versant alimentant le Lac Téro est le bassin versant Wéwé-Ouémé, il couvre une superficie de 29,87 km² pour un périmètre de 26,87 km, sur une altitude moyenne de 420 m. La photo I présente la délimitation du bassin versant et ses caractéristiques sont résumées dans le tableau II.

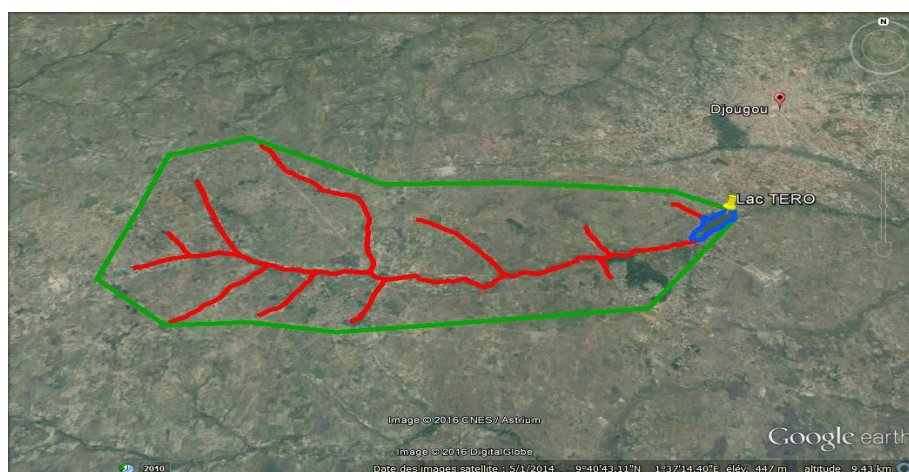


Photo I : Délimitation du bassin versant Wéwé-Ouémé

Tableau II : Caractéristiques du bassin versant Wéwé-Ouémé

Caractéristique de Bassin Versant			
Surface	S	Km ²	29,87
Périmètre	P	Km	26,18
Indice de Gravelius	Kc		1,35
Longueur du Talweg	Lc	Km	11,37
Longueur du rectangle équivalent	Lc	Km	11,24
Côte maximale	Hmax	m	484,00
Côte minimale	Hmin	m	415,00
Indice globale de pente	Ig	m/Km	6,14
Dénivelée spécifique	Ds	m	1,12
Ecoulement moyen annuel		mm	14,00

Le Lac Tero est situé à l'entrée Sud de la ville de Djougou et a pour coordonnées 01°39'15''Est et 09°41'03''Nord. Sa capacité est de 251 437 m³ pour la côte existante de 420,68 m (PEN). Ce lac est sujet à des perturbations pendant les saisons sèches, comme nous le montrent les photos II et III, prises pendant le mois d'Avril (2014), mois le plus chaud de l'année.



Photo II : Vue du Lac TERO



Photo III : Vue du déversoir du Lac TERO

Pendant les saisons sèches, on constate que l'eau se retire vers le lit mineur, laissant des surfaces dénoyées d'environ 85 729 m² ce qui correspond à la côte 419 m et le déversoir à découvert; comparaison faite à partir de la côte du seuil du déversoir (420,68 m). Ces surfaces servent d'une part de pâturage au bétail et d'autre part d'habitation et de zones cultivable pour les sans-abris. Ce tarissement s'observe surtout pendant les saisons sèches et a des causes multiples. En autres nous avons : l'évaporation et la réduction de la pluviométrie, conséquence des changements climatiques globaux.

Sur la base des levés bathymétriques obtenus auprès de la SONEB, nous avons pu reconstituer la courbe Hauteur-Volume du lac Téro. Le tableau regroupant ses données se trouve en annexe (1). La figure V présente le tracé de la courbe Hauteur-Volume initiale, à la mise en service du lac TERO, en 1954. Sur cette figure, nous désignons par PEN le Plan d'Eau Normal et par PE en Avril 2015, le Plan d'Eau en Avril 2015.

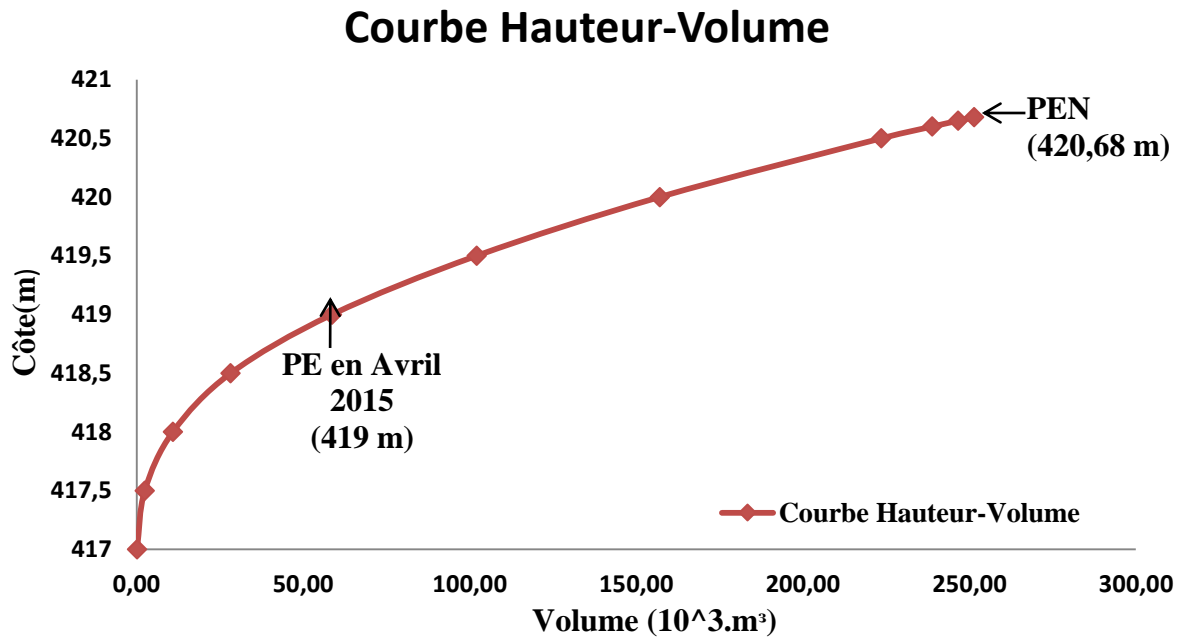


Figure V : Courbe Hauteur-Volume initiale du lac Térou

Il ressort qu'en Avril 2015, le plan d'eau, à étiage, est à la cote **419 m** : le fond envasé est alors visible et correspond à une tranche d'eau de **58 670 m³** sur la courbe hauteur-volume initiale du lac. La cote du seuil existant est à **420,68 m**, correspondant à un volume d'eau de **251 437 m³** pour une hauteur de **3,68 m** sur la courbe hauteur-volume initiale. La capacité utile actuelle du lac est donc de **192 767 m³**. Il y a donc, un envasement prononcé de 2 m.

Le captage dans le lac est effectué grâce à une prise d'eau implantée dans le fond du lit. Cette prise d'eau est faite à l'aide de quatre pompes immergées (02 pompes à Madrainer et 02 pompes Grundfos). Cependant, une seule des deux pompes Grundfos, celle de 14 m³/h est toujours fonctionnelle. Les caractéristiques et performances de la prise d'eau sont présentées dans le tableau III.

Tableau III : Caractéristiques des pompes sur prise d'eau au lac TERO

Pompes	Q (m ³ /h)	HMT (m)	Marque pompe	Rendement maximum
Pompe 1	14	35	Grundfos	70%
Pompe 2	17	48	Grundfos	-

Le transport de l'eau brute venant de la pompe fonctionnelle jusqu'à l'entrée de la station de traitement est assuré par des conduites PVC de diamètre 110 de PN10.

Comme pour toute eau de surface servant à la consommation des êtres vivants, le suivi et le contrôle de sa qualité est nécessaire pour assurer leur bien-être. Les résultats des analyses de l'eau brute prélevée dans le lac sur différentes années (2004 – 2012) (voir l'annexe (2)), montrent que tous les échantillons analysés respectent les directives de l'OMS, mais des valeurs supérieures à celles requises relative à la turbidité ont été obtenues aux années suivantes : 2004 ; 2006 ; 2010 et 2011. La turbidité désignant la teneur d'une eau en particules suspendues qui la trouble, on note une turbidité élevée pendant ces différents mois car ce sont des mois de début de saison pluvieuse. De plus, elle est vraiment prononcée pendant le mois de Juillet car il y a plus d'écoulement ce qui entraîne le transport des matières organiques et inorganiques vers le lac. Cette turbidité pourrait aussi être due au colmatage des filtres et à la vétusté des installations du réseau.

III.1.2. Diagnostic des eaux souterraines

Djougou I, II et III sont également alimentés par deux puits de captage localisés à Alfa-Kpara et à Nangatchori qui sont situés au Sud-Est de la ville sur l'axe Djougou-Parakou et raccordés au réseau d'adduction. Ces forages ont de faibles débits, mais ils sont exploités à 100% car ils complètent la ressource en eau de surface pour couvrir les besoins de la ville. Leurs caractéristiques figurent dans le tableau IV.

Tableau IV : Caractéristiques des forages raccordés au réseau d'adduction

Forages	Longitude Est	Latitude Nord	Distance de Djou- gou (km)	Profondeur forée et équipée (m)	Q (m³/h)	Source d'Alimentation
Alfa-Kpara	01°46'53,68''	09°36'45,41''	16	70	7	Réseau électrique SBEE
Nangatchori	01°44'22,58''	09°38'38,59''	11	70	7	Groupe électrogène

Ces forages sont situés à environ 20 km de la ville de Djougou et ont un débit au développement inférieur à 10 m³/h. Les temps de pompage de chaque forage existant est de 22 h/j et le

volume fourni par ces forages est 308 m³. Quant à l'analyse des eaux souterraines, nous ne disposons pas d'informations.

III.2. Diagnostic des stations de traitement

III.2.1. Diagnostic du traitement des eaux de surface

Un traitement complet (coagulation-floculation-décantation, filtration et désinfection) est appliqué aux eaux de surface. La station de traitement des eaux de surface est constituée des ouvrages de traitement suivants :

- 02 décanteurs lamellaires cylindro-coniques de capacité de 15 m³/h chacun ;
- 03 filtres cylindriques de 15m³/h chacun;
- 01 bâtiment d'exploitation de 20 m x 5,5 m.

La photo V présente une vue des décanteurs et la photo VI présente une vue des filtres cylindriques.



Photo IV: Vue des décanteurs **Photo V :** Vue des filtres cylindriques

Les deux (02) décanteurs existants à la station de traitement des eaux de surface ont une charge massique limitée. Ainsi, lorsque le débit venant de la prise d'eau brute est élevé (02 pompes en marche), les décanteurs ne fonctionnent plus correctement ; ce qui empêche le bon traitement des eaux de consommation, qui de ce fait restent turbides et nuisibles à la santé des consommateurs.

Une partie de l'eau traitée en provenance de la station de traitement des eaux de surface est stockée dans une bache de reprise de 20 m³ construite en dessus composée de deux pompes verticales. Une vue de la salle de pompage est présentée sur la photo VII.



Photo VI: Vue de la salle de pompage

La bêche de reprise est équipée de :

- 02 groupes électropompes de 30 m³/h – HMT 35 m chacun, qui refoulent l'eau traitée dans le réseau de distribution ;
- 01 surpresseur d'air de lavage des filtres ; installé à l'extérieur entre les filtres et les décanteurs.

Le surpresseur est laissé à l'air libre. De plus, vu l'augmentation du débit de la prise (lac TE-RO), la capacité de la bêche de reprise est dépassée. Il est donc nécessaire de prévoir l'installation d'une nouvelle bêche de reprise de capacité utile supérieure.

III.2.2. Diagnostic du traitement des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont traitées au niveau de chaque forage puis collectées par une conduite en PVC de diamètre 160 mm PN10 raccordée au réseau de distribution. Le traitement de ces eaux se résume à la désinfection. En effet, au niveau de chaque forage, les eaux reçoivent l'injection de l'hypochlorite de calcium avant d'être distribuées dans le réseau.

La station de traitement est constituée de :

- 01 bâtiment abritant le groupe électrogène de 17 KVa en panne sur le site d'Alpha Kpara et fonctionnel sur le site de Nangatchori ;
- les équipements du poste de désinfection, composés d'une cuve de 300 L + une pompe doseuse de 50 l/h à 10 bars.

La photo VIII présente une vue des équipements de la tête du forage de Nangatchori.



Photo VII : Vue des équipements de la tête du forage de
Nangatchori

L'injection du chlore ne fonctionne pas au niveau du forage existant à Alfa-Kpara, ce qui implique que les populations à l'aval de ce forage consomment des eaux non désinfectées. De plus, les eaux issues de ce forage sont cumulées après une vingtaine de kilomètres aux eaux du forage de Nangatchori qui elles reçoivent une injection de chlore avant leur distribution. Mais, le chlore étant un gaz, son évaporation est rapide. Le cumul de ces eaux de forages est par la suite transporté à des centaines de kilomètres pour la distribution aux populations. On peut donc en déduire que les eaux souterraines ne subissent pas une désinfection suffisante.

III.3. Diagnostic des conduites d'adduction

Les conduites constituant le réseau d'adduction varient des diamètres extérieurs 75 mm à 225 mm de PN10. Les diamètres des conduites acheminant l'eau de la prise à la station de traitement sont des conduites en PVC de diamètres extérieurs 75, 100 et 250 mm de PN10. L'eau issue des forages est directement refoulée dans le réseau suite à une injection d'hypochlorite de calcium par des conduites de PVC 200 de PN10 et l'eau traitée à la station de traitement est envoyée dans le réseau de distribution par des conduites de PVC 200 PN10. Ses conduites étant présentes dans le réseau depuis plusieurs années, on constate des dépôts par endroits. De plus, en considérant l'augmentation de la capacité de production de la ressource en eau, les conduites en place ne pourront plus assurer le transport de l'eau aux débits et à vitesses souhaitées.

III.4. Diagnostic des éléments de stockage

La partie stockage du réseau d'adduction de la ville de Djougou se compose de deux réservoirs principaux. Une partie des eaux de surface traitées ainsi que les eaux traitées en provenance des forages sont refoulées directement dans le réseau de distribution. L'excédent de production est acheminé vers deux réservoirs au sol qui jouent alors le rôle de réservoirs d'équilibre. Ils sont de forme cylindrique en béton armé. Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau V :

Tableau V : Caractéristiques des réservoirs d'équilibre

Caractéristiques	Réservoir au sol de 150 m³	Réservoir au sol de 190 m³
Emplacement	Au sein de la mosquée centrale	Au quartier Kilir
Longitude Est	01°20'3,11''	01°20'27,64''
Latitude Nord	09°42'38,02''	09°42'20,21''
Volume (m ³)	150	190
Hauteur initiale (m)	4	6
Surface (m ²)	37,5	31,7
Diamètre (m)	7	6
Hauteur min (m)	3,35	5,15
Hauteur max (m)	4	6

Les vannes flottantes au niveau de ces réservoirs ne fonctionnent pas, ce qui entraîne des pertes en eau considérables avant leurs fermetures manuellement.

III.5. Synthèse de l'étude diagnostique du réseau d'adduction

La synthèse du diagnostic de l'adduction de Djougou est résumée dans le tableau VI.

Tableau VI : Bilan diagnostic des installations hydrauliques

Composantes de l'adduction	Installations hydrauliques	Observations
Ressource en eau	Retenue	<ul style="list-style-type: none"> retenue envasée ; présence de végétaux sur le plan d'eau et d'animaux pendant la saison sèche.
	Tour de prise	<ul style="list-style-type: none"> trop exigü et sans sécurité (garde-fou) pour les opérations de maintenance ; manque de pompe de refoulement.
	Forage 1 (Alpha-Kpara)	<ul style="list-style-type: none"> manomètre non fonctionnel et relais de protection de la pompe non fonctionnel ; groupe électropompe en panne.
	Forage 2 (Nangatchori)	<ul style="list-style-type: none"> manomètre non fonctionnel et relais de protection de la pompe non fonctionnel ; pas de groupe électropompe.
Traitement	Regard d'arrivée à la station de traitement	<ul style="list-style-type: none"> en mauvais état
	Décanteurs sous pression	<ul style="list-style-type: none"> capacité limitée ; à réhabiliter et à renforcer
	Filtres cylindriques cylindro-tronconiques	<ul style="list-style-type: none"> capacité limitée ; à réhabiliter et à renforcer
	Bâche de 20 m ³	<ul style="list-style-type: none"> Faible capacité
	Station de traitement des forages	<ul style="list-style-type: none"> Injecteur de chlore en panne
Stockage	Réservoir au sol 150 m ³	<ul style="list-style-type: none"> vanne flottante non fonctionnelle ; voiles humides, problème d'étanchéité équipements hydrauliques DN 150 en amiante ciment.
	Réservoir au sol 190 m ³	<ul style="list-style-type: none"> vanne flottante non fonctionnelle ; voiles humides, problème d'étanchéité.

Le réseau d'adduction alimentant les secteurs Djougou I, II et III de la ville de Djougou est de type RDC et permet à 33,1 % de la population d'avoir de l'eau potable. Néanmoins, d'après les faits énoncés précédemment, au niveau de l'adduction on note une pénurie d'eau pendant la saison sèche causée par l'assèchement du lac TERO et le faible débit de production des forages ne permet pas d'assurer le relais pour l'alimentation en eau des populations. Ainsi, les variations mensuelles des pluies et des évaporations au cours de l'année 2014, prouvent que durant les 5 mois de saisons sèches, une faible quantité d'eau de pluie est ruisselée vers le lac et une forte évaporation est remarquée. Tandis que pendant les mois de saisons pluvieuses, une grande quantité de pluie est apportée au lac et une petite quantité d'eau est évaporée. Les populations ne disposent donc pas d'une quantité d'eau nécessaire pour satisfaire leurs besoins pendant ces cinq (5) mois. Pour ainsi, remédier à ce problème et en considérant la croissante galopante de la population, nous allons proposer des solutions en vue d'améliorer l'approvisionnement en eau des populations des secteurs Djougou I, II et III.

Quant au réseau de distribution, des chutes de pressions sont remarquées et sont relativement causées par les ouvrages de stockage au sol. Elles sont observées lors du pompage au niveau des réservoirs. Les populations se trouvant donc aux altitudes les plus hautes sont difficilement approvisionnées en eau potable. Pour résoudre ces problèmes, les travaux de renforcement du réseau de distribution seront effectués par une autre structure et constitueront à faire une extension du réseau et une pose des vannes de sectionnement.

Notre étude se focalisera sur l'adduction pour ainsi essayer d'apporter des solutions permettant d'assurer l'alimentation en eau des populations pendant les cinq mois de la saison sèche.

IV. RESULTATS DE LA CONCEPTION ET CHOIX DES EQUIPEMENTS

Sur la base des différents problèmes précédemment identifiés, le renforcement, la conception et le choix d'un certains nombres d'équipements s'avère nécessaire pour le bon fonctionnement du réseau en vue de son optimisation. Ainsi, pour renforcer les installations en place au niveau da station de traitement des eaux de surface, nous allons compléter un (01) nouveau décanteur statique rectangulaire à flux horizontal véhiculant 45 m³/h, deux (02) filtres à sable sous pression véhiculant 15 m³/h chacun ; nous allons également construire une nouvelle bêche de 260 m³ pour compléter la capacité de la bêche de reprise existante de 20 m³, réhabiliter les ouvrages de stockages existants et implanter un château d'eau de capacité (1 250 m³) pour augmenter la capacité de stockage. De plus, dans l'optique d'optimiser la capacité du Lac Téro, un volume de 58 670 m³ de vase sera enlevé des surfaces noyées et de nouvelles pompes immergées seront installées. Quant aux forages existants, ils seront abandonnés au profit de sept (07) nouveaux forages de débits respectifs 10 m³/h et 45 m³/h.

IV.1. Etude de la demande en eau

IV.1.1. Population et planification de la ressource

La croissance géométrique a été utilisée pour l'estimation de la population future concernée par l'AEP. Les ouvrages conçus dans le cadre de ce projet vont être dimensionnés pour satisfaire les besoins en eau de la population à l'horizon 2020. Les arrondissements au-delà de 10 km ne sont pas concernés par ce projet et d'après les informations recueillies auprès de l'Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE), la population de la ville de Djougou suit une évolution géométrique avec un taux d'accroissement de 3,25%. La population est donc estimée par la formule suivante :

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

Avec

- P_n = Population à l'année cherchée (2020)
- P_0 = Population à l'année 0, soit 2002
- n = Nombre d'années à l'horizon de projet, soit 2020-2002 = 18 années
- α = Accroissement de la population

Le tableau IX présente les secteurs couverts par le projet et l'évolution de la population à l'horizon du projet. Les calculs détaillés par quartiers sont présentés en annexe (3).

Tableau VII : Evolution de la population des secteurs étudiés

Secteurs	2002	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DJOUGOU I	23 654	35 849	37 014	38 217	39 459	40 741	42 065
DJOUGOU II	13 850	20 990	21 673	22 377	23 104	23 104	13 850
DJOUGOU III	15 839	24 005	24 785	25 590	26 422	26 422	15 839
TOTAL	53 343	80 844	83 472	86 184	88 985	91 877	94 863

Avec un taux d'accroissement de 3,25%, la population des trois secteurs est estimée à **94 863 habitants pour l'horizon 2020**. Le réseau actuel assure un taux de couverture des besoins de 33,1% de la population à l'heure actuelle (2015). Sur la base des ODD récemment adoptés en Septembre 2015, l'Etat Béninois s'est donné comme objectif d'atteindre un taux de couverture de 70% à l'horizon 2020 (SONEB, 2015). Le tableau VIII présente l'évolution du taux de couverture des trois secteurs étudiés suivantes différentes années, sur la période 2015-2020.

Tableau VIII: Evolution du taux de couverture suivant les différentes années (2015-2020)

Années	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Populations	80 844	83 471	86 184	88 985	91 877	94 863
Taux de Couverture	0,331	0,405	0,479	0,552	0,626	0,70
Populations desservies	26 759	33 789	41 248	49 155	57 534	66 404

Nous pouvons donc conclure que **66 404 habitants** seront raccordés au réseau de la SONEB à l'horizon 2020.

IV.1.2. Calcul de la demande en eau

Les données de base permettent de déterminer les demandes et les besoins en eau à l'horizon du projet. Ainsi, nous avons :

❖ Consommation spécifique

Les enquêtes effectuées sur le terrain ont révélé que la consommation spécifique de la population de la ville Djougou est de 30 l/jr/hab. La consommation spécifique étant évaluée suivant

le niveau de vie et les habitudes culturelles des populations (prières, agricultures, etc.), nous préconisons une consommation spécifique égale à **35 l/jr/hab** et se répartit comme suit :

- hygiène corporelle: 19 l/j/hab;
- lavage des mains: 1 l/j/hab;
- lessive: 6 l/j/hab;
- boisson : 5 l/j/hab;
- cuisine: 2 l/j/hab;
- vaisselle: 2 l/j/hab.

Les valeurs spécifiques de consommations suivantes les usages ont été définis à partir de standards d'AEP (SONEB, 2015).

❖ **Coefficients de pointe**

Ces coefficients sont influencés par les périodes de chaleur, par les habitudes et comportements en matière d'utilisation d'eau potable dans la ville de Djougou, il est retenu les coefficients de pointe suivants (SONEB, 2015):

- coefficient de pointe journalière (C_{pj}) = 1,05;
- coefficient de pointe saisonnière (C_{ps}) = 1,2 en considérant les zones sahé-lienne.

❖ **Rendement du réseau**

Le rendement est fonction des pertes occasionnées sur l'ensemble du réseau. Les rendements caractéristiques du réseau, donnés par la SONEB, sont les suivants :

- rendement de la chaîne d'adduction (η_{add}) = 95 % ;
- rendement distribution (η_d) = 90 %.

Le besoin est la quantité d'eau qu'il faut aux différents usagers de la ville pour satisfaire leur besoin en eau dans la journée. La demande domestique est évaluée par la formule :

$$D_d = \text{Population} \times \text{Consommation spécifique}$$

La demande sociale (DS) et celle des activités économiques (DAE) sont prises en fonction de la demande domestique. La DS représente 9 % de la D_d et la DAE représente 22% de la DS (SONEB, 2015).

La demande journalière moyenne (D_{jm}) est la somme des D_d , D_S et D_{AE} . Quant à la demande journalière de pointe (D_{jp}), elle est estimée par la formule :

$$D_{jp} = C_{ps} \times C_{pj} \times D_{jm}$$

En prenant en compte des rendements des pertes sur le réseau, nous déterminons les volumes suivants :

- Le volume produit ($V_{produit}$): $V_{produit} \left(\frac{m^3}{j} \right) = \frac{D_{jp}}{\eta_{add}}$;
- Le volume stocké ($V_{stockage}$): $V_{stockage} (m^3/j) = \frac{D_j}{\eta_a}$.

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau IX.

Tableau IX : Demande en eau

Paramètres	2016	2017	2018	2019	2020
Dd (m3/j)	1183	1444	1720	2014	2324
DS (m3/j)	106	130	155	181	209
DAE (m3/j)	23	29	34	40	46
Djm (m3/j)	1312	1602	1909	2235	2579
Djp (m3/j)	1654	2019	2406	2816	3250
Vstockage (m3/j)	1837	2243	2673	3129	3611
Vproduction (m3/j)	1934	2361	2814	3293	3801

A l'horizon 2020, il faudra produire un volume d'eau de **3 801 m³/j** pour satisfaire les besoins en eau des populations de Djougou I, II et III.

IV.2. Mise à contribution de la ressource en eau de surface

IV.2.1. Aménagements et capacité maximale de production au Lac Téro

Le réseau d'eau potable de la ville de Djougou alimentant les secteurs étudiés existe depuis plusieurs années. Pour des raisons d'économie, la présente étude analysera la capacité de la ressource d'eau de surface à couvrir les besoins en eau des populations à l'horizon 2020 et si cette ressource en eau ne couvre pas ces besoins, nous identifierons une autre ressource complémentaire.

Il ressort qu'en Avril 2015, le plan d'eau, à étiage, est à la côte **419 m** : le fond envasé est alors visible, et correspond à une tranche d'eau de **58 670 m³** pour une tranche de **2 m** sur la

courbe hauteur-volume initiale du lac. La côte du seuil existant est à **420,68 m**, correspondant à un volume d'eau de **251 437 m³** pour une hauteur de **3,68 m** sur la courbe hauteur-volume initial. La capacité utile actuelle du lac est donc de **192 767 m³**. Il y a donc, un envasement prononcé de 2 m. **Nous proposons de curer le lac.**

Il est à noter qu'en Avril, le lac est pratiquement à sec et le fond devient visible. Le volume de vase accumulée depuis l'existence du lac TERO est directement lu à la côte 417 m.

$$\underline{\underline{Volume\ de\ vase = 58\ 670\ m^3}}$$

Au mois d'Avril 2015 qui représente le mois le plus chaud de l'année, la vase présente au fond du lac correspond à un volume de 58 670 m³. Ce volume, même récupéré après curage, porterait la capacité utile du lac à une valeur toujours insuffisante pour assurer les besoins en eau des populations de la ville de Djougou. **Nous proposons donc un rehaussement de la côte du déversoir à la côte 421,5 m pour augmenter la capacité utile du lac Téro, soit une tranche totale d'eau de 4,5 m.** La hauteur de rehaussement du déversoir est donc :

$$Hauteur\ de\ rehaussement = 421,5 - Côte\ PEN$$

$$\underline{\underline{Hauteur\ de\ rehaussement = 0,82\ m}}$$

Ces travaux de curage devront permettre d'éliminer les 2 mètres de vase accumulées au fond et permettront d'obtenir un volume total en eau de 251 437 m³ d'eau à la côte déversoir (420,68 m) et un volume total de **597 022 m³** à la côte 421,5 m. Le tableau présentant les différents volumes d'eaux obtenues se trouve en annexe (4). La figure VI présente le tracé de la courbe Hauteur-Volume du lac Téro après aménagement. Nous y désignons par PEN le Plan d'Eau Normal et par PE en Avril 2015, le Plan d'Eau en Avril 2015.

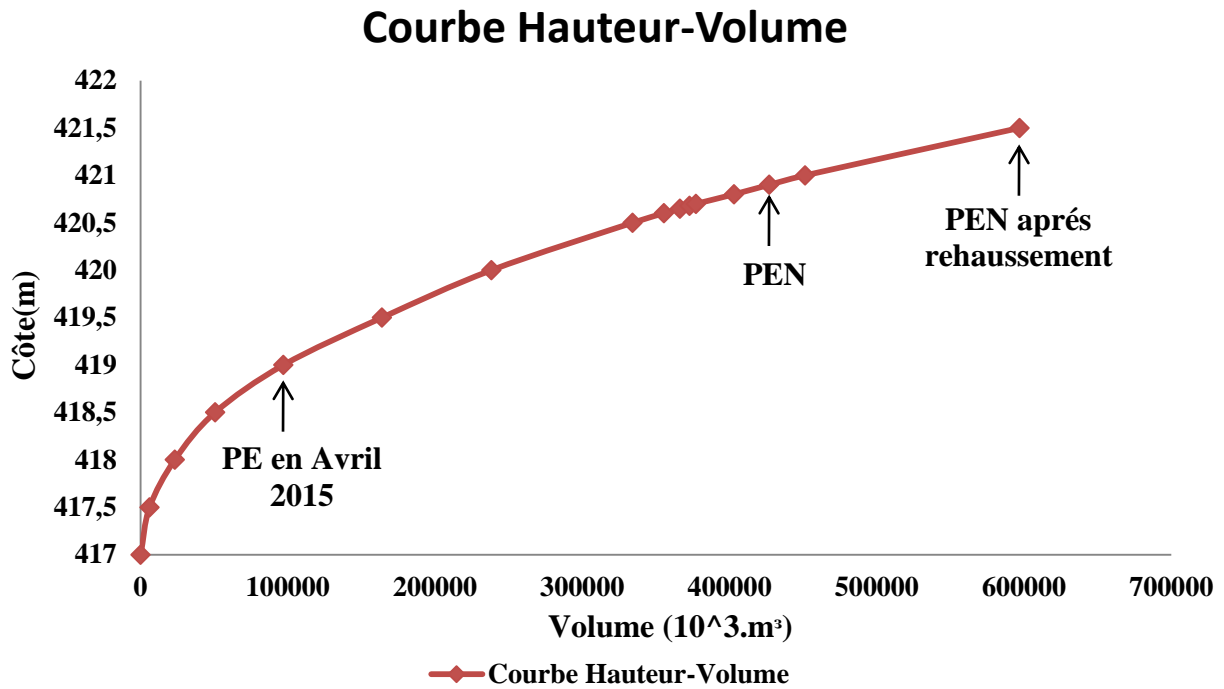


Figure VI : Courbe Hauteur-Volume du lac Térou après aménagement

D'après l'étude précédente effectuée sur la ressource en eau de surface, on ressort que le volume du lac après aménagement est de **572 022 m³** à la cote **421,5 m**.

IV.2.2. Calcul du débit maximal exploitable à partir du Lac Térou

Les différentes sollicitations sur le Lac Térou sont réparties en deux groupes à savoir :

- Les pertes : l'ETP, l'infiltration et les prélèvements pour l'AEP ;
- Les apports : l'apport du BV et la pluie directe.

L'évaporation au Lac (ETP_{Lac}) est déterminé par la formule de Pouyaud en fonction de l'évaporation au bac (ETP_{bac}) mesurée à la station de Djougou :

$$ETP_{Lac,mois}(mm) = N_{j,mois} * 1,664 * \left(\frac{ETP_{bac,mois}}{30 \text{ jrs}} \right)^{0,602}$$

Concernant l'infiltration, elle a été estimée à 2 mm/j et l'écoulement moyen annuel est pris égal à 14 mm.

Les volumes d'apport du bassin versant ont été déterminés par la méthode Rodier :

$$\text{Apport mensuel} = \text{Lame ruissellée} * S_{BV}$$

Les prélèvements pour l'AEP mensuels ont été calculés à partir de la relation suivante :

$$V_{AEP} (m^3) = Q (m^3/h) * Nbj_{mois} * T_{pompage lac}$$

Le temps de pompage au niveau du lac est pris égal à 16 h. Le débit d'AEP (Q_{AEP}) a été fixé de manière à ce que le niveau d'eau dans le lac ne descende pas en dessous de la cote 418 m, ce qui garantit une tranche morte d'eau de 1 m en toute saison. Cela permet de protéger la crépine d'aspiration (sédiment, boues) et de garantir de bonnes conditions d'aspiration. Le débit d'AEP mobilisable à partir du lac est $Q_{AEP} = 75 m^3/h$. Le tableau présentant le récapitulatif des résultats obtenue en effectuant la simulation du fonctionnement du lac est en annexe (5).

Nous pouvons retenir, qu'il faudra juste prélever un débit égale **75 m³/h dans le lac Téro et ce pendant tous les mois sans l'assécher.**

Cependant, la production d'eau brute nécessaire pour couvrir les besoins en eau mensuels dès 2016 s'élève à **1934 m³**. Cela qui implique un déficit de **734 m³**. La ressource en eau de surface se révèle insuffisante pour assurer l'alimentation en eau des populations. **Nous ferons recours aux ressources en eau souterraine pour le complément.**

IV.3. Exploitation de la ressource en eau souterraine

Les trois secteurs sont alimentés par deux forages de 7 m³/h chacun. Ces forages existants seront abandonnés au profit de nouveaux forages. Sur la base des études récemment effectuées dans la ville de Djougou au cours des projets menés par la SONEB, sept (07) forages ayant de meilleurs débits allant de 10 à 45 m³/h ont été réalisés. Nous retenons l'ensemble des nouveaux forages pour compléter la ressource en eau de surface. Le tableau X récapitule les caractéristiques des forages retenus.

Tableau X : Caractéristiques des forages retenus

Forage	Localité	Profondeur forage (m)	NS (m)	ND (m)	Altitude (m)	Q d'exploitation (m³/h)
F02	Bariénou	79,6	5,17	39,73	416	40
F03	Bariénou	64,10	6,25	20,34	407	45
F05	Bariénou	52,36	5,38	27	418	20
F06	Bariénou	49,25	4	38,52	425	30
F07	Bariénou	61,20	9,02	31,63	415	25
F08	Bariénou	67,37	8,78	28,97	412	20
F09	Bariénou	73,40	1,55	45,19	414	10

Avec les sept (07) forages retenus, nous atteignons un débit de **190 m³/h**. Ces forages seront mis à contribution pour couvrir le déficit d'adduction, avec un temps de pompage croissant afin d'assurer le volume d'exhaure souhaité. Le schéma d'exploitation de la ressource en eau souterraine est présenté dans le tableau XI.

Tableau XI : Exploitation des forages

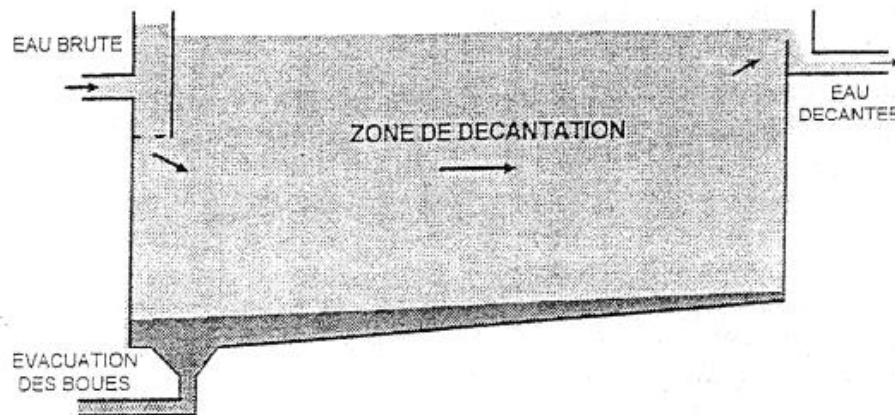
Paramètres	2016	2017	2018	2019	2020
Vproduction (m ³ /j)	1934	2361	2814	3293	3801
Qlac (m ³ /h)	75	75	75	75	75
Volume lac (m ³)	1200	1200	1200	1200	1200
Déficit (m ³)	734	1161	1614	2093	2601
Tpompage (h)	3,86	6,11	8,49	11,02	13,69

La cartographie donnant l'emplacement du lac, de la station de traitement, des nouveaux forages, du nouveau château d'eau; des distances entre la ressource en eau de surface et le traitement et des éléments de stockages existants est présentée en annexe (6).

IV.4. Renforcement de la station de traitement

IV.4.1. Dimensionnement des décanteurs

Le nouveau débit d'eau brute produit par le lac Tero étant estimée à 75 m³/h, la capacité des décanteurs lamellaires cylindro-coniques existantes (15 m³/h chacun) se révèle insuffisante pour assurer la décantation du surplus soit 45 m³/h d'eau brute produit. Il est donc nécessaire d'augmenter la capacité de décantation. Nous installerons alors un nouveau décanteur véhiculant 45 m³/h, il sera de forme statique rectangulaire à flux horizontal car le débit entrant est \geq 20 m³/h. La photo VIII nous présente un décanteur de forme statique rectangulaire à flux horizontal.



Coupe I : Décanteur statique rectangulaire à flux horizontal

Le tableau XII résume les hypothèses de dimensionnement du décanteur horizontal à installer.

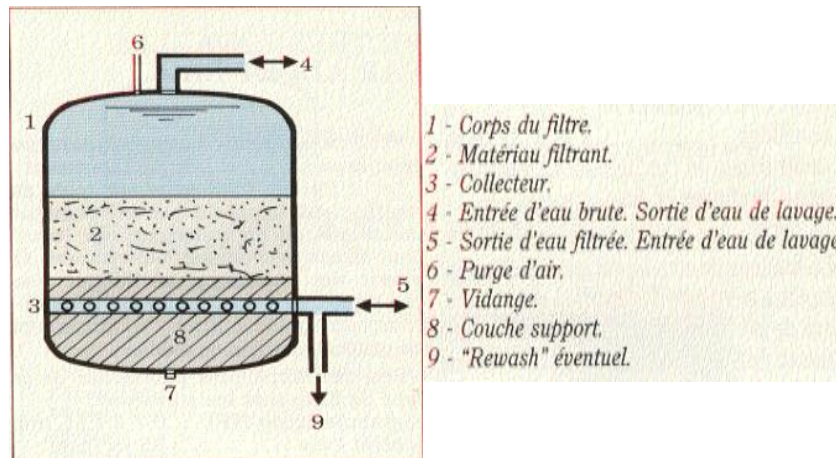
Tableau XII: Paramètres de dimensionnement des décanteurs statiques horizontaux

Dimensionnement de deux décanteurs statiques rectangulaires à flux horizontal	
Débit (m ³ /h)	45
Vitesse de décantation (m/h)	1
Temps de séjour (h)	4
Volume utile pour la décantation (Vu)	180
Profondeur (m)	2
Rapport Vt/Vu	1,25
Hauteur totale (m)	2,5
Revanche (m)	0,3

Nous installerons donc, **un décanteur statique rectangulaire à flux horizontal véhiculant un débit de 45 m³/h et de longueur 18 m, de largeur 5m et de hauteur 2,5 m**, pour un volume de 225 m³ et un temps de séjour de 4h.

IV.4.2. Dimensionnement des filtres à sable

Les filtres à sable existants à la station de traitement des eaux de surface sont au nombre de 03. Ils sont de forme cylindrique et véhiculent un débit de 15 m³/h chacun. Le débit de l'exhaure ayant augmenté, il est donc indispensable d'augmenter la capacité de filtration. Ce complément se fera par l'installation de nouveaux filtres pouvant véhiculés au total un débit de 30 m³/h. Nous, mettrons donc en place deux (02) filtres à sable sous pression véhiculant chacun un débit de 15 m³/h. La photo IX présente un filtre à sable sous pression.



Coupe II : Filtre à sable sous pression

Le dimensionnement des filtres à sable sous pression s'est fait grâce aux hypothèses suivantes :

- Vitesse de passage (rapide) = 35 m/h ;
- Mode de mise en œuvre : sous pression ;
- Nombre de couche : monocouche ;
- Mode de lavage : lavage à l'eau seule.

Les caractéristiques des filtres à sable sous pression sont présentées dans le tableau XIII.

Tableau XIII: Caractéristiques des filtres à sable sous pression

Caractéristiques des filtres à sable sous pression	
Débit (m ³ /h)	15
Diamètre (m)	2,5
Surface (m ²)	5
Hauteur de couches filtrantes (m)	0,6
Temps de fonctionnement (h)	4
Volume (m ³)	3,8
Hauteur de filtre (m)	1,3

Nous installerons en complément des 03 filtres à sable existants, **deux (02) nouveaux filtres à sable sous pression de diamètre 2,5 m** et de **hauteur 1,3 m**, véhiculant chacun **un débit de 15 m³/h**.

❖ *Contrôle et régulation de filtres à sable*

Une batterie filtrante comportant plusieurs filtres doit être alimenté le plus régulièrement possible et tout particulièrement en évitant un sur-débit sur l'un des filtres. Dans le cas des filtres à sable sous pression qui seront installés, le mode de régulation sera une **vanne régulatrice**. La vanne sera placée à la sortie de l'eau filtrée et sera réglée par **manœuvre hydraulique**.

IV.4.3. Dimensionnement de la bache de reprise à la station de traitement

Il s'agira ici de déterminer la nouvelle capacité utile de stockage dont il faut disposer à la station de traitement pour les eaux de surface. Pour le dimensionnement, nous étudions les déficits et excédents maximums entre les volumes cumulés entrants et sortants. Le temps de pompage à l'entrée (T₁) est égal à 16 h et celui à la sortie (T₂) est de 24h. Nous fixons un débit de sortie de **54 m³/h**. Les résultats issus de la méthode de calcul sont présentés en annexe (7).

La capacité de la bache est obtenue par :

$$\text{Capacité de la bache} = |\text{Déficit}| + \text{max des excédents}$$

Nous obtenons une capacité utile (C_u) = 276 m³. **Nous préconisons d'installer une nouvelle bache de 260 m³**. La bache existante de **20 m³** pourra servir de complément.

IV.5. Renforcement du stockage

Un château d'eau sera dimensionné afin de soutenir la capacité de stockage du réseau. Le château d'eau sera construit pour le stockage des eaux souterraines. Sa capacité comprendra la réserve incendie, la capacité utile et la réserve de sécurité. Avec une adduction de jour, durant les périodes de consommation la capacité utile peut être estimée à 30 % du besoin de pointe journalier par la méthode forfaitaire.

$$\text{Capacité utile} = 30\% \times B_{jp}$$

Le volume de la réserve incendie est estimé à partir du nombre probable d'incendies, du temps pour les étouffer (1 à 2h). La réserve de secours n'a pas un caractère obligatoire. Elle dépend du niveau de confort que l'on veut offrir aux usagers. Le tableau XIV présente les caractéristiques du château d'eau.

Tableau XIV: Caractéristiques du château d'eau

Caractéristiques du château d'eau	
Besoin journalier de pointe	3611
Capacité utile	1083
Réserve incendie	120
Capacité totale	1203
Capacité retenue	1250
Diamètre cuve	16
Hauteur Cuve	6

Nous implanterons donc, un château d'eau d'une capacité de **1 250 m³** pour assurer le stockage des eaux issues des 7 forages. Pour une hauteur de cuve $h_c = 6 \text{ m}$, nous obtenons un diamètre de 16 m. La hauteur sous cuve est égale à 15 m.

Nous retenons en définitif, un château cylindrique d'une capacité de 1 250 m³ avec une hauteur de cuve de 6,00 m et un diamètre de 9,00 m. La coupe schématique du château d'eau est présentée en annexe (8).

IV.6. Conduites du réseau d'adduction

IV.6.1. Conduite : prise d'eau brute - station de traitement

La conduite en place est en PVC de diamètre 225 mm avec une pression nominale de 10 bars. Cette conduite transporte un débit de 31 m³/h à une vitesse égale à 1,03 m/s. Avec l'augmentation de la capacité de production du lac Téro, ce débit passe à 75 m³/h. En utilisant les formules suivantes nous allons vérifier si la conduite en place peut transporter le nouveau débit pour que la vitesse d'écoulement soit comprise 0,6 m/s et 1,2 m/s :

- Formule de Bresse : $D(m) = 1.5 \times Q^{0.5}$
- Formule de Bresse modifiée : $D(m) = 0.8 \times Q^{1/3}$
- Formule simplifiée de Munier (1961) $D(m) = (1+0.02n) \times Q^{0.5}$; avec n = nombre d'heures de pompage et le débit en m³/s.

Le tableau XV résume les résultats obtenus sur la vitesse d'écoulement.

Tableau XV : Vitesse d'écoulement recherchée

	Q (m ³ /h)	T(h)	Dth (mm)	D existant (mm)	V (m/s)	Vérification de la condition
Bresse	75,00	16	216,51	225	1,32	NON
Bresse Mo- difié			220,13	225	1,32	NON
Munier			190,53	225	1,32	NON

Considérons la formule de Bresse modifiée pour la vérification de la vitesse d'écoulement. Nous obtenons une **vitesse d'écoulement > 1,2 m/s ce qui n'est pas acceptable**. Il est donc nécessaire de dimensionner une nouvelle conduite capable de transporter ce nouveau débit (75 m³/h) à une vitesse acceptable (0,6 m/s et 1,2 m/s). La nouvelle conduite sera dimensionnée par la même pression nominale de 10 bars. Le tableau XVI résume les résultats obtenus sur le nouveau diamètre de la conduite transportant l'eau du lac à l'entrée la station de traitement.

Tableau XVI : Diamètre de la conduite lac à l'entrée de la station de traitement

	Q (m ³ /h)	T(h)	Dth (mm)	Dret (mm)	V (m/s)	Vérification de la condition
Bresse	75,00	16	0,217	226,2/250	0,84	OK
Bresse Modifié			0,220	226,2/250	0,84	OK
Munier			0,208	226,2/250	0,84	OK

Nous obtenons une vitesse d'écoulement $< 1,2 \text{ m/s}$ ce qui est acceptable.

Avant le choix final de la conduite, nous vérifierons la relation $HMT + \Delta P < PN$.

- Si $HMT < PN \Rightarrow$ *Garder la PN*
- Si non $HMT > PN \Rightarrow$ *Changer le PN et choisir une autre conduite*

$$HMT = H_{\text{géométrique}} + \Delta H_{\text{totale}}$$

La hauteur géométrique étant dans notre cas, la différence d'altitude entre l'entrée de la station de traitement et le niveau de calage de la crépine au fond le lac, elle est égale à **5 m**. La perte de charge totale est la somme de la perte de charge linéaire et de la perte de charge singulière. Nous utiliserons alors la formule de Manning et Strickler pour la déterminée, la perte de charge linéaire (Yonaba, 2015).

$$\Delta H_L = \frac{10,29 * Q^2 * L}{K_s^2 D^{5,33}}$$

Avec :

- Q : débit (m³/s)
- D : diamètre (m)
- L : longueur de la conduite (m)
- $K_s = 120$ pour les conduites en PVC

Nous obtenons donc une $HMT = 73,15 \text{ m}$.

$$HMT = 73,15 < PN10 \Rightarrow \text{Garder la PN 10}$$

Nous remplacerons donc la conduite existante en PVC de diamètre 225 mm transitant l'eau du lac à la station de traitement par une conduite en PVC de diamètre 250 mm.

IV.6.2. Conduite : station de traitement - réservoir au sol de 190 m³

Cette conduite sera dimensionnée avec une pression nominale de 10 bars et nous utiliserons également les formules de Bresse, Bresse modifiée et la condition de Munier pour la détermination de son diamètre. Le tableau XVII résume les résultats obtenus sur le nouveau diamètre de la conduite transportant l'eau traitée vers le réservoir au sol de 190 m³.

Tableau XVII : Diamètre de la conduite station de traitement-réservoir au sol de 190 m³

	Q (m ³ /h)	T(h)	Dth (mm)	Dret (mm)	V (m/s)	Vérification de la condition
Bresse	54	24	0,124	126,6/140	0,55	NON
Bresse Modifié			0,134	144,6/160	0,75	OK
Munier			0,121	126,6/140	0,58	NON

En se basant sur la méthode de calcul précédemment utilisée, nous obtenons :

$$HMT = 15,05 < PN10 \Rightarrow \text{Garder la PN 10}$$

Le transport de l'eau traitée vers le réservoir au sol de 190 m³ se fera par une conduite en PVC de diamètre 160 mm.

IV.6.3. Conduites forages - collecteur principal

Les conduites quittant chaque forage doivent avoir un diamètre permettant d'avoir en tout temps les vitesses d'écoulement telle que $v_{min} = 0,8 \text{ m/s}$ et $v_{max} = 1,2 \text{ m/s}$. Les diamètres des conduites sont déterminés en fixant une vitesse économique sur la plage recommandée et en considérant une pression nominale de 16 bars. Dans notre cas, on fixe $v = 1,2 \text{ m/s}$ et les diamètres obtenus sont présentés dans le tableau XVIII.

Tableau XVIII : Diamètres des conduites quittant les forages

Forages	Longueur (m)	Débit (m ³ /h)	Débit (m ³ /s)	Diamètres (mm)	Diamètres retenus (mm)
F02	500	40	0,011	108,58	125
F03	216	45	0,013	115,16	140
F05	32	20	0,006	76,78	90
F06	28	30	0,008	94,03	110
F07	120	25	0,007	85,84	110
F08	25	20	0,006	76,78	90
F09	50	10	0,003	54,29	75

IV.6.4. Collecteur principal : forages - château d'eau de 1 250 m³

Le collecteur principal sera dimensionné avec une pression de 16 bars et nous utiliserons également la formule de Bresse modifiée pour la détermination de son diamètre. Le tableau XIX résume les résultats obtenus sur le diamètre du nouveau collecteur transportant l'eau des forages vers le château d'eau de 1 250 m³.

Tableau XIX : Diamètre du collecteur principal

	Q (m ³ /h)	T(h)	Dth (mm)	Dret (mm)	V (m/s)	Vérification de la condition
Bresse Modifiée	190	14	0,300	340,6/400	0,58	OK

Le collecteur principal transportera l'eau des forages vers le château d'eau 1 250 m³ se fera par une conduite en PVC **de diamètre nominal 400 mm en PN 16**.

L'emplacement des nouvelles conduites à installer sur le réseau d'adduction de la ville de Djougou alimentant les 3 secteurs étudiés est présenté en annexe (9).

IV.7. Dimensionnement - Choix des pompes

Dans notre projet, nous disposerons de :

- 01 pompe placée dans le lac comme pompe immergée, qui permettra de refouler l'eau vers la station de traitement ;
- 01 pompe placée au niveau de la salle de reprise refoulant l'eau traitée vers le réservoir 190 m³.
- 01 pompe installée dans chaque forage permettant de refouler l'eau vers le château d'eau de 1 250 m³.

Le choix d'une pompe nécessite la connaissance de caractéristiques comme le débit à refouler (Q) et la hauteur de refoulement (HMT). Ces caractéristiques ont été précédemment déterminées. Le tableau ci-après, présente le récapitulatif des HMT des pompes qui seront utilisées dans le réseau d'adduction de la ville de Djougou et qui permettront d'alimenter les secteurs Djougou I, II et III.

Tableau XX : Récapitulatif des HMT des pompes

Emplacements		Pompes	Q (m ³ /h)	Hgéo (m)	ΔH_{Totale} (m)	Hmt (m)
Lac - Station de traitement		P1	75	5	0,104	5,104
Station de traitement – Réservoir au sol 190 m ³		P2	38	3	12,05	15,05
Forages – Château d'eau	F02	P3	40	59,89	3,16	63,08
	F03	P4	45	68,89	0,94	69,83
	F05	P5	20	57,89	0,29	58,18
	F06	P6	30	57,89	0,19	58,08
	F07	P7	25	50,89	0,59	51,48
	F08	P8	20	60,89	0,23	61,18
	F09	P9	10	63,89	0,30	64,19

Le choix des pompes est opéré compte-tenu du débit d'exploitation des forages destinés à les recevoir, du débit produit par le lac et du débit nécessaire pour couvrir les besoins, mais également des pertes de charges à vaincre. En effet, la production doit être suffisante pour couvrir les besoins à l'horizon du projet et vaincre les pertes de charge.

Ainsi, la pompe choisie pour chaque forage est de marque LEROY SUMER. Quant à la pompe immergée au niveau du lac et celle au niveau de salle de reprise, elles sont de marque GRUNFOS. Le tableau en annexe (10) rend compte des caractéristiques des pompes installées dans les forages, celle au sein du lac et au niveau de la salle de reprise.

Au niveau du lac Téro, la crépine de la pompe immergée sera installé à 1 m du fond soit à la cote 418 m. La figure VII illustre l'installation de la crépine.

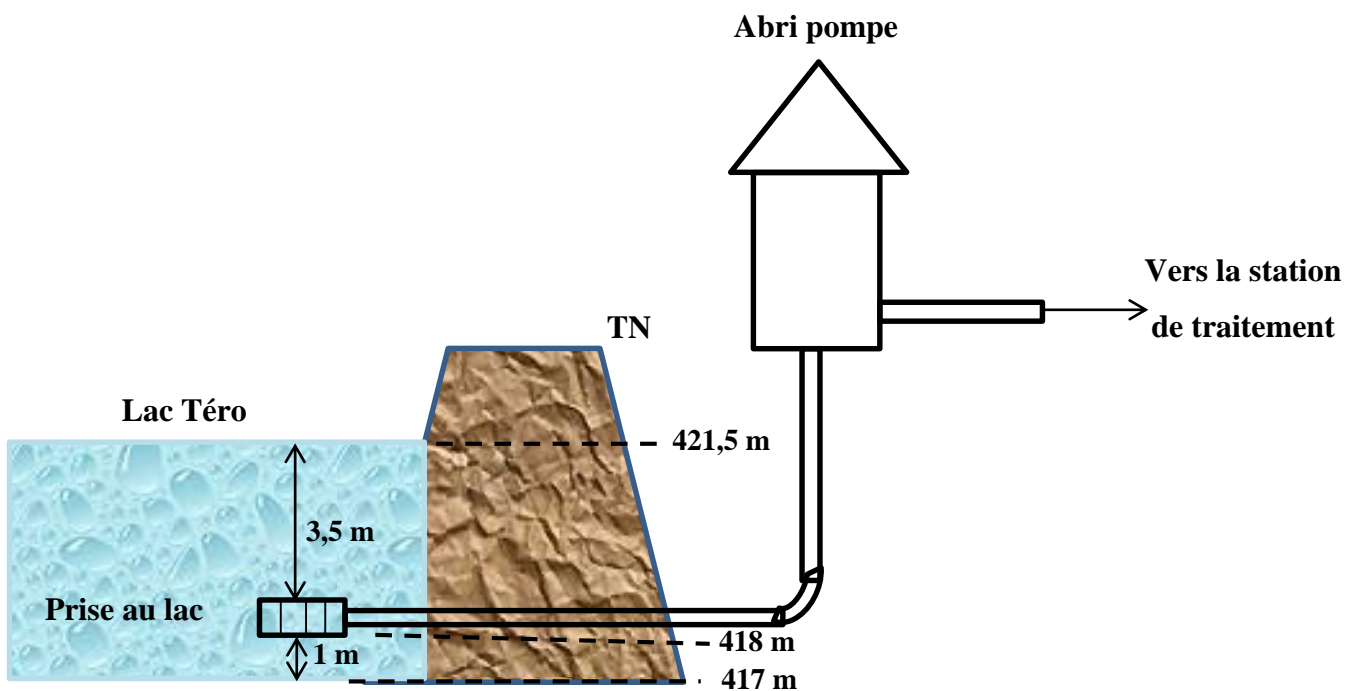


Figure VII : Installation de la crépine au niveau du lac Téro

V. ESTIMATION FINANCIERE DES TRAVAUX

Le tableau suivant présente le calcul détaillé par corps d'ouvrage des travaux sur le réseau d'adduction.

Tableau XXI : Estimation financière des travaux sur le réseau d'adduction

N°	Désignation des travaux	Unités	Quantités	Prix uni- taire	Montant
I	INSTALLATION DE CHANTIER ET REPLI DE CHANTIER				
	Installation et repli de la base de l'entrepreneur	ff	1	14 000 000	14 000 000
TOTAL INSTALLATION ET REPLI DE CHANTIER					14 000 000
II	RENFORCEMENTS DES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES DE LA PRODUCTION				
II.1	Travaux de renforcement				
	Tour de prise	u		3 000 000	3 000 000
	Salle de reprise	ff	1	7 000 000	7 000 000
	Local du groupe électrogène	ff		2 500 000	2 500 000
	Abri pour surpresseur d'air de lavage des filtres existants	ff	1	200 000	200 000
Sous total travaux de renforcement					12 500 000
II.2	Stockages				
	Réhabilitation du réservoir au sol 150 m ³	ff	1	2 000 000	2 000 000
	Réhabilitation du réservoir au sol 190 m ³	ff	1	2 000 000	2 000 000
Sous total travaux stockages					4 000 000
TOTAL RENFORCEMENTS DES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES DE LA PRODUCTION					16 500 000
III.	PROPOSITION CONCERNANT LA PRODUCTION				
III.1	Travaux au niveau de la production				
	Réalisation des travaux de curage du lac Téro	ff	1	39 000 000	39 000 000
	Installation de décanteur statique rectangulaire à flux horizontal	u	1	20 000 000	20 000 000
	Installation de filtre à sable sous pression	u	2	4 000 000	4 000 000
	Equipement de lavage a eau des filtres	ff	2	15 000 000	30 000 000

	Pompes LEROY SOMER	u	7	10 700 000	74 900 000
	Equipement hydraulique d'un forage	u	7	10 000 000	70 000 000
	Equipement électrique d'un forage	u	7	7 000 000	49 000 000
	Pompes GRUNDFOS	u	2	10 400 000	20 800 000
	Réalisation du château d'eau de 1 250 m3	ff	1	15 000 000	15 000 000
Sous total travaux au niveau de la production					322 700 000
III.2	Canalisation réseau d'adduction				
	Fourniture et pose de conduites DN 315, PN 16	ml	5229	32 476	169 817 004
	Fourniture et pose de conduites DN 250, PN 10	ml	188	21 476	4 037 488
	Fourniture et pose de conduites DN 140, PN 10	ml	4119	16 785	69 137 415
	Fourniture et pose de conduites DN 125, PN 10	ml	500	4 634	2 317 000
	Fourniture et pose de conduites DN 110, PN 10	ml	148	4 172	617 456
	Fourniture et pose de conduites DN 90, PN 10	ml	57	2 894	164 958
	Fourniture et pose de conduites DN 75, PN 10	ml	50	2 273	113 650
Sous total canalisation réseau d'adduction					76 387 967
III.3	Accessoire (5% prix des canalisations)	ff			3 819 398
Sous total accessoires					80 207 365
TOTAL PROPOSITION CONCERNANT LA PRODUCTION					402 907 365
TOTAL TRAVAUX HT					433 407 365
TVA (18%)					78 013 326
TOTAL TRAVAUX TTC					511 420 691

Arrêté le montant du présent devis estimatif à la somme de **CINQ CENT ONZE MILLIONS QUATRE CENT VINGT MILLES SIX CENT QUATRE-VINGT-ONZE FRANCS CFA TOUTES TAXES COMPRISES (511 420 691 TTC)**.

CONCLUSION

L'étude de l'amélioration du réseau d'adduction de la ville de Djougou alimentant les secteurs Djougou I, II et III, nous a permis d'appréhender les problèmes d'approvisionnement en eau que connaît la ville de Djougou. Il s'agit surtout des problèmes tels que : le tarissement et l'envasement des ressources en eau de surface et la faible production des puits de captage. Les solutions proposées vont dans le sens du renforcement de la capacité d'adduction du réseau. Il s'agit de travaux de curage et de rehaussement de déversoir en vue d'augmenter la capacité de la du lac, l'exploitation de nouveaux forages, les installations de nouveaux décanteurs statiques rectangulaires à flux horizontal et de filtres à sable sous pression, la construction d'une nouvelle bache de reprise de 260 m³ et la réalisation d'un nouveau château d'eau de 1 250 m³ pour renforcer la capacité de stockage du réseau.

Sur la base des données recueillies et des visites de terrain, nous avons proposé le curage du lac par les techniques de curages mécaniques et hydrauliques. A cet effet, un volume de vase d'environ 58 670 m³ sera extrait de la retenue et un rehaussement de 0,82 m du déversoir sera effectué. De plus, de nouvelles conduites seront posées, et deux (02) nouveaux forages seront équipés. Le coût du projet s'élève à 511 420 691 FCFA TTC.

RECOMMANDATIONS

Nous recommandons à l'issue de cette étude pour une amélioration durable du réseau d'adduction de la ville de Djougou ce qui suit :

- ❖ Afin d'optimiser la capacité de la retenue d'eau, une excavation de 1m de terre des surfaces dénudées doit être réalisée ;
- ❖ Renforcer le périmètre de protection de la retenue ;
- ❖ Les deux réservoirs d'équilibre existants devront être réhabilités et des vannes flottantes seront installées pour la gestion du trop-plein d'eau ;

Par ailleurs, nous insistons également sur la nécessité d'effectuer des travaux de corrections sur le réseau d'adduction de la ville de Djougou qui consisteront en une série de tâches résumées dans le tableau XXII. Ces tâches ont été déjà évaluées en termes de coût et intégrées dans le devis d'estimation financière des travaux.

Tableau XXII : Travaux de renforcements à réaliser

Ouvrages/équipements	Travaux de réhabilitation et de renforcement
Bâche 20 m ³	- Réalisation d'un abri pour protéger le surpresseur contre les intempéries climatiques
Regard d'arrivée à la station de traitement	- démolition et reconstruction d'un regard 3 m x 1,5 m y compris dalles en béton armé
02 décanteurs cylindro-coniques de 15 m ³ /h et 03 filtres cylindriques	- reprise de la peinture extérieure sur ouvrage métallique
Bâtiment d'exploitation	- reprise peinture extérieure du bâtiment - reprise peinture intérieure du bâtiment - reprise revêtement
Réservoirs au sol 150 m ³ et 190 m ³	- fourniture et pose de flotteur - reprise de l'étanchéité

DOCUMENTS CITES

Agence de l'Eau du Rhin. 2004. *Guide rédactionnel pour le diagnostic des systèmes d'alimentation en eau potable.* Meuse : s.n., 2004.

Bèga Urbain OUEDRAOGO. 2005. *Traitement de production d'eau de consommation.* Ouagadougou : s.n., 2005.

Biaou, Chabi Félix. 2006. *Monographie de la commune de Djougou.* Cotonou : s.n., 2006.

INSAE. 2002. *Recensement Général de la Population et de l'Habitat 3.* Cotonou : s.n., 2002.

—. **2013.** *Recensement Général de la Population et de l'Habitat 4.* Cotonou : s.n., 2013.

Isabelle Berteau; Serge Martin; Annes Vassiliadis. *Curage des cours d'eau.*

Mar, Lamine. 2003. *Ecoulements en charge.* 2003.

Modou MBAYE; Birame NDIAYE. 2002. *Reconstitution et Optimisation du réseau d'adduction d'eau de la ville de Touba.* Thies : s.n., 2002.

SONEB. 2015. *Perspectives Plan d'Approvisionnement en Eau Potable et Assainissement - Horizon 2020.* 2015.

Syndicat des tubes et raccord en PVC. 2014. *Canalisation en pvc pour l'adduction d'eau potable.* 2014.

Yonaba, Roland. 2015. *Calcul des ouvrages constitutifs des réseaux d'AEP.* Ouagadougou : 2iE, 2015.

Zaneidou, Djibo. *Borderaux des prix unitaires - Volume 2.* Cotonou : s.n.

Zoungrana, Denis. 2003. *Cours d'approvisionnement en eau potable.* Ouagadougou : 2iE, 2003.

ANNEXES

Annexe I : Relation Hauteur-Volume initiale du lac TERO	44
Annexe II : Qualité des eaux brutes du lac TERO	45
Annexe III: Evolution de la population par quartiers.....	47
Annexe IV: Courbe Hauteur-Volume du lac TERO après aménagement	48
Annexe V: Récapitulatif de la simulation du fonctionnement du Lac Téro.....	49
Annexe VI: Cartographie de l'emplacement des ouvrages hydrauliques	50
Annexe VII : Capacité de la bache	51
Annexe VIII : Coupe schématique du château d'eau	52
Annexe IX : Emplacement des nouvelles conduites	53
Annexe X : Récapitulatif du choix des pompes	54

Annexe I : Relation Hauteur-Volume initiale du lac TERO

Côte (m)	S (ha)	H (m)	V (10³.m³)
417	0,09	0	0,10
417,5	0,74	0,5	2,44
418	2,50	1	10,86
418,5	4	1,5	28,22
419 (plan d'eau à la date du 05 Avril 2014)	7	2	58,67
419,5	10	2,5	102,08
420	12	3	157,02
420,5	15	3,5	223,59
420,6	16	3,6	238,81
420,65	16	3,65	246,66
420,68 (seuil existant)	16	3,68	251,44

Annexe II : Qualité des eaux brutes du lac TERO

CLASSES		PERIODES D'ANALYSES					Dispositifs OMS (1998)
		27/05/2004	06/04/2006	27/05/2010	20/07/2011	04/06/2012	
PHYSICO-CHIMIQUES	Couleur	Jaunâtre	1,9	Noirâtre	Jaunâtre	Claire	-
	Goût	2,4	-	-	-	nd	-
	Turbidité	22,5	75	24	108	0,42	≤ 5
	Température	28,2	28,9	31,33	26,6	28,2	-
	pH	7	7,45	7,02	7,6	4,78	6,5 à 8,2
	Dureté	1,42	2,14	6,14	6,14	9	-
	Conductivité électrique	58,8	78,8	57,1	380	6,96	≤ 2500
TITRES FONDAMENTAUX	TAC	2,4	3,5	4	3,8	3,2	-
	TA	Nd	nd	-	nd	nd	-
SELS MINERAUX	Chlorure	7,1	4,26	3,55	3,55	3,55	≤ 250
	Sulfate	<200	19,12	<200	<200	<200	≤ 250
	Silice	nT	3	12,8	12,8	10,6	-
	Calcium	3,75	4,99	5,71	5,71	8,57	≤ 100
	Magnésium	0,87	2,16	0,43	0,4	0,43	≤ 30
	Carbonate	Nd	Traces	nd	nd	-	-
	Bicarbonate	29,28	42,7	48,8	46,36	39,04	-

	Nitrate	-	0,86	-	-	-	≤ 45
	Nitrite	-	0,08	-	-	-	≤ 50
	Ammonium	-	1,05	-	-	-	≤ 1,5
ELEMENTS INDESIRABLES, METAUX TOXIQUES ET METAUX LOURDS	Fer total	-	-	0,2	0,2	-	≤ 0,3
	Manganèse	-	-	-	0,06	-	-
INDICATEURS DE CONTAMINATION FECALE	MES	-	125	néant	néant	nd	-

Annexe III: Evolution de la population par quartiers

Secteurs	Quartiers	2002	2015	2016	2017	2018	2019	2020
DJOUGOU I	Gah	3 164	4 795	4 951	5 112	5 278	5 450	5 627
	Killir	1 072	1 625	1 677	1 732	1 788	1 846	1 906
	Madinan	3 165	4 797	4 953	5 114	5 280	5 451	5 629
	Petoni-Poho	5 641	8 549	8 827	9 114	9 410	9 716	10 032
	Sassiro	2 464	3 734	3 856	3 981	4 110	4 244	4 382
	Soubroukou	3 189	4 833	4 990	5 152	5 320	5 493	5 671
	Taifa	3 265	4 948	5 109	5 275	5 447	5 624	5 806
	Zongo	1 072	1 625	1 677	1 732	1 788	1 846	1 906
DJOUGOU II	Alfa Issa	1 852	2 807	2 898	2 992	3 089	3 190	3 294
	Angaradebou	2 744	4 159	4 294	4 433	4 577	4 726	4 880
	Bassala	1 880	2 849	2 942	3 037	3 136	3 238	3 343
	Kakabouberi	1 340	2 031	2 097	2 165	2 235	2 308	2 383
	Leman bogou	4 273	6 476	6 686	6 904	7 128	7 360	7 599
	Leman mende	819	1 241	1 282	1 323	1 366	1 411	1 456
	Tintim Bongo	942	1 428	1 474	1 522	1 571	1 622	1 675
DJOUGOU III	Angara	454	688	710	734	757	782	807
	Baraparei	2 448	3 710	3 831	3 955	4 084	4 216	4 353
	Batoulou	7 074	10 721	11 069	11 429	11 801	12 184	12 580
	Formagari	1 317	1 996	2 061	2 128	2 197	2 268	2 342
	zenbougou	1 747	2 648	2 734	2 823	2 914	3 009	3 107
	Zountori	2 799	4 242	4 380	4 522	4 669	4 821	4 978
Total		53 343	80 844	83 472	86 184	88 985	91 877	94 863

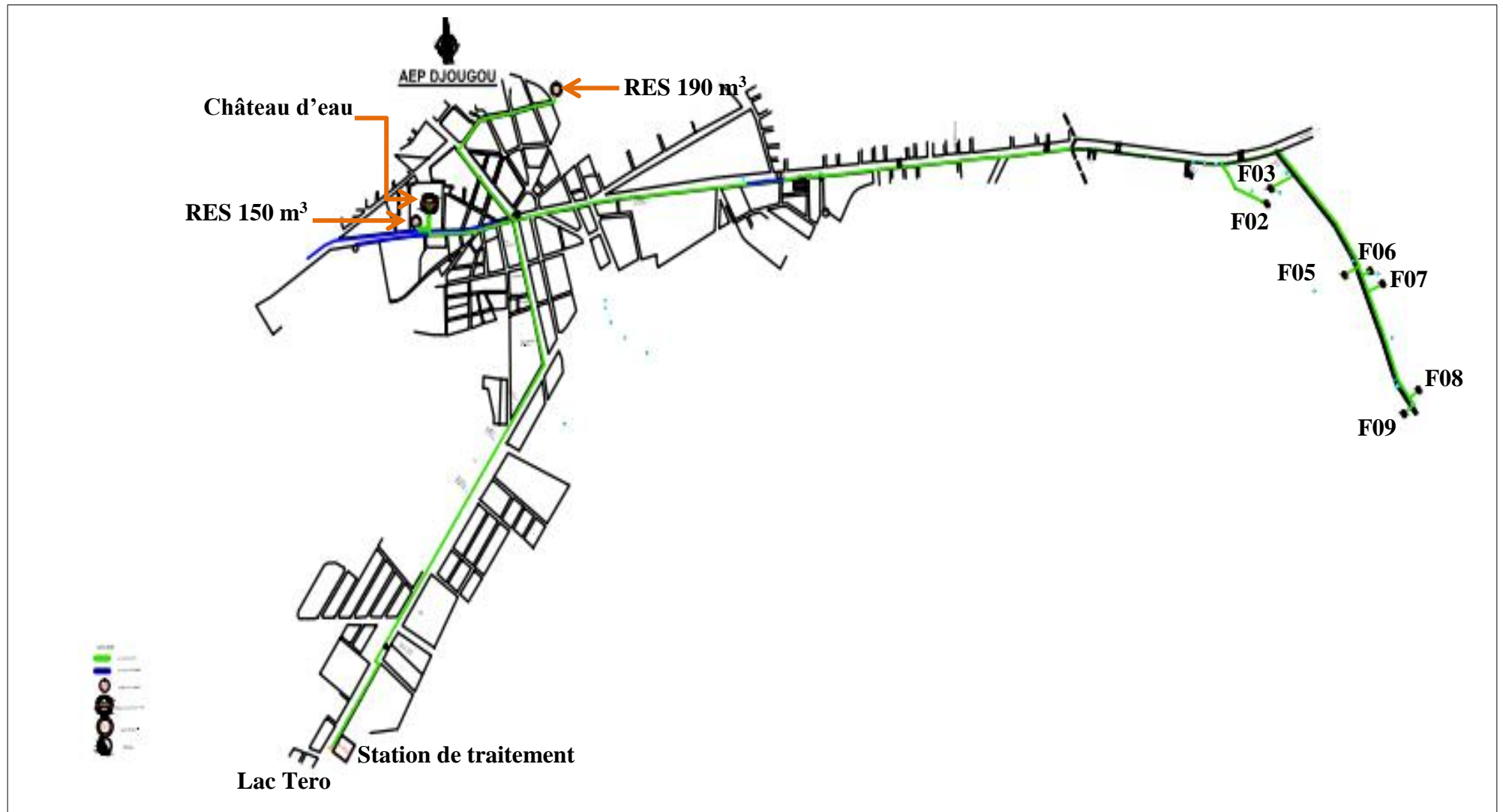
Annexe IV: Courbe Hauteur-Volume du lac TERO après aménagement

Côte (m)	S (ha)	V1 (10³.m³)	V2 (10³.m³)	H (m)
417	919	99	132	0
417,5	7 426	2 442	6 172	0,5
418	25 015	10 860	23 282	1
418,5	44 664	28 216	50 643	1,5
419	74 354	58 670	97 072	2
419,5	100 051	102 080	164 065	2,5
420	119 652	157 021	238 349	3
420,5	149 254	223 589	334 115	3,5
420,6	155 469	238 814	355 573	3,6
420,65	158 374	246 660	366 323	3,65
420,68	160 083	251 437	372 808	3,68
420,7	161 331	254 651	377 270	3,7
420,8	170 516	271 305	403 067	3,8
420,9	177 033	288 674	426 959	3,9
421	183 512	306 666	451 457	4
421,5	226 295	409 651	597 022	4,5

Annexe V: Récapitulatif de la simulation du fonctionnement du Lac Téro

Mois	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S
Pluie (mm)	77,4	6,6	0,2	1,2	4,9	32,3	32,3	124,3	178	260,4	313,3	221
Lame ruisselée (mm)	0,87	0,07	0,00	0,01	0,05	0,36	0,36	1,39	1,99	2,91	3,50	2,47
Apport (m3)	25854,4 1	2204,6 4	66,81	400,84	1636,7 8	10789,3 7	10789,3 7	41520,7 1	59458,4 6	86983,0 4	104653,5 6	73822,0 1
ETP bac (mm)	118,70	118,30	119,70	125,90	127,20	152,80	152,80	140,50	119,30	107,40	103,20	106,20
Nbj, mois	31	30	31	31	29	31	30	31	30	31	31	30
ETP Lac (mm)	118,06	114,02	118,66	122,32	115,14	137,45	133,01	130,67	114,60	111,16	108,52	106,85
Infiltration (mm)	62,00	60,00	62,00	62,00	58,00	62,00	60,00	62,00	60,00	62,00	62,00	60,00
Variation Hauteur (m)	-0,10	-0,17	-0,18	-0,18	-0,17	-0,17	-0,16	-0,07	0,00	0,09	0,14	0,05
Adduction (10 ³ m3)	55,800	54,000	55,800	55,800	52,200	55,800	54,000	55,800	54,000	55,800	55,800	54,000
Apport BV (10 ³ m3)	25,854	2,205	0,067	0,401	1,637	10,789	10,789	41,521	59,458	86,983	104,654	73,822
Volume Initial (10 ³ m3)	597,022	520,52 1	402,36 9	320,67 9	258,15 1	202,644	143,237	72,174	33,302	20,380	37,128	84,651
Pertes et apport (10 ³ m3)	-29,946	-51,795	-55,733	-55,399	-50,563	-45,011	-43,211	-14,279	5,458	31,183	48,854	19,822
Volume restant (10 ³ m3)	567,076	468,72	346,63	265,28	207,58	157,633	100,027	57,894	38,760	51,563	85,982	104,473
Hauteur correspondante (m)	4,370	3,959	3,600	3,284	2,952	2,557	1,943	1,365	1,062	1,268	1,763	1,997
Pertes et apport (m)	-0,103	-0,167	-0,180	-0,183	-0,168	-0,167	-0,161	-0,068	0,003	0,087	0,143	0,054
Hauteur finale (m)	4,267	3,791	3,419	3,101	2,783	2,389	1,782	1,297	1,065	1,355	1,906	2,051
Volume final (10 ³ m3)	520,521	402,36	320,67	258,15	202,64	143,237	72,174	33,302	20,380	37,128	84,651	100,583

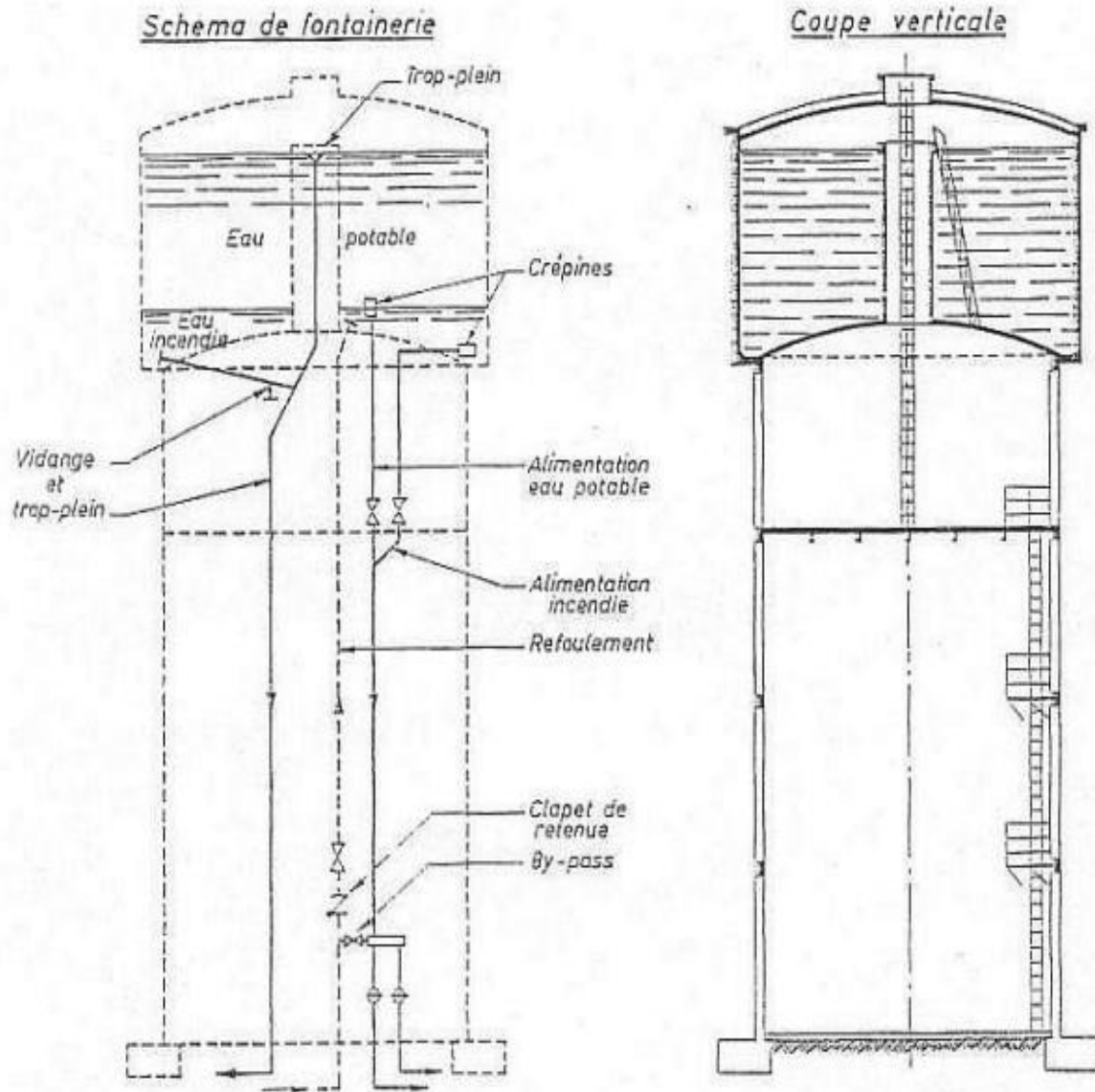
Annexe VI: Cartographie de l'emplacement des ouvrages hydrauliques



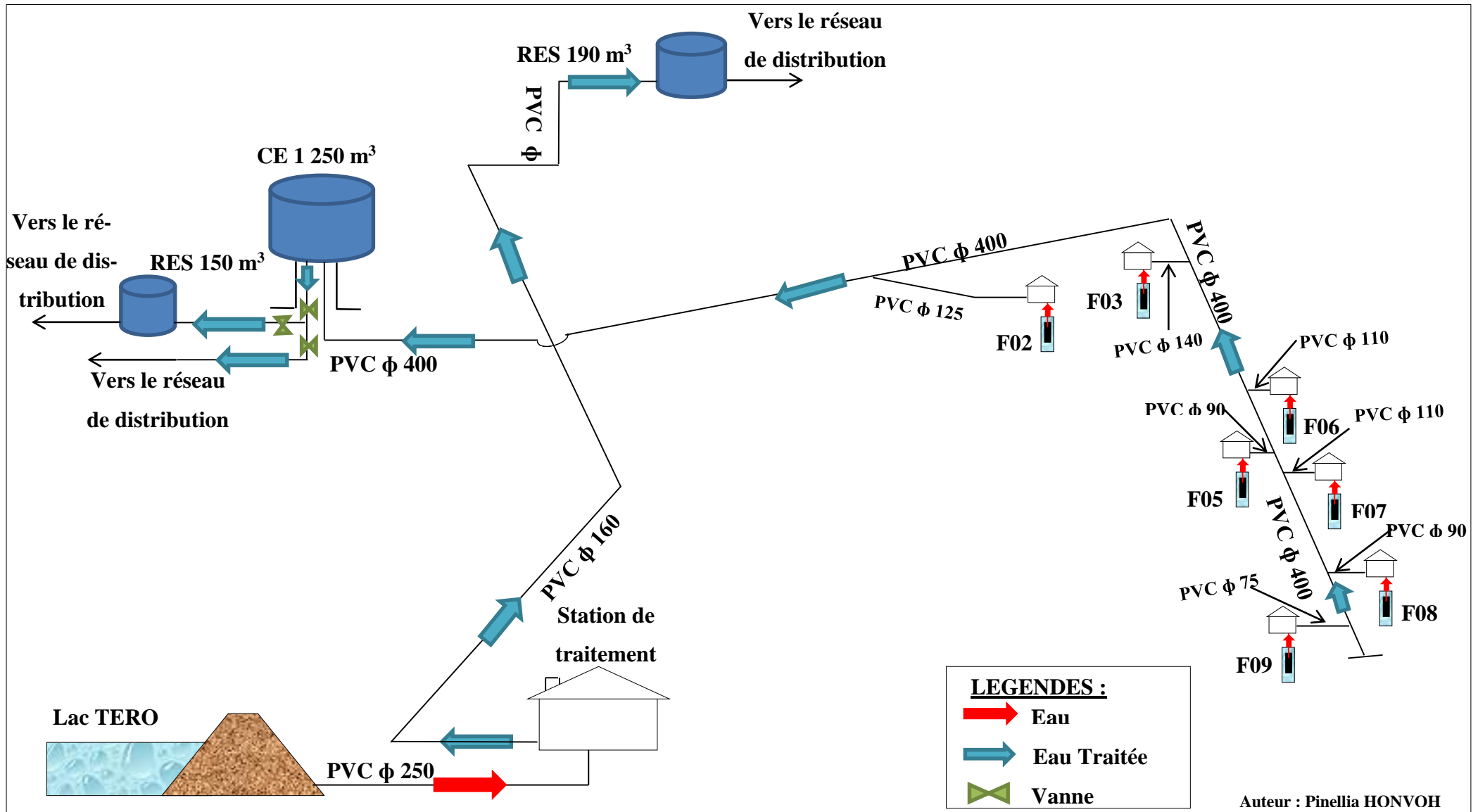
Annexe VII : Capacité de la bache

Périodes	0h-4h	4h-8h	8h-12h	12h-16h	16h-20h	20h-24h
Durée	4	4	4	4	4	4
Qentré (m3/h)	0	71,25	71,25	71,25	71,25	0
Ventré cumulé (m3)	0	285	570	855	1140	1140
Qsorti (m3/h)	54	54	54	54	54	54
Vsorti cumulé (m3)	216	432	648	864	1080	1296
Ventré-Vsorti	-216	-147	-78	-9	60	-156

Annexe VIII : Coupe schématique du château d'eau



Annexe IX : Emplacement des nouvelles conduites



Annexe X : Récapitulatif du choix des pompes

Emplacement		N° Pompe	Nom du constructeur	Type	Débit (m ³ /h)	HMT (m)	Puissance (KW)
Lac		P1	GRUNFOS	SP 77-1 MS 6000	75	10	5,5
Bâche de reprise		P2	GRUNFOS	SP 60-2 MS 4000	60	20	4,4
Forages	F02	P3	LEROY SOMER	D6-42-7/11	42	60	11
	F03	P4	LEROY SOMER	E6-60-10/18.5	60	76	18.5
	F05	P5	LEROY SOMER	B6-21-6/5.5	21	58	5,5
	F06	P5	LEROY SOMER	C6-30-6/7.5	30	58	7.5
	F07	P6	LEROY SOMER	C6-30-6/7.5	30	58	7.5
	F08	P7	LEROY SOMER	C6-30-6/7.5	30	58	7.5
	F09	P8	LEROY SOMER	A6-13-8/4	13	72	4